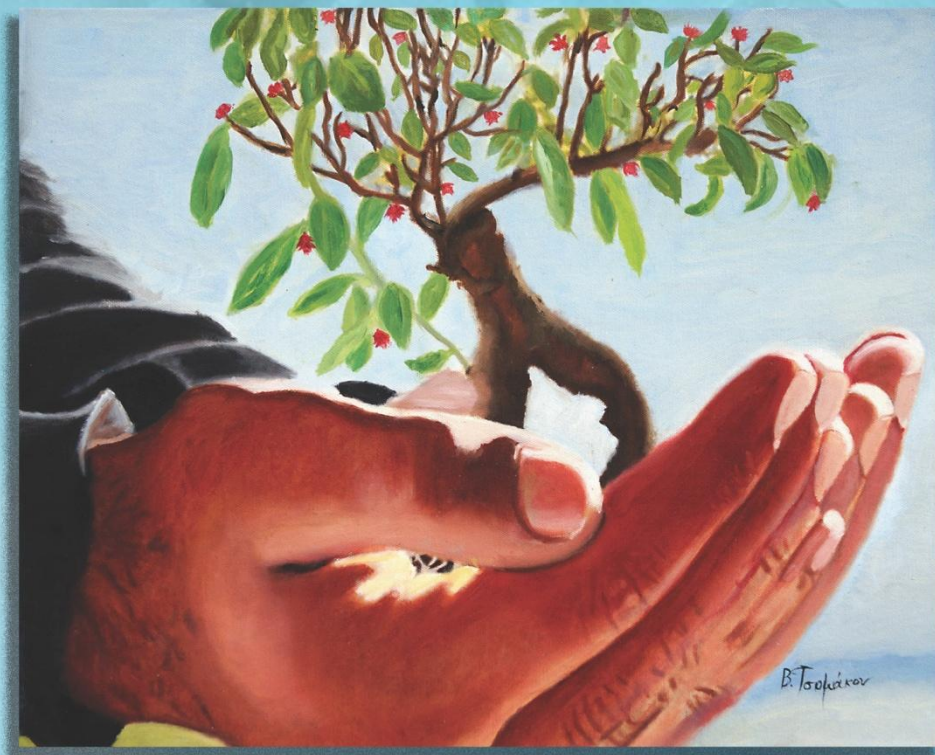


Παιδί προπόνηση υγεία



Χρήστος Κοτζαμανίδης
συντονιστής ομάδας



Αφοί Κυριακίδη
ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α.Ε.

**Παιδί
Προπόνηση
Υγεία**

Το λουλούδι στο εξώφυλλο συμβολίζει το παιδί, το οποίο πρέπει να προστατεύουμε και όχι να το πιέζουμε. Φιλοτεχνήθηκε από την εικαστικό και αγαπημένη φίλη Βίκυ Τσομάκου. Θερμά την ευχαριστώ.

Χρήστος Κοτζαμανίδης

**Συντονιστής ομάδας
Χρήστος Κοτζαμανίδης**

Παιδί Προπόνηση Υγεία

Παιδί προπόνηση υγεία

Συντονιστής ομάδας Χρήστος Κοτζαμανίδης

© 2020

ISBN 978-960-602-298-2

Αφοί Κυριακίδη Εκδόσεις Α.Ε.

Επισκόπου Κίτρους Νικολάου 4

546 35, Θεσσαλονίκη

Τηλ. 2310.208.570 - Fax 2315.550.889

www.afoikyriakidi.gr

www.facebook.com/afoikyriakidi

www.twitter.com/afoi_kyriakidi

info@afoikyriakidi.gr

Απαγορεύεται η αναδημοσίευση και γενικά η αναπαραγωγή εν όλω ή εν μέρει ή και περιληπτικά, κατά παράφραση ή διασκευή, του παρόντος έργου με οποιοδήποτε μέσο ή τρόπο, μηχανικό, ηλεκτρονικό, φωτοτυπικό και ηχογραφήσεων ή άλλως πως σύμφωνα με τους Ν. 2387/1920, 4301/1229, τα Π.Δ. 3565/56, 4254/62, 4264/75, Ν. 100/74 και λοιπούς εν γένει κανόνες Διεθνούς Δικαίου, χωρίς προηγούμενη γραπτή άδεια του συγγραφέα και του εκδότη.

Η έκδοση του παρόντος δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών των συγγραφέων (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2) από τον συντονιστή της ομάδας.

Κατάλογος συγγραφέων

Αυλωνίτη Αλεξάνδρα, Επίκουρη Καθηγήτρια Εργοφυσιολογίας στην Αναπτυξιακή Ηλικία, ΤΕΦΑΑ, ΔΠΘ. Ερευνητικό πεδίο: Άσκηση, φυσιολογικές προσαρμογές και απόδοση σε παιδιά και εφήβους. alavloni@phyed.duth.gr

Βενετσάνου Φωτεινή, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Διδακτικής και Προπονητικής της Βασικής Γυμναστικής στη Σ.Ε.Φ.Α.Α.-Ε.Κ.Π.Α. Ερευνητικό πεδίο: Κινητικός γραμματισμός, κινητική αξιολόγηση, Φυσική δραστηριότητα και υγεία στις αναπτυξιακές ηλικίες. fvenetsanou@phed.uoa.gr

Δόντη Ολύβια, Επίκουρη Καθηγήτρια Διδακτικής και Προπονητικής Βασικής Γυμναστικής, ΣΕΦΑΑ/ΕΚΠΑ. Ερευνητικό πεδίο: Προπονητική, παιδικός αθλητισμός, παράμετροι απόδοσης στα αθλήματα γυμναστικής. odonti@phed.uoa.gr

Ζαφειρίδης Αντρέας, Καθηγητής Εργομετρίας Φυσικής Αγωγής, ΤΕΦΑΑ Σερρών, ΑΠΘ. Ερευνητικό πεδίο: Εργοφυσιολογία – Εργομετρία zafeirid@phed-sr.auth.gr

Καμπάς Αντώνης, Καθηγητής Κινητικής Ανάπτυξης στη Σ.Ε.Φ.Α.Α.-Δ.Π.Θ. Ερευνητικό πεδίο: Φυσική Δραστηριότητα, Κινητική Αξιολόγηση και Ψυχοκινητική Θεραπεία, akampas@phyed.duth.gr, <http://www.phyed.duth.gr/undergraduate/index.php/el/dpers/dep/mdep18>

Κοτζαμανίδης Χρήστος, ομ Καθηγητής ΣΕΦΑΑ, ΑΠΘ, προπονητική με έμφαση στον Νευρομυϊκό Έλεγχο, Ερευνητικό πεδίο: προπονητική και νευρομυϊκός έλεγχος παιδιού, kotzaman@phed.auth.gr.

Κουτλιάνος Νικόλαος, Αν. Καθηγητής ΤΕΦΑΑ, Αξιολόγηση Σωματικής Υγείας Αθλουμένων, ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης, ΑΠΘ. Ερευνητικό πεδίο: Αξιολόγηση Σωματικής Υγείας Αθλουμένων. koutlian@phed.auth.gr.

Μπάσσα Ελένη, Μέλος Ειδικού Εκπαιδευτικού Προσωπικού ΤΕΦΑΑ ΑΠΘ, «Φυσική Αγωγή και Αθλητισμός με ειδικέυση στην Πετοσφαίριση». Ερευνητικό πεδίο: Νευρομυϊκός έλεγχος και προσαρμογές της προπόνησης στην παιδική και εφηβική ηλικία, lbassa@phed.auth.gr

Μπογδάνης Γρηγόρης, PhD, Καθηγητής, Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Ερευνητικό πεδίο: Προπονητική-Εργοφυσιολογία. gbogdanis@phed.uoa.gr

Πανουτσακόπουλος Βασίλειος, Ειδικό Εκπαιδευτικό Προσωπικό, Τ.Ε.Φ.Α.Α. Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ. Ερευνητικό πεδίο: Αθλητική Εμβιομηχανική. E-mail: bpanouts@phed.auth.gr.

Παπαβασιλείου Αναστασία, ΑΠΘ. Πτυχιούχος ΤΕΦΑΑ, Θεσσαλονίκης με ειδικότητα χειροσφαίρισης (B.Sc.), Μεταπτυχιακός Τίτλος Σπουδών 'Φυσική Δραστηριότητα και ποιότητα ζωής' (M.Sc.), ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ, Υπ.Διδάκτορας, Κινησιολογίας, ΤΕΦΑΑ, Σέρρες, Ερευνητικό πεδίο: Νευρομυϊκός έλεγχος anastapt@auth.gr

Πατίκας Δημήτριος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΤΕΦΑΑ Σερρών στις Νευρομυϊκές Προσαρμογές κατά την Προπόνηση, ΤΕΦΑΑ, Σέρρες, ΑΠΘ. Ερευνητικό πεδίο: Νευρομυϊκός έλεγχος dratikas@auth.gr

Ξενοφώντος Ανθή, Λέκτορας Ιατρικής σχολής, Κινησιολογία, The Hong Kong University. Ερευνητικό πεδίο: Προπονητική και νευρομυϊκός έλεγχος, anthix@hku.hk

Σμήλιος Ηλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής Αθλητικής Φυσιολογίας, ΤΕΦΑΑ, ΔΠΘ. Ερευνητικό πεδίο: Φυσιολογία της φυσικής κατάστασης, ismilios@phyed.duth.gr

Σωτηράκης Χαράλαμπος, Υποψήφιος Διδάκτορας ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ, με έμφαση στον Κινητικό Έλεγχο, Πτυχιούχος Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, Μεταπτυχιακό Δίπλωμα στην «Ανθρώπινη απόδοση και Υγεία, ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ, sotiraki@phed.auth.gr, https://www.researchgate.net/profile/Haralampos_Sotirakis

Τζέτζης Γιώργος, Καθηγητής, Μοντέλα ανατροφοδότησης και διαχείρισης αθλητικών δεξιοτήτων ΤΕΦΑΑ, Θεσσαλονίκης ΑΠΘ. Ερευνητικό Πεδίο Κινητική μάθηση, σχολική φυσική αγωγή, φυσική δραστηριότητα, αθλητικό μάνατζμεντ, αθλητικό μάρκετινγκ, tzetzis@phed.auth.gr, <https://www.phed.auth.gr/%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%BA%CF%8C/%CF%84%CE%B6%CE%B5%CF%84%CE%B6%CE%B7%CF%83%CE%B3%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BF%CF%83>

Χατζητάκη Βασιλεία, Καθηγήτρια στον Κινητικό Έλεγχο, ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ, Ερευνητικό πεδίο: Ισορροπία και αισθητικο-κινητικός συντονισμός, vasol@phed.auth.gr, <http://vasol.webpages.auth.gr/web/>

Χατζόπουλος Δημήτρης, αναπληρωτής καθηγητής, Διδακτική της Φυσικής Αγωγής, ΤΕΦΑΑ Θεσσαλονίκης, ΑΠΘ, mail chatzop@phed.auth.gr

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	21
Ανάπτυξη	27
Εισαγωγή στην Ανάπτυξη	29
<i>Αλεξάνδρα Αυλωνίτη</i>	
Περίληψη	29
Αύξηση, Ωρίμανση και Ανάπτυξη.....	29
Χρονολογική και βιολογική ηλικία.....	30
Αξιολόγηση της αύξησης και της ωρίμανσης.....	32
Σωματικό ύψος και σωματικό βάρος	32
Σύσταση σώματος	34
Μέγιστος ρυθμός αύξησης του ύψους (Peak Height Velocity, PHV)	35
Ηλικία του σκελετού	37
Ωρίμανση του φύλου- Σεξουαλική ωρίμανση	38
Νευρικό σύστημα και ανάπτυξη.....	40
Ενδοκρινικό σύστημα και ανάπτυξη	44
Μυϊκό σύστημα και ανάπτυξη.....	48
Αύξηση του μυϊκού ιστού	48
Μυϊκές ίνες και εξέλιξη με την ηλικία.....	49
Μυϊκός μεταβολισμός.....	52
Σύνοψη.....	55
Βιβλιογραφία	57
Ανάπτυξη κινητικών δεξιοτήτων	69
<i>Βασιλεία Χατζητάκη, Χαράλαμπος Σωτηράκης</i>	
Περίληψη	69
Εισαγωγή	70
Ο έλεγχος της κίνησης στην παιδική ηλικία.....	71
Γιατί η κίνηση των παιδιών είναι αργή και αδέξια;.....	73

Από την ανατροφοδότηση στην πρόβλεψη: Δεξιότητες ισοροπίας και μετακίνησης	74
Αισθητήρια αντιστάθμιση στην παιδική ηλικία	78
Αυτο-οργάνωση, έμφυτα πρότυπα και ατομικές ικανότητες	79
Κινητική ανάπτυξη: Έμφυτα πρότυπα ή περιβάλλον;.....	80
Ο ρόλος του περιβάλλοντος στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων	81
Βασικές αρχές ανάπτυξης των κινητικών δεξιοτήτων.....	83
Σύνοψη.....	84
Βιβλιογραφία	85
Ανάπτυξη της δύναμης	91
<i>Μπάσσα Ελένη</i>	
Περίληψη	91
Εισαγωγή	92
Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της δύναμης.....	92
Ηλικία και φύλο	93
Ωρίμανση	93
Μορφολογικοί παράγοντες	95
Σωματομετρικά χαρακτηριστικά.....	95
Επίδραση του ύψους	96
Επίδραση της σωματικής μάζας.....	96
Άλιπη μάζα.....	96
Μυϊκή μάζα	97
Μοχλοβραχίονας δύναμης	98
Αρχιτεκτονική του μυός.....	99
Δύναμη και σκληρότητα	100
Νευρομυϊκοί παράγοντες	100
Παράγοντες που επηρεάζουν τον Ρυθμό Ανάπτυξης της Δύναμης ή Ροπής.....	103
Σύνοψη.....	105
Βιβλιογραφία	106
Φυσιολογικοί μηχανισμοί της κόπωσης στην παιδική ηλικία	119
<i>Δημήτριος Α. Πατίκας & Ανθή Ξενοφώντος</i>	
Περίληψη	119
Ορισμός	120

Τοπογραφία κόπωσης.....	121
Παιδική ηλικία.....	123
Άσκηση χαμηλής έντασης.....	124
Άσκηση υψηλής έντασης.....	126
Αποκατάσταση – ανάληψη.....	128
Σύνοψη.....	131
Βιβλιογραφία.....	133

Κινητική Μάθηση – Ανάπτυξη & Ανατροφοδότηση.....139

Γιώργος Τζέτζης

Περίληψη.....	139
Αποτελεσματική διδασκαλία.....	139
Δεξιότητες – Ικανότητες.....	141
Χρόνος αντίδρασης, τύποι και μέτρηση.....	142
Η κινητική μάθηση και η μέτρησή της.....	143
Μεταφορά μάθησης.....	144
Οργάνωση εξάσκησης.....	144
Ανατροφοδότηση.....	145
Η γνώση του αποτελέσματος (KR) και της απόδοσης (KP).....	146
Η βιοανατροφοδότηση.....	146
Η υπόθεση «καθοδήγησης».....	146
Η συχνότητα παροχής ανατροφοδότησης.....	147
Η χρήση μοντέλων ως μέσο ανατροφοδότησης.....	148
Παροχή οδηγιών ανατροφοδότησης.....	148
Σύνοψη.....	149
Βιβλιογραφία.....	150

Προπόνηση φυσικής κατάστασης.....153

Προπόνηση δύναμης.....155

Μπάσσα Ελένη

Περίληψη.....	155
Εισαγωγή.....	155
Ορολογία.....	156
Καταλληλότητα - Αποτελεσματικότητα της προπόνησης δύναμης.....	156

Μηχανισμοί βελτίωσης της δύναμης.....	157
Ηλικία έναρξης της προπόνησης δύναμης.....	159
Κίνδυνος τραυματισμού και αναστολής της ανάπτυξης.....	159
Προτεινόμενα πρωτόκολλα ενδυνάμωσης	161
Προθέρμανση.....	163
Επιλογή ασκήσεων - σειρά εκτέλεσης.....	163
Ένταση.....	163
Διάλειμμα.....	164
Συχνότητα προπόνησης.....	164
Ταχύτητα εκτέλεσης	165
Μορφές προπόνησης - συνδυαστικά προγράμματα	165
Έκκεντρη προπόνηση	167
Προσγειώσεις	167
Έκκεντρη ενδυνάμωση των καμπτήρων μυών του γόνατος	168
Ισοαδρανειακή συσκευή	169
Σύνοψη.....	169
Βιβλιογραφία	170
Ανάπτυξη και Προπόνηση Δρομικής Ταχύτητας	185
<i>Βασίλειος Πανουτσακόπουλος</i>	
Περίληψη	185
Εισαγωγή	186
Η ικανότητα της ταχύτητας	186
Μορφές ταχύτητας.....	187
Ταχύτητα αντίδρασης.....	187
Ταχύτητα κίνησης	187
Η δρομική ταχύτητα.....	187
Διαφοροποίηση της δομής των δρόμων ταχύτητας στις αναπτυξιακές ηλικίες.....	188
Προϋποθέσεις και παράγοντες επίδοσης στους δρόμους ταχύτητας.....	188
Παράγοντες που καθορίζουν τη δρομική ταχύτητα.....	189
Κριτήρια αξιολόγησης της δρομικής τεχνικής	191
Διαφοροποίηση της δρομικής τεχνικής στις αναπτυξιακές ηλικίες.....	192
Εξέλιξη της δρομικής ταχύτητας κατά την αναπτυξιακή ηλικία.....	193
Μέθοδοι προπόνησης της δρομικής ταχύτητας στην αναπτυξιακή ηλικία	196

Προπόνηση με δρομικές επιβαρύνσεις	197
Δρομικές επιβαρύνσεις με εξωτερικές αντιστάσεις	198
Πλυομετρική προπόνηση - Συνδυαστικά προγράμματα προπόνησης	199
Προτάσεις για πρακτική εφαρμογή	200
Σύνοψη.....	202
Βιβλιογραφία	203
Ανάπτυξη και προπόνηση αερόβιας ικανότητας	215
<i>Αντρέας Ζαφειρίδης & Ηλίας Σμήλιος</i>	
Περίληψη	215
Ορισμός της αερόβιας ικανότητας και παράγοντες που την καθορίζουν	216
Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου.....	218
Αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά	223
Πρόβλεψη της μέγιστης καρδιακής συχνότητας στα παιδιά	227
Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στη VO_{2peak} κατά την αναπτυξιακή ηλικία	228
Γιατί αλλάζει η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου μετά από αερόβια προπόνηση;	234
Καμπύλη γαλακτικού - Γαλακτικό / Αναπνευστικό κατώφλι	238
Το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι σε προέφηβους και εφήβους	241
Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στο γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι κατά την αναπτυξιακή ηλικία.....	242
Ενεργειακό κόστος / Ενεργειακή οικονομία σωματικής δραστηριότητας	244
Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στην ενεργειακή οικονομία κατά την αναπτυξιακή ηλικία	246
Συνεχόμενη ή διαλειμματική μέθοδος προπόνησης για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας σε παιδιά αναπτυξιακής ηλικίας;.....	247
Γενικές αρχές προγραμμάτων άσκησης για ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας.....	250
Βιβλιογραφία	252
Ανάπτυξη και προπόνηση ριπτικής ικανότητας	267
<i>Χρήστος Κοτζαμανίδης</i>	
Περίληψη	267

Εισαγωγή	267
Παράγοντες που επηρεάζουν την ρίψη.....	268
Διαρθρική μεταφορά ενέργειας.	268
Η ηλικία	269
Πρώιμη φάση	269
Ώριμη φάση.....	270
Το φύλο.....	271
Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά	272
Επίδραση δύναμης και εκρηκτικότητας.....	273
Επίδραση του μεγέθους της μπάλας	274
Πλευρικότητα και ρίψη.....	274
Προπόνηση ριπτικής ικανότητας.....	275
Μοντέλο ενηλίκων	275
Προπόνηση στην παιδική ηλικία	278
Βιβλιογραφία	279
Ανάπτυξη και προπόνηση αλτικότητας	285
<i>Κοτζαμανίδης Χρήστος, Παπαβασιλείου Αναστασία</i>	
Περίληψη	285
Εισαγωγή	285
Παράγοντες που επηρεάζουν την αλτικότητα	287
Μηχανική μεταφορά ενέργειας.....	287
Παράμετροι δύναμης	290
Ηλικία	291
Φύλο.....	295
Είδη αλμάτων.....	295
Σχέσεις μεταξύ των τριών αλμάτων.....	297
Άλμα με πτώση και αναπήδηση (DJ).....	297
Κέρδος αναπήδησης.....	298
Στρατηγικές DJ	300
Προπόνηση Αλτικότητας και παιδί	301
Προπόνηση αλτικότητας στην αναπτυξιακή περίοδο.....	301
Προπονήσεις απλής δομής	301
Προπόνηση με συνδυαστικά προγράμματα	301

Πλειομετρική προπόνηση	302
Προσαρμογές που προκαλεί η πλειομετρική προπόνηση στο παιδί	305
Μορφές πλειομετρικής προπόνησης	305
Πλεονεκτήματα της πλειομετρικής προπόνησης στην απόδοση του παιδιού	306
Εισαγωγή της πλειομετρικής προπόνησης στο παιδί	306
Σύνοψη-Πρακτική εφαρμογή	309
Βιβλιογραφία	309
Ανάπτυξη και προπόνηση ευλυγισίας	319
<i>Ολύβια Δόντη, Γρηγόρης Μπογδάνης</i>	
Περίληψη	319
Ευλυγισία	320
Είδη ευλυγισίας και μέθοδοι αξιολόγησης	320
Παθητική ευλυγισία	320
Ενεργητική ευλυγισία.....	321
Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το εύρος κίνησης των αρθρώσεων	322
Ανατομική κατασκευή των αρθρώσεων	322
Διατασιμότητα των ιστών που διατρέχουν την άρθρωση.....	322
Μύες.....	323
Περιτονίες	324
Τένοντες-σύνδεσμοι	325
Νευρικοί παράγοντες	326
Αντανακλαστικά.....	326
Αμοιβαία αναστολή.....	327
Ηλικία και φύλο	328
Προθέρμανση.....	329
Η ικανότητα της ευλυγισίας στο σύστημα προετοιμασίας νέων αθλητών	329
Μοντέλο μακρόχρονης ανάπτυξης νέων αθλητών	329
Παράγοντες που επηρεάζουν την ευλυγισία κατά την ανάπτυξη	332
Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών κατά την ανάπτυξη	332
Εύρος κίνησης των αρθρώσεων και ανάπτυξη	334
Σημασία της ευλυγισίας για την αθλητική απόδοση	336
Επίδραση της ευλυγισίας στον κίνδυνο τραυματισμού	338
Προπόνηση για τη βελτίωση της ευλυγισίας.....	340

Είδη μυϊκών διατάσεων	340
Μηχανισμοί αύξησης του εύρους κίνησης	342
Επίδραση των διατάσεων στην αθλητική απόδοση.....	344
Άμεση επίδραση των διατάσεων στην αθλητική απόδοση.....	344
Επίδραση στο εύρος κίνησης	344
Επίδραση σε παραμέτρους μυϊκής δύναμης, ισχύος και τεχνικής	345
Μακροχρόνια επίδραση των διατάσεων	346
Επίδραση στο εύρος κίνησης	346
Επίδραση σε παραμέτρους μυϊκής δύναμης, ισχύος και τεχνικής	347
Επίδραση των διατάσεων στον κίνδυνο τραυματισμού	348
Κατευθύνσεις για τον σχεδιασμό προγραμμάτων ανάπτυξης της ευλυγισίας	
σε νέους αθλητές.....	348
Ενσωμάτωση διατάσεων στην προπόνηση νέων αθλητών	348
Σύνοψη.....	352
Βιβλιογραφία	353
Ανάπτυξη και προπόνηση επιδεξιότητας.....	371
<i>Δημήτρης Χατζόπουλος</i>	
Περίληψη	371
Επιδεξιότητα και συναρμοστικές ικανότητες	371
Μοντέλα εξάσκησης συναρμοστικών ικανοτήτων	374
Σχέση συναρμοστικών ικανοτήτων και κινητικών δεξιοτήτων.....	376
Εξάσκηση συναρμοστικών ικανοτήτων	376
Ικανότητα διαφοροποίησης (Differenzierungsfähigkeit).....	376
Ικανότητα διαφοροποίησης, ιδιοδεκτικότητα και κιναισθήση	377
Ικανότητα αντίδρασης (Reaktionsfähigkeit).....	378
Ικανότητα προσανατολισμού (Orientierungsfähigkeit)	379
Ικανότητα ισορροπίας (Gleichgewichtsfähigkeit)	380
Αύξηση βαθμού δυσκολίας ασκήσεων ισορροπίας	381
Ρυθμική ικανότητα (Rhythmisierungsfähigkeit).....	382
Μια δυνατότητα αξιολόγησης της ρυθμικής ικανότητας	382
Ικανότητα σύζευξης (Kopplungsfähigkeit).....	383
Ικανότητα μετατροπής (Umstellungsfähigkeit)	383
Η εξίσωση της προπόνησης των συναρμοστικών ικανοτήτων.....	384

Εκτέλεση γνωστών δεξιοτήτων.....	384
Ποικιλία αισθητικών-αισθητηριακών ερεθισμάτων	385
Συνθήκες πίεσης.....	385
Γενική και εξειδικευμένη εξάσκηση συναρμοστικών ικανοτήτων.....	386
Προπονητική επιβάρυνση	388
Κριτική θεώρηση	389
Σύνοψη.....	390
Βιβλιογραφία	391
Άσκηση και υγεία.....	395
Άσκηση στην προσχολική ηλικία	397
<i>Αντώνης Καμπάς, Φωτεινή Βενετσάνου</i>	
Περίληψη	397
Εισαγωγή	397
Φυσική Δραστηριότητα, υγεία και ανάπτυξη.....	401
Φυσική Δραστηριότητα και παχυσαρκία.....	401
Φυσική Δραστηριότητα και οστική υγεία.....	402
Φυσική Δραστηριότητα και καρδιαγγειακή λειτουργία	403
Φυσική Δραστηριότητα και ψυχο-κοινωνική υγεία	405
Φυσική Δραστηριότητα και γνωστική λειτουργία.....	406
Φυσική Δραστηριότητα και κινητικές δεξιότητες	408
Οδηγίες φυσικής δραστηριότητας για παιδιά προσχολικής ηλικίας.....	409
Χαρακτηριστικά παιδιών προσχολικής ηλικίας	410
Κινητική ανάπτυξη	410
Γνωστική ανάπτυξη	412
Κοινωνική-συναισθηματική ανάπτυξη	412
Στόχοι και περιεχόμενο της άσκησης στην προσχολική ηλικία	413
Σύνοψη.....	418
Βιβλιογραφία	418
Επίδραση της άσκησης υψηλής έντασης σε παραμέτρους υγείας στην παιδική ηλικία.....	431
<i>Γρηγόρης Μπογδάνης</i>	
Περίληψη	431

Φυσική δραστηριότητα και άσκηση	432
Επίπεδα έντασης φυσικής δραστηριότητας	433
Χρήση του μεταβολικού ισοδύναμου	433
Χρήση «σχετικών δεικτών» έντασης	434
Προτεινόμενος στόχος για την καθημερινή φυσική δραστηριότητα των παιδιών	435
Επιπτώσεις της υποκινητικότητας στην υγεία των παιδιών	436
Παιδική παχυσαρκία	438
Επιπολασμός παιδικής παχυσαρκίας στην Ελλάδα και στο εξωτερικό	438
Επιπτώσεις της παιδικής παχυσαρκίας και υποκινητικότητας στην υγεία των παιδιών	438
Μεταβολικό σύνδρομο στα παιδιά	439
Σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 και προδιαβήτης στα παιδιά	439
Επίδραση της φυσικής δραστηριότητας στην παιδική παχυσαρκία και στην υγεία των παιδιών	442
Διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης	444
Ορισμός και είδη διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης	444
Καρδιοαναπνευστικές και μεταβολικές προσαρμογές	445
Χαρακτηριστικά προπόνησης ΗΠΤ για τη βελτίωση παραμέτρων υγείας	446
Επιδράσεις της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης στην υγεία των παιδιών	447
Σακχαρώδης διαβήτης – έλεγχος γλυκαιμίας	447
Λιπιδαιμικό προφίλ	448
Μεταγευματική λιπιδαιμία	449
Έλεγχος όρεξης	449
Δείκτες φλεγμονής	451
Αρτηριακή πίεση και ενδοθηλιακή λειτουργία	452
Καρδιοαναπνευστική ικανότητα	453
Οστική πυκνότητα	454
Επίδραση ενδοκρινικών διαταραχών κατά την εφηβεία στην οστική πυκνότητα	455
Επιδράσεις σε ψυχολογικές παραμέτρους, σε νοητικές λειτουργίες	456
Επίδραση της ΗΠΤ στις συναισθηματικές αντιδράσεις στην άσκηση	456
Επίδραση της ΗΠΤ σε ψυχολογικές παραμέτρους και γνωστικές λειτουργίες	457

Επίδραση της ΗΠΤ στον εγκέφαλο.....	457
Ιατρικός έλεγχος πριν την εφαρμογή προγραμμάτων άσκησης υψηλής έντασης.....	458
Σύνοψη.....	459
Βιβλιογραφία	461
Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές από τη γύμναση κατά την παιδική και εφηβική ηλικία: Εφαρμογές στα προγράμματα υγείας.....	481
<i>Νικόλαος Κουτλιάνος</i>	
Κυκλοφορικό σύστημα.....	482
Βασικές γνώσεις ανατομίας & φυσιολογίας.....	482
Κύριοι καρδιολογικοί όροι.....	484
Οξείες ανταποκρίσεις κατά την άσκηση.....	484
Χρόνιες προσαρμογές από τη γύμναση	486
Αναπνευστικό σύστημα.....	488
Βασικές γνώσεις ανατομίας & φυσιολογίας.....	488
Κύριοι αναπνευστικοί όροι.....	489
Οξείες ανταποκρίσεις κατά την άσκηση.....	489
Χρόνιες προσαρμογές από τη γύμναση	490
Εργοσπιρομέτρηση – καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές.....	491
Προαγωνιστικός ιατρικός έλεγχος νεαρών αθλητών.....	493
Περίληψη.....	495
Βιβλιογραφία	496

Πρόλογος

Η σημασία της άσκησης για την ανθρώπινη υγεία και η σπουδαιότητα ενός ενεργητικού τρόπου ζωής για την αποφυγή χρόνιων παθήσεων είναι πλέον ευρέως γνωστά και βασίζονται σε αξιόπιστες ερευνητικές αποδείξεις. Παρόλα αυτά, η μεταφορά αυτών των γνώσεων στην πράξη είναι μια τεράστια πρόκληση. Αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο στην παιδική ηλικία, μιας και ο σύγχρονος τρόπος καθιστικής ζωής και ενασχόλησης με ηλεκτρονικά μέσα και παιχνίδια οδηγεί σε έλλειψη φυσικής δραστηριότητας και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην δια βίου υγεία, ευεξία και ποιότητα ζωής. Αντίθετα, η φυσική δραστηριότητα, ο αθλητισμός και η φυσική αγωγή και τα παιχνίδια έχουν αποδεδειγμένη θετική επίδραση όχι μόνο στην σωματική αλλά και συναισθηματική υγεία των παιδιών καθώς και στην κοινωνική συμπεριφορά και τις γνωστικές και μαθησιακές λειτουργίες και ικανότητες. Αυτό είναι τόσο σημαντικό, όχι μόνο από πλευράς δημόσιας υγείας αλλά και από θέμα κοινωνικής και ηθικής ευθύνης, σε τέτοιο βαθμό μάλιστα, που υπάρχουν εισηγήσεις και υπαινιγμοί για κατηγορία ότι η έλλειψη στρατηγικής και πρακτικής για ικανή σωματική άσκηση και φυσική δραστηριότητα στα παιδιά είναι ουσιαστικά συνυφασμένη σε εγκληματική μαζική παραμέληση παιδιών (*Weiler R, Allardyce S, Whyte GP, et al., Is the lack of physical activity strategy for children complicit mass child neglect? British Journal of Sports Medicine 2014:48, 1010-1013.*), καλώντας ‘το κράτος, τις εκπαιδευτικές αρχές και το κοινό να σταματήσουν την τρέχουσα παραμέληση της σωματικής δραστηριότητας των παιδιών, να αναλάβουν την ευθύνη και να αναπτύξουν μια στρατηγική ουσίας [για την φυσική αγωγή και δραστηριότητα και τον παιδικό αθλητισμό]’.

Οι επιπτώσεις της έλλειψης σωματικής δραστηριότητας και άσκησης όπως η παιδική παχυσαρκία είναι πάρα πολύ σοβαρές όχι μόνο για τα προβλήματα που δημιουργούνται στην παιδική ηλικία αλλά και για τις δια βίου επιπτώσεις και συμπεριφορές. Είναι πλέον γνωστό και αποδεκτό ότι η έλλειψη φυσικής δραστηριότητας οδηγεί όχι μόνο στη συσσώρευση σπλαχνικού λίπους, το οποίο όμως δέν παραμένει αδρανές, και έτσι ενισχύσει περαιτέρω την ανάπτυξη χρόνιων παθήσεων σε έναν «φαύλο κύκλο» συστημικής χρόνιας φλεγμονής. (*Benatti, F.,*

Pedersen, B. Exercise as an anti-inflammatory therapy for rheumatic diseases—myokine regulation. Nat Rev Rheumatol 2015:11, 86–97). Αυτή η συστημακή, χαμηλή (low grade) αλλά χρόνια όμως φλεγμονή θεωρείται πλέον μία από τις κύριες αιτίες για την φθορά και εξασθένηση των διαφόρων συστημάτων του ανθρώπινου σώματος και ένας από τους κύριους παράγοντες για τις διάφορες χρόνιες παθήσεις. Το θετικό όμως είναι ότι αυτό το φαινόμενο και οι αρνητικές του συνέπειες είναι ανατρέψιμα και σε ένα αναπτυξιακό πλαίσιο για την έναρξη της συστημακής φλεγμονής, που έχει σίγουρα και κληρονομικές αλλά και περιβαλλοντολογικές και συμπεριφορικές αιτίες, η μείωση του βάρους στα παιδιά μπορεί να ομαλοποιήσει τους φλεγμονώδεις δείκτες, κάτι που δίνει την ελπίδα ότι η φλεγμονή και οι μελλοντικές αρνητικές της συνέπειες για την υγεία μπορεί να τροποποιηθούν και αν ακόμα έχουν ξεκινήσει (*Singer, K., & Lumeng, C. N. The initiation of metabolic inflammation in childhood obesity. The Journal of clinical investigation, 2017:127;1, 65–73*). Η σωματική άσκηση, ο αθλητισμός και η φυσική δραστηριότητα γενικότερα είναι πλέον αναγνωρισμένο ότι έχουν κύριο ρόλο όχι μόνο στην μείωση της παχυσαρκίας αλλά και αντιφλεγμονώδη δράση με την παραγωγή μυοκινών από τους σκελετικούς μύες κατά την διάρκεια της άσκησης προκαλώντας έτσι είτε μια άμεση αντιφλεγμονώδη απόκριση είτε βελτιώσεις στις συννοσηρότητες, έχοντας έμμεσα μακροχρόνια αντιφλεγμονώδη αποτελέσματα (*Mathur, N., & Pedersen, B. K. Exercise as a mean to control low-grade systemic inflammation. Mediators of inflammation, 2008: 109502*).

Αν και η προώθηση της φυσικής δραστηριότητας στην παιδική ηλικία είναι μια μεγάλη πρόκληση, η ανάπτυξη θεμελιωδών δεξιοτήτων κίνησης (Fundamental Movement Skills ή FMS) οδηγεί σε ‘κινητικά εγγράμματα’ άτομα όπως συνηθίζεται να περιγράφονται και αποτελεί μια βάση για συμμετοχή σε αθλητικές και φυσικές δραστηριότητες σε όλη την διάρκεια της ζωής. Υπάρχουν πλέον αξιόπιστα αποδεικτικά στοιχεία και από διατομικές (cross-sectional) και διαχρονικές (longitudinal) μελέτες ότι αυτές οι θεμελιώδεις δεξιότητες κίνησης είναι σημαντικοί δείκτες υγείας σε παιδιά και εφήβους (*Robinson LE, Stodden DF, Barnett LM, Lopes VP, Logan SW, Rodrigues LP, D'Hondt E. Motor Competence and its Effect on Positive Developmental Trajectories of Health. Sports Med. 2015: 45, 9, 1273-1284*).

Τα θέματα λοιπόν της προπόνησης, άσκησης και ανάπτυξης κινητικών δεξιοτήτων σε παιδιά είναι όχι μόνο διαχρονικά ενδιαφέροντα αλλά και πολύ επίκαιρα

και με επιτακτική σημασία στην σημερινή εποχή και γι αυτούς τους λόγους το βιβλίο αυτό που διαπραγματεύεται βασικά θέματα για ‘Παιδί, Προπόνηση, Υγεία’ είναι καίριο, αναγκαίο και πολύ χρήσιμο. Το βιβλίο είναι οργανωμένο σε τρεις ενότητες που επικεντρώνονται σε θέματα Ανάπτυξης, Προπόνησης και Άσκησης και Υγείας. Η ανάπτυξη του υλικού σε κάθε κεφάλαιο βασίζεται σε κάποια βασικές αρχές που διέπουν την άσκηση και προπόνηση στην παιδική ηλικία που θεωρούνται απαραίτητα και σημαντικά αλλά τονίζεται και ότι πρέπει να βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα και όχι υποθέσεις ή ‘κοινούς μύθους’. Το βιβλίο ξεκινάει με κάποιες πολύ σημαντικές αρχές για την ανάπτυξη των παιδιών και την σωματική αύξηση και ωρίμανση, καθώς τα παιδιά δεν είναι μικρογραφία των ενηλίκων, ειδικά όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της φυσικής κατάστασης (δύναμη, κόπωση, αντοχή κλπ) και δεν ανταποκρίνονται με το ίδιο τρόπο στην άσκηση η στην προπόνηση των διαφόρων συστημάτων όπως αερόβιο, αναερόβιο κλπ. Από αυτή την άποψη, στα διάφορα σχετικά κεφάλαια του βιβλίου τονίζεται το κατάλληλο προπονητικό ερέθισμα ανάλογα με την ανάπτυξη και την ωρίμανση. Επίσης αναλύεται και εξηγείται ότι υπάρχουν διαφορετικοί ρυθμοί ανάπτυξης των συστημάτων που συμμετέχουν στην παραγωγή και έλεγχο της κίνησης για την ανάπτυξη κινητικών δεξιοτήτων και παρουσιάζεται ένα θεωρητικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη επιδεξιότητας και συναρμοστικής ικανότητας και την προπόνηση της επιδεξιότητας. Επίσης δίνεται έμφαση στην διδασκαλία των δεξιοτήτων που είναι μία πολυδιάστατη διαδικασία λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, και στον καλό σχεδιασμό, προετοιμασία, και οργάνωση που είναι απαραίτητα στοιχεία για αποτελεσματική διδασκαλία δεξιοτήτων.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του βιβλίου είναι ότι το υλικό παρουσιάζεται και περιγράφεται στην βάση ενός θεωρητικού υπόβαθρου για την φυσική κατάσταση που είναι μία σύνθετη έννοια που περιλαμβάνει δύναμη, αντοχή, ταχύτητα, και ευκαμψία/ευλυγισία. Επομένως η ανάπτυξη δύναμης και δεξιοτήτων που θεωρούνται βασικά χαρακτηριστικά της φυσικής κατάστασης είναι πολύ ενδιαφέροντα θέματα που αφορούν όχι μόνο την αθλητική επίδοση αλλά και την βίου υγεία και ευεξία. Από την άλλη πλευρά η παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη δύναμης κατά την περίοδο της φυσιολογικής ανάπτυξης και ωρίμανσης του παιδιού είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην προπόνηση δύναμης που είναι απαραίτητη γαι την φυσική κατάσταση αλλά πρέπει να είναι και ασφαλής.

Ένα άλλο επίσης πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του βιβλίου είναι ότι δίνεται έμφαση σε μηχανισμούς έτσι ώστε η προπόνηση και η πρόληψη τραυματισμών να βασίζονται και να λαμβάνουν υπόψη την ανάπτυξη και τις δυνατότητες των παιδιών. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική για διάφορες παραμέτρους της φυσικής κατάστασης και της αθλητικής απόδοσης όπως εξηγείται για παράδειγμα στα κεφάλαια για την ανάπτυξη και προπόνηση ευλυγισίας στις αναπτυξιακές ηλικίες και της ανάπτυξης και προπόνησης της ριπτικής ικανότητας.

Πολλές σύγχρονες τάσεις για την προπόνηση όλων των βασικών παραμέτρων της φυσικής κατάστασης εξηγούνται με λεπτομερή και ακριβή τρόπο και περιλαμβάνουν την επίδραση της άσκησης υψηλής έντασης σε παραμέτρους υγείας στην παιδική ηλικία και αναλύεται γιατί η άσκηση υψηλής έντασης είναι ένας ευχάριστος, ασφαλής, αποτελεσματικός και αποδοτικός τρόπος άσκησης. Αυτή η έμφαση στην ευχάριστη άσκηση υψηλής έντασης που αρέσει και διασκεδάζει τα παιδιά, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για να δημιουργηθούν θετικές μελλοντικές συμπεριφορές για δια βίου άσκηση, είχε και μία ιδιαίτερη προσωπική απήχηση σε εμένα μιας και μου θύμισε ζωηρά ευχάριστες αναμνήσεις από την σχολική μου φυσική αγωγή. Μία από τις πιο αγαπημένες μου αναμνήσεις από το μάθημα της Φυσικής Αγωγής είναι τότε που ο γυμναστής μας στο 3^ο Γυμνάσιο Θεσσαλονίκης, ο κος Γιάννης Τσουδής, μας έπερνε μέσα στην ώρα του μαθήματος και τρέχαμε, οι περισσότεροι στο τμήμα, από την περιοχή του Τουρκικού Προξενείου στην οδό Αγίου Δημητρίου μέχρι το Σείχ Σου. Εκεί, μέσα στο πανέμορφο δάσος με τα πεύκα, έβρισκε μία απότομη ανηφόρα στον λόφο μέσα στα δένδρα και κάναμε επαναλαμβανόμενα σπριντ, χαλαρώνοντας για λίγο στην κατάβαση μέχρι την βάση, ουσιαστικά δηλαδή μια μορφή διαλλειματικής άσκησης υψηλής έντασης, αυτό που σήμερα είναι πλέον και πάλι πολύ δημοφιλής μορφή μαζικής άσκησης γνωστή ως high intensity interval training ή ΗΙΙΤ.

Η δομή όλων των κεφαλαίων του βιβλίου είναι ομοιογενής και κάθε κεφάλαιο έχει μία περίληψη στην αρχή και ανακαιφαλαίωση των κεντρικών σημείων στο τέλος που είναι πολύ χρήσιμα για τον αναγνώστη καθώς και σύγχρονες βιβλιογραφικές πηγές στις οποίες βασίζεται το υλικό και οι γνώσεις και πληροφορίες που περιγράφονται και έτσι το βιβλίο είναι σύγχρονο, περιεκτικό και έγκυρο.

Η θεματολογία και η προσέγγιση του βιβλίου έλλειπαν όχι μόνο από την Ελληνική αλλά και την διεθνή βιβλιογραφία και έτσι αποτελεί μια απαραίτητη βιβλιογραφική πηγή που καλύπτει και περιγράφει τις πιο σύγχρονες γνώσεις και

τάσεις στην περιοχή και βασίζεται σε μία πολυεπίπεδη και πολυδιάστατη προσέγγιση αυτών των σημαντικών θεμάτων για την άσκηση, προπόνηση και υγεία των παιδιών.

Αξίζουν θερμά συγχαρητήρια για την σημαντική αυτή προσπάθεια και στον Χρήστο Κοτζαμανίδη ως τον υπεύθυνο έκδοσης αλλά και σε όλους τους συμμετέχοντες συγγραφείς που είναι λαμπρά άτομα, και στην πλειοψηφία τους νέοι και νέες επιστήμονες, που έχουν ήδη καταξιωθεί στην ειδίκευση τους και προέρχονται από όλο το φάσμα των ακαδημαϊκών κλάδων της αθλητικής επιστήμης. Η γενική επιμέλεια και καθοδήγηση της έκδοσης από έναν έγκριτο και έμπειρο ερευνητή της θεματικής αυτής περιοχής της αθλητικής επιστήμης που υπήρξε όμως και δάσκαλος και ακαδημαϊκός καθοδηγητής των περισσότερων από τους συγγραφείς είναι σίγουρα ένα σημάδι καταξίωσης και είμαι σίγουρος ότι ο Χρήστος Κοτζαμανίδης είναι πολύ υπερήφανος για όλους αυτούς τους μεταπτυχιακούς φοιτητές και φοιτητριές του που θα είναι πλέον οι συνεχιστές του έργου του. Το 30ο συνέδριο του Pediatric Work Physiology διοργανώθηκε το 2017 από το Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (ΤΕΦΑΑ) του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης υπό την προεδρία και οργανωτική επιμέλεια του Χρήστου Κοτζαμανίδη και πραγματοποιήθηκε στην αγαπημένη του πατρίδα την Κατερίνη σε ένα πολύ όμορφο συνεδριακό κέντρο στην Παραλία Κατερίνης. Είχα την τιμή να είμαι προσκεκλημένος ομιλητής και να γνωρίσω από κοντά παγκόσμιες μορφές του Pediatric Exercise Science που προσκάλεσε και φιλοξένησε στην Ελλάδα ο Χρήστος, αλλά και να περάσουμε υπέροχα με το πολιτιστικό πρόγραμμα που επιμελήθηκε προσωπικά ο Χρήστος που φυσικά είχε στην βάση του τον Ποντιακό Ελληνισμό και παράδοση. Αν και οι δικές μου ρίζες είναι μερικώς μόνο Ποντιακές, ήταν συγκινητικό να βλέπεις να τελειώνει ένα πολύ ενδιαφέρον ερευνητικά συνέδριο με τέτοιο πολιτιστικά όμορφο τρόπο.

Βέβαια ένα μέρος της συγκίνησης μας ήταν και το γεγονός ότι θεωρούσαμε ότι το συνέδριο εκείνο ήταν και το ακαδημαϊκό-ερευνητικό 'Κύκνειο Άσμα' του καθηγητή Χρήστου Κοτζαμανίδη και μάλιστα του οργανώσαμε και μία μικρή τελετή-έκπληξη και του ευχρηθήκαμε καλή συνταξιοδότηση! Αποπλανηθήκαμε εικτρά απ' ότι φαίνεται όμως, γιατί ο Χρήστος συνεχίζει με τον ίδιο ζήλο και το βιβλίο αυτό είναι απόδειξη για το αστείρευτο ενδιαφέρον του και την αγάπη και προσήλωσή του στην επιστήμη, αν και τώρα έχει λίγο περισσότερο χρόνο να ασχολείται

και με τό πολλά και διάφορα άλλα καλλιτεχνικά και πολιτιστικά του ενδιαφέροντα!

Από την άλλη όμως μεριά, το βιβλίο αυτό είναι σίγουρα και ένα αδιαμφισβήτητο σημάδι και για τον Χ. Κοτζαμανίδη αλλά και για όλους εμάς από την ίδια γενιά ότι η σκυτάλη περνάει πλέον στην νέα γενιά των ερευνητών της αθλητικής επιστήμης που αποτελούν το μέλλον του τομέα μας και των πανεπιστημικών Τμημάτων Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού και τους εύχομαι ολόψυχα καλή επιτυχία στο έργο τους.

Η πρόοδος της επιστήμης βέβαια δεν σταματά ποτέ και ελπίζω το βιβλίο αυτό να αποτελέσει όχι μόνο μία χρήσιμη πηγή της υπάρχουσας σύγχρονης γνώσης αλλά και ένα βιβλιογραφικό φάρο και σύγγραμμα αναφοράς που θα εμπνεύσει και θα καθοδηγήσει τις επόμενες γενιές των ερευνητών να αναθεωρήσουν την όποια υφιστάμενη γνώση και τάξη (ερευνητικών) πραγμάτων και να εξερευνήσουν μελλοντικές ερευνητικές περιοχές ώστε να ανακαλύψουν καινούργια γνώση για να κατανοηθούν καλύτερα και πληρέστερα τα τόσο σημαντικά θέματα που αφορούν την προπόνηση, άσκηση και υγεία των παιδιών, που είναι πάντα το μέλλον της ανθρωπότητας και της ζωής.

Βασίλης Μπαλτζόπουλος

Καθηγητής Εμβιομηχανικής

*Διευθυντής του Ινστιτούτου Έρευνας για τον Αθλητισμό και την Άσκηση
Research Institute for Sport and Exercise Sciences (RISES)*

Κοσμήτορας Έρευνας και Ανταλλαγής Γνώσης

Σχολή Επιστημών

Faculty of Science

Liverpool John Moores University

Ανάπτυξη

Εισαγωγή στην Ανάπτυξη

Αλεξάνδρα Αυλωνίτη

Περίληψη

Στη σύγχρονη εποχή τα παιδιά συμμετέχουν ολοένα και περισσότερο σε οργανωμένες μορφές άσκησης και αθλητισμού. Η κατανόηση των φυσιολογικών λειτουργιών που διέπουν την ανάπτυξη και βιολογική ωρίμανση των παιδιών αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ασφαλών, διασκεδαστικών και αποτελεσματικών προγραμμάτων άσκησης. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι όροι αύξηση, ωρίμανση, ανάπτυξη, βιολογική και χρονολογική ηλικία. Αναφέρονται οι τρόποι αξιολόγησης της αύξησης και της βιολογικής ωρίμανσης, όπως είναι η αξιολόγηση του ύψους, της σύστασης σώματος, του μέγιστου ρυθμού αύξησης του ύψους, της εκτίμησης της σκελετικής ηλικίας και της σεξουαλικής ωρίμανσης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία ωρίμανσης του νευρικού και ενδοκρινικού συστήματος και εξετάζεται η επίδραση του βαθμού ωρίμανσης των συστημάτων στην ικανότητα για άσκηση. Επιπρόσθετα πραγματοποιείται εκτενής αναφορά στο μυϊκό σύστημα καθώς αναλύονται: η αύξηση του μυϊκού συστήματος, η διαφοροποίηση των μυϊκών ινών και η ωρίμανση του ενεργειακού μεταβολισμού από τη βρεφική ηλικία ως την ενηλικίωση. Με την ολοκλήρωση του κεφαλαίου ο αναγνώστης θα έχει κατανοήσει τις βασικές φυσιολογικές αρχές που διέπουν τη λειτουργία του αναπτυσσόμενου οργανισμού κατά την παιδική και εφηβική ηλικία.

Αύξηση, Ωρίμανση και Ανάπτυξη

Στην αθλητική επιστήμη πληθώρα ερευνών εξετάζουν την ανάπτυξη και την ωρίμανση του ανθρώπινου οργανισμού και των συστημάτων του. Αντικείμενο μελέτης αποτελεί τόσο η επίδραση της φυσιολογικής ανάπτυξης και ωρίμανσης στην ικανότητα του οργανισμού για άσκηση από την παιδική ηλικία μέχρι και την ενηλικίωση, όσο και οι ασκησιογενείς προσαρμογές των βιολογικών συστημάτων στα στάδια ανάπτυξης. Οι τρεις όροι που χρησιμοποιούνται συνήθως για να περι-

γράψουν την εξέλιξη των βιολογικών συστημάτων στα στάδια ανάπτυξης είναι: α) η αύξηση (growth), β) η ωρίμανση (maturation) και γ) η ανάπτυξη (development). Αύξηση είναι η βιολογική δραστηριότητα μέσω της οποίας αυξάνεται κυρίως το συνολικό μέγεθος του ανθρώπου ή και μεμονωμένα τα μέρη του. Για παράδειγμα, η αύξηση του ύψους από την εμβρυϊκή φάση έως την ενηλικίωση. Η αύξηση αναφέρεται κυρίως σε βιολογικές διεργασίες όπως αυτές της υπερτροφίας (αύξηση του μεγέθους των κυττάρων), της υπερπλασίας (αύξηση του αριθμού των κυττάρων) και της αύξησης των ενδοκυττάρων περιεχομένων (πρωτεΐνες, μεταβολικά υποστρώματα κ.α.). Ωρίμανση είναι η διαδικασία μέσω της οποίας ο άνθρωπος από την εμβρυϊκή φάση ενηλικιώνεται και αναφέρεται κυρίως στη λειτουργικότητα των οργάνων, των βιολογικών συστημάτων και του οργανισμού στο σύνολό του. Για παράδειγμα ως ωρίμανση του φύλου αναφέρεται η ικανότητα του ατόμου για αναπαραγωγή. Η διαδικασία μέσω της οποίας ωριμάζει το αναπαραγωγικό σύστημα (μέγεθος οργάνων, ορμόνες, νευρικό σύστημα) αναφέρεται ως σεξουαλική ωρίμανση (Lloyd and Oliver, 2019; Malina, Bouchard and Bar-Or, 2004). Σημαντικό ρόλο για την ωρίμανση του οργανισμού κατέχει η ωρίμανση του νευρικού και του ενδοκρινικού συστήματος που λειτουργούν ως συστήματα μετάδοσης πληροφοριών και ενεργειών μεταξύ των βιολογικών συστημάτων αλλά και επικοινωνίας του οργανισμού με το εξωτερικό περιβάλλον. Ο όρος ανάπτυξη έχει διττή σημασία. Αναφέρεται στη διαφοροποίηση και εξειδίκευση των κυττάρων (αποκτούν χαρακτηριστικά και εξειδικευμένη λειτουργία) κατά την εμβρυϊκή φάση. Ο όρος ανάπτυξη συνδέεται επίσης με τη συμπεριφορά του ατόμου, τις κοινωνικές δεξιότητες και την αλληλεπίδραση με το κοινωνικό περιβάλλον (Lloyd and Oliver, 2019; Malina et al., 2004). Η ανάπτυξη των συστημάτων ολοκληρώνεται μετά τη γέννηση και εξελίσσεται έως την ενήλικη ζωή με διαφορετικό ρυθμό για το κάθε σύστημα.

Οι όροι αύξηση, ωρίμανση και ανάπτυξη έχουν κοινά σημεία και πολλές φορές χρησιμοποιούνται ως συνώνυμοι. Ωστόσο, είναι βέβαιο πως αναφέρονται σε ξεχωριστές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος και στην επιστήμη της άσκησης χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες μετρήσεις που τις εξετάζουν.

Χρονολογική και βιολογική ηλικία

Προτού παρουσιαστούν αντικείμενα όπως η αύξηση του ύψους και η ωρίμανση των συστημάτων κρίνεται απαραίτητο να οριστούν η βιολογική και χρονολο-

γική ηλικία. Με τον όρο χρονολογική ηλικία εννοείται το χρονικό διάστημα από τη γέννηση του ατόμου έως της στιγμής αξιολόγησής της. Στην παιδιατρική επιστήμη ο όρος βρεφική ηλικία υποδεικνύει το διάστημα από τη γέννηση ως και τη συμπλήρωση του πρώτου έτους ζωής και υποδιαιρείται στις φάσεις λίγο πριν και μετά τη γέννηση, στον πρώτο μήνα ζωής και στο διάστημα μέχρι τον πρώτο χρόνο. Οι υποδιαιρέσεις αυτές σχετίζονται με την αύξηση και την ωρίμανση. Ο πρώτος χρόνος ζωής είναι αυτός με τις θεαματικότερες αλλαγές στο μέγεθος και την ωρίμανση του νευρικού συστήματος. Η παιδική ηλικία διαχωρίζεται στην πρώιμη παιδική ηλικία (1 -5 ετών) και τη μέση παιδική ηλικία (5 ετών έως την έναρξη της εφηβείας ή τα 11 περίπου χρόνια). Ως εφηβεία χαρακτηρίζεται το διάστημα στο οποίο αναπτύσσονται τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά του φύλου και το παιδί γίνεται ενήλικας. Συνοδεύεται από μεταβολές της σωματικής σύστασης, των φυσικών ικανοτήτων και δεξιοτήτων. Χρονολογικά τις περισσότερες φορές η εφηβεία αναφέρεται στις ηλικίες 10-18 ετών, ωστόσο, λόγω του ότι τα κορίτσια πολλές φορές δείχνουν σημάδια εφηβείας ήδη από τα 8 έτη και τα αγόρια μπορεί να αναπτύσσονται ακόμη και μετά τα 18 ίσως τα καλύτερα χρονικά διαστήματα να είναι από 8-18 έτη για τα κορίτσια και από 10-22 έτη για τα αγόρια (Malina et al., 2004).

Η βιολογική ηλικία αναφέρεται στο βαθμό ωρίμανσης των συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού. Τα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού ωριμάζουν με διαφορετικό ρυθμό και απαιτείται αξιολόγηση της ωρίμανσης των συστημάτων η οποία πραγματοποιείται συνήθως με την αξιολόγηση του σκελετού, της σωματικής ανάπτυξης και του αναπαραγωγικού συστήματος με μετρήσεις ορμονών του φύλου και των δευτερογενών χαρακτηριστικών του φύλου. Είναι χαρακτηριστικό πως τα παιδιά μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους ως προς το ρυθμό ωρίμανσης, την έναρξη της εφηβείας και τις διαστάσεις στην ενήλικη ζωή. Ενδεχομένως δύο παιδιά με ακριβώς την ίδια ημερομηνία γέννησης να διαφέρουν βιολογικά μεταξύ τους έως και 6 χρόνια αν το ένα παρουσιάζει “πρόωρη” (η βιολογική προηγείται της χρονολογικής ηλικίας με βάση το γενικό πληθυσμό) και το άλλο “καθυστερημένη βιολογική ανάπτυξη” (προηγείται η χρονολογική της βιολογικής ηλικίας) (Faigenbaum, Lloyd, and Oliver, 2020). Δυο παιδιά με τόσο μεγάλες διαφορές ως προς την βιολογική ηλικία μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους κατά περισσότερα από 20 εκατοστά στο ύψος και 18 κιλά στο βάρος. Οι διαφορές αυτές είναι εντονότερες με την είσοδο στην εφηβεία και στα δύο φύ-

λα. Οι ανισότητες αυτές οδηγούν και στο διαφορετικό βαθμό απόδοσης στις αθλητικές δραστηριότητες. Τα παιδιά με πρόωρη βιολογική ανάπτυξη υπερτερούν των υπολοίπων παιδιών σε ότι αφορά τις επιδόσεις κατά την παιδική ηλικία. Ωστόσο, από λίγες διαχρονικές μελέτες συμπεραίνεται πως τα παιδιά με καθυστερημένη βιολογική ανάπτυξη ίσως αποδίδουν καλύτερα ως ενήλικες σε σύγκριση με τα παιδιά που είχαν πρόωρη βιολογική ανάπτυξη (Beunen et al., 1997; Faigenbaum et al., 2020). Δυστυχώς, στο σύνολο των περιπτώσεων η κατάταξη των αθλητών/τριών σε κατηγορίες πραγματοποιείται με βάση τη χρονολογική και όχι τη βιολογική ηλικία.

Αξιολόγηση της αύξησης και της ωρίμανσης

Σωματικό ύψος και σωματικό βάρος

Για την αξιολόγηση της αύξησης αξιολογείται το ύψος σε όρθια και καθιστή θέση, το βάρος, τα μήκη του σώματος και οι περιφέρειες. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα ανατομικά σημεία του σώματος από εκπαιδευμένους σε σωματομετρικές μετρήσεις ερευνητές. Από τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα τα οποία σχετίζονται με το βαθμό αύξησης σε σύγκριση με το γενικό πληθυσμό ή να κατασκευαστούν εξατομικευμένες καμπύλες αύξησης. Μέσω αυτών των διαδικασιών επιχειρείται πολλές φορές να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση του ύψους σε όρθια θέση κατά την ενήλικη ζωή, παράγοντας ο οποίος συμβάλλει μερικώς στην αποτελεσματικότητα του ατόμου σε διάφορα αθλήματα. Στην παράγραφο αυτή αναλύονται ο ρυθμός ανάπτυξης του ύψους και του βάρους και η χαρακτηριστική περίοδος του μέγιστου ρυθμού ανάπτυξης του ύψους.

Το ύψος είναι η κάθετη απόσταση από το έδαφος ως την κορυφή του κεφαλιού όταν το άτομο βρίσκεται σε όρθια θέση. Για τον καλύτερο προσδιορισμό του ύψους συστήνεται η μέτρηση να γίνεται την ίδια ώρα της ημέρας και κατά προτίμηση πρωινές ώρες. Έπειτα τα αποτελέσματα μπορούν να απεικονιστούν στα διαγράμματα αύξησης και να εκφραστούν ως ποσοστό επί του γενικού πληθυσμού. Για παράδειγμα ένα παιδί το οποίο βρίσκεται στο εξηκοστό εκατοστημόριο σημαίνει πως είναι πιο ψηλό από το 60% των παιδιών της αντίστοιχης ηλικίας και 40% του αντίστοιχου πληθυσμού είναι υψηλότερου αναστήματος. Η σημαντικότερη απειλή αυτή της διαδικασίας είναι πως τα διαγράμματα αύξησης έχουν κατασκευαστεί με βάση τη χρονολογική ηλικία και όχι τη βιολογική. Για την εκτί-

μηση του ύψους κατά την ενηλικίωση έχουν προταθεί εξισώσεις από ερευνητές στις οποίες χρησιμοποιούνται κάποιες ή όλες από τις εξής μεταβλητές: η ηλικία, το ύψος, το βάρος και το ύψος των γονιών (Beunen et al., 2011; Khamis and Roche, 1994; Luo, Albertsson-Wikland, and Karlberg, 1998; Rhaman, Ali, Ashizawa, and Ohtsuki, 2004; J. M. Tanner, Goldstein, and Whitehouse, 1970). Ενδεικτικά αναφέρεται η εξίσωση του Tanner και των συνεργατών του, όπου το εκτιμώμενο ύψος ισούται για τα αγόρια με:

- $(\text{Υψος του πατέρα} + \text{Υψος της μητέρας})/2 + 6,5$ και για τα κορίτσια:
- $(\text{Υψος του πατέρα} + \text{Υψος της μητέρας})/2 - 6,5$ (Tanner et al., 1970).

Η εξίσωση αυτή βελτιώθηκε από το Luo και τους συνεργάτες του, όπου το ύψος των αγοριών προβλέπεται από την εξίσωση:

- $0,78 * (\text{Υψος του πατέρα} + \text{Υψος της μητέρας})/2 + 45,99$ και για τα κορίτσια:
- $0,75 * (\text{Υψος του πατέρα} + \text{Υψος της μητέρας})/2 + 37,85$ (Luo et al., 1998).

Οι Khamis and Roche (1994) κατασκεύασαν εξισώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται μεταβλητές όπως: η ηλικία, το ύψος, το βάρος και ο μέσος όρος του ύψους των γονιών, για ηλικίες από 4-17 ετών. Για κάθε χρονολογική ηλικία από τα 4 έως τα 17 έτη προβλέπονται διαφορετικοί συντελεστές. Ενδεικτικά αναφέρεται η πρόβλεψη με τους αντίστοιχους συντελεστές για κορίτσι 4 ετών:

- Προβλεπόμενο ύψος = $-8,1325 + 1,24768 * \text{Υψος} - 0,013435 * \text{Βάρος} + 0,44774 * (\text{Υψος του πατέρα} + \text{Υψος της μητέρας})/2$ (Khamis and Roche, 1994).

Οι εξισώσεις μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση του ύψους κατά την ενήλικη ζωή. Ωστόσο, έχουν τυπική απόκλιση η οποία μπορεί να ξεπερνάει τα 5 εκατοστά. Οι παράμετροι στις οποίες οφείλονται οι αποκλίσεις είναι η φυλή στην οποία πραγματοποιήθηκε η μελέτη, η χρονική απόσταση από την εφηβεία ή η απόσταση από τη ραγδαία αύξηση του ύψους στο μέσο περίπου της παιδικής ηλικίας (6,5-8,5 έτη) και το ιδιαίτερα υψηλό ή χαμηλό ανάστημα ενός ή και των δύο γονιών. Για αυτό τον λόγο σχεδιάζονται μελέτες οι οποίες προσπαθούν να προσαρμόσουν τα δεδομένα ως προς την εθνικότητα ή την ηλικία (Beunen et al., 2011; Rhaman et al., 2004; Sherar, Mirwald, Baxter-Jones, and Thomis, 2005).

Παρόμοια είναι και η διαδικασία αξιολόγησης της σωματικής μάζας, η οποία αξιολογείται με ζυγό και μπορεί να απεικονιστεί στα αντίστοιχα διαγράμματα. Ωστόσο, σημαντική είναι η διαφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν το ύψος και το βάρος από τη βρεφική ηλικία στην ενηλικίωση. Το ύψος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από γενετικούς παράγοντες, ενώ η σωματική μάζα και από περιβαλ-

λοντικούς όπως η διατροφή και η άσκηση. Ίσως καλύτερος προσδιορισμός είναι η άλιπη σωματική μάζα, η οποία δείχνει την αύξηση των μυών, του σκελετού και των οργάνων.

Σύσταση σώματος

Από το συνδυασμό των μετρήσεων ύψους και βάρους υπολογίζεται ο δείκτης μάζας σώματος (Body Mass Index, BMI) ο οποίος ισούται με βάρους (κιλά)/ ύψος² (μέτρα²). Ο BMI χρησιμοποιείται ως ένας δείκτης σχέσης μεταξύ βάρους και ύψους και προβλέπει τη σύσταση σώματος των ανθρώπων κάνοντας μια εκτίμηση της κατανομής του λίπους. Στους αθλητές και τα νέα παιδιά αρκετά συχνά παρατηρείται υψηλός BMI λόγω μεγαλύτερης άλιπης μάζας και όχι λόγω του λίπους. Για αυτό τον λόγο η χρήση του δείκτη είναι επισφαλής στα παιδιά και ιδιαίτερα αυτά τα οποία ασχολούνται συστηματικά με τον αθλητισμό. Ο καλύτερος τρόπος αξιολόγησης της σύστασης σώματος είναι ο απευθείας προσδιορισμός της λιπώδους μάζας με μεθόδους όπως η αξιολόγηση δερματοπτυχών, η χρήση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης και η αξιολόγηση με τη μέθοδο της διπλής ενεργειακής απορρόφησης ακτινών X (Dual-energy X-ray absorptiometry, DXA) που αποτελεί στις μέρες μας τη μέθοδο “κριτήριο”. Η μέθοδος DXA διαχωρίζει το σώμα στους τρεις ιστούς (άλιπος, λιπώδης και οστίτης) είναι γρήγορη και μη επεμβατική μέθοδος και έχει χαμηλή ακτινοβολία, η οποία δεν διαχέεται στο χώρο (pencil beam) και αντιστοιχεί σε λιγότερο από 1/100 της απλής ακτινογραφίας. Ωστόσο έχει υψηλό κόστος, η συσκευή μέτρησης δεν είναι μεταφερόμενη, δεν διαφοροποιεί την κατανομή του λίπους (υποδόρια, ενδοσπλαχνικά, ενδομυϊκά) κι απαιτείται προσωπικό καταρτισμένο στους κανόνες ασφαλείας και τη διεξαγωγή μετρήσεων με ακτινοβολία (Ceniccola et al., 2019; Escó et al., 2018). Μέθοδος έμμεσου προσδιορισμού της σύστασης σώματος είναι η βιοηλεκτρική εμπέδηση, η οποία βασίζεται στην αντίσταση που δέχεται το ηλεκτρικό ρεύμα που στέλνει η συσκευή στο σώμα. Στις σύγχρονες συσκευές βιοηλεκτρικής εμπέδησης το σώμα χωρίζεται σε 5 κυλίνδρους (τον κορμό, δεξί κι αριστερό χέρι και πόδι), η άλιπη σωματική μάζα περιλαμβάνει το σύνολο του νερού και των ηλεκτρολυτών, ενώ συμβατικά αγωγίμο μήκος θεωρείται όλο το ύψος του ατόμου και σταθερή η ενυδάτωσή του. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα μεταφοράς της συσκευής, το χαμηλό κόστος, η ταχύτητα μέτρησης καθώς επίσης είναι απλή, ασφαλής και μη επεμβατική μέθοδος αξιολόγησης. Ωστόσο, απαιτεί την

εφαρμογή συγκεκριμένων εξισώσεων για κάθε πληθυσμό και έχει την προϋπόθεση ότι η άλιπη σωματική μάζα θα πρέπει είναι ενυδατωμένη τουλάχιστον κατά 73% (Ceniccola et al., 2019). Οι δερματοπτυχές χρησιμοποιούνται για την εύρεση της πυκνότητας σώματος και του έμμεσου υπολογισμού του ποσοστού σωματικού λίπους. Πραγματοποιούνται σε συγκεκριμένα ανατομικά σημεία, ο εξεταστής πρέπει να έχει εκπαιδευτεί επαρκώς στη λήψη δερματοπτυχών και έχει ως μέθοδος έντονο το στοιχείο της υποκειμενικότητας. Εξισώσεις υπάρχουν ανάλογα με την ηλικία, το φύλο και τη φυλή. Ενδεικτικά αναφέρεται η εξίσωση του Slaughter (Slaughter et al., 1988) η οποία χρησιμοποιείται για παιδιά ηλικίας 6-17 ετών.

- Αγόρια (6-17 ετών): Ποσοστό σωματικού λίπους=0,735*(δερματοπτυχή τρικεφάλου βραχιονίου+δερματοπτυχή γαστροκνημίου)+1.
- Κορίτσια (6-17 ετών): Ποσοστό σωματικού λίπους=0,61*(δερματοπτυχή τρικεφάλου βραχιονίου+δερματοπτυχή γαστροκνημίου)+5,1.

Άλλες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι η υδροστατική ζύγιση, η οποία για πολλά χρόνια αποτέλεσε τον κανόνα στον προσδιορισμό της σύστασης σώματος, ωστόσο χρειάζεται ειδική κατασκευή για την αξιολόγησή της και οι περιφέρειες που όμως δεν είναι τόσο έγκυρη μέθοδος. Συνεπώς, οι τρεις επικρατέστεροι τρόποι αξιολόγησης της σωματικής σύστασης στις μέρες μας είναι η μέθοδος DXA, η βιοηλεκτρική εμπέδηση και οι δερματοπτυχές.

Μέγιστος ρυθμός αύξησης του ύψους (Peak Height Velocity, PHV)

Στο χρονικό διάστημα από την εμβρυϊκή φάση ως την ενηλικίωση το σωματικό ύψος αυξάνεται. Ο άνθρωπος βιώνει τη μεγαλύτερη αύξηση στον πρώτο χρόνο ζωής και έπειτα διαπιστώνονται δύο περιόδοι αυξημένου ρυθμού, μία στο μέσο της παιδικής ηλικίας, περίπου 6,5 – 8,5 ετών και μία εντονότερης μεταβολής στην εφηβεία, για τα κορίτσια περίπου στα 12 χρόνια και για τα αγόρια περίπου στα 14 χρόνια, η οποία στη διεθνή βιβλιογραφία ονομάζεται Peak Height Velocity (PHV) (Faigenbaum et al., 2020; Malina et al., 2004; Mirwald, Baxter-Jones, Bailey, and Beunen, 2002). Ο δείκτης PHV αντανakλά τη σωματική ανάπτυξη των παιδιών και εκφράζει τη σωματική ωρίμανση. Για την αξιολόγηση του PHV απαιτούνται επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε βάθος χρόνου. Συγκεκριμένα απαιτείται τουλάχιστον μία μέτρηση το χρόνο και ειδικότερα κατά την περίοδο της εφηβείας απαιτούνται μετρήσεις κάθε τρεις μήνες (Lloyd and Oliver, 2019). Το κάθε παιδί έχει το δικό του ρυθμό αύξησης και ωρίμανσης. Υπάρχουν παιδιά τα οποία παρουσιάζουν

ζουν το PHV στο “μέσο όρο”, δηλαδή περίπου στα 12 και 14 χρόνια για τα κορίτσια και τα αγόρια αντίστοιχα, παιδιά τα οποία τον παρουσιάζουν σε μικρότερη ηλικία και χαρακτηρίζονται ως “πρόωρης ανάπτυξης” και παιδιά τα οποία παρουσιάζουν το PHV μετά τα 15 έτη και χαρακτηρίζονται ως “καθυστερημένης ανάπτυξης”. Παρά το ότι ο PHV υποδηλώνει τη σωματική αύξηση υπάρχουν δεδομένα τα οποία υπαγορεύουν πως τα τμήματα του σώματος αναπτύσσονται με διαφορετικό ρυθμό. Για παράδειγμα τα οστά των κάτω άκρων αναπτύσσονται σε μήκος πριν τα οστά του κορμού. Ένα παιδί το οποίο παρουσιάζει αυξημένο λόγο: μήκος ποδιών/ μήκος κορμού συνήθως είναι πριν το PHV, ενώ μετά από αυτή τη χαρακτηριστική περίοδο, αυτός ο λόγος τείνει να μειωθεί (Lloyd and Oliver, 2019). Οι μεταβλητές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαπίστωση της περιόδου του PHV αλλά και για την εκτίμηση της χρονολογικής ηλικίας στην οποία θα συμβεί (Fransen et al., 2018; Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). Ο Mirwald και οι συνεργάτες του (2002), δημιούργησαν την εξίσωση πρόβλεψης για τα αγόρια:

- Χρονική απόσταση απο το PHV (έτη) = $-9.236 + (0.0002708 (\text{μήκος ποδιών} * \text{ύψος σε καθιστή θέση}) - (0,001663 * (\text{ηλικία} * \text{μήκος ποδιών}) + 0,007216 * \text{ηλικία} * \text{ύψος σε καθιστή θέση} + 0,02292 * (\text{βάρους} / \text{ύψος}) * 100$

και για τα κορίτσια:

- Χρονική απόσταση απο το PHV (έτη) = $-9.376 + (0.0001882 * (\text{μήκος ποδιών} * \text{ύψος σε καθιστή θέση}) + (0,0022 * (\text{ηλικία} * \text{μήκος ποδιών}) + 0,005841 * \text{ηλικία} * \text{ύψος σε καθιστή θέση} - 0,002658 * \text{ηλικία} * \text{βάρους} + 0,07693 * (\text{βάρους} / \text{ύψος}) * 100.$

Για την εκτίμηση της βιολογικής ωρίμανσης ο Moore και οι συνεργάτες του (2015) πρότειναν την εξίσωση: $-7,999994 + 0,0063124 * \text{ηλικία} * \text{ύψος}$ για τα αγόρια και την εξίσωση: $-7,709133 + 0,0042232 * \text{ηλικία} * \text{ύψος}$ για τα κορίτσια. Πρόσφατα οι Fransen et al. (2018) βελτίωσαν τις εξισώσεις των Mirwald et al. (2002) για τα αγόρια:

- Λόγος ωρίμανσης = $6,986547255416 + 0,115802846632 * \text{χρονολογική ηλικία} + 0,001450825199 * \text{χρονολογική ηλικία}^2 + 0,004518400406 * \text{σωματικό βάρος} - 0,000034086447 * \text{σωματικό βάρος}^2 - 0,151951447289 * \text{ύψος} + 0,000932836659 * \text{ύψος}^2 - 0,000001656585 * \text{ύψος}^3 + 0,032198263733 * \text{μήκος ποδιού} - 0,000269025264 * \text{μήκος ποδιού}^2 - 0,000760897942 * \text{ύψος} * \text{χρονολογική ηλικία}$ όπου ως λόγος ωρίμανσης είναι η διαίρεση της χρονολογικής ηλικίας με την ηλικία στην περίοδο του PHV. Ωστόσο, οι Nevil και Burton (2018) με σχόλιο που

έστειλαν στο περιοδικό άσκησαν κριτική ως προς το βαθμό εγκυρότητας των δημοσιεύσεων των Mirwald et al. (2002) και των Fransen et al. (2018). Στην επιστημονική αυτή συζήτηση ο Fransen και οι συνεργάτες του (2018) διατύπωσαν τα επιχειρήματα τους εκ νέου και δημιούργησαν μία απλούστερη εξίσωση:

- Λόγος ωρίμανσης = $6,99 + (0,154 * \text{χρονολογική ηλικία} - 0,242) + 0,00452 * \text{σωματικό βάρος} - 0,0000341 * \text{σωματικό βάρος}^2 - 0,152 * \text{ύψος} + 0,000933 * \text{ύψος}^2 - 0,00000166 * \text{ύψος}^3 + 0,0322 * \text{μήκος ποδιού} - 0,000269 * \text{μήκος ποδιού}^2 - 0,000761 * \text{ύψος} * \text{χρονολογική ηλικία}$

Η εκτίμηση και η διάγνωση της ηλικίας στην οποία επιτυγχάνεται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του ύψους είναι πολύ σημαντική για τους προπονητές και τους ειδικούς της άσκησης, καθώς σε αυτή την περίοδο υπάρχει αυξημένος κίνδυνος τραυματισμού (DiFiori et al., 2014; van der Sluis et al., 2014) λόγω: αλλαγής του κέντρου βάρους του σώματος, ανάπτυξης μυϊκών ανισορροπιών μεταξύ αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών, απώλειας στην ελαστικότητα της μυοτενόντιας μονάδας και της προσωρινής κινητικής αδεξιότητας (Lloyd and Oliver, 2019; Myer et al., 2009; Philippaerts et al., 2006; van der Sluis et al., 2014). Συνεπώς, προκύπτει επιτακτική η ανάγκη για εξατομίκευση των προπονητικών περιεχόμενων στην περίοδο του PHV. Προτείνεται οι ειδικοί της άσκησης να δίνουν έμφαση στην προπόνηση του νευρομυϊκού συστήματος και να μειώνουν την ένταση και την ποσότητα της επιβάρυνσης σε συμφωνία με την επίκαιρη κατάσταση των παιδιών.

Ηλικία του σκελετού

Για την εκτίμηση της ηλικίας του σκελετού χρησιμοποιείται τις περισσότερες των περιπτώσεων ακτινογραφία στα οστά του καρπού, η οποία απεικονίζει την κερκίδα, την ωλένη, τα οστά του καρπού και τα μετακάρπια. Ειδικός ακτινολόγος συγκρίνει την εικόνα με εικόνες αναφοράς και με τη βοήθεια ή μη ειδικού λογισμικού κρίνει το βαθμό οστεοποίησης συγκεκριμένων οστών ή συνολικά των οστών του καρπού (Greulich and Pyle, 1959; Roche, Chumlea, and Thissen, 1988; Tanner, Healy, Cameron, and Goldstein, 2001). Στη διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται διαφορετικές μέθοδοι αξιολόγησης της σκελετικής ηλικίας. Συγκεκριμένα, στη μέθοδο Greulich-Pyle η εκτίμηση πραγματοποιείται από το σύνολο των οστών του πήχη και του καρπού και δεν λαμβάνεται υπόψη η ανάπτυξη του κάθε οστού (Greulich and Pyle, 1959). Η μέθοδος Tanner-Whitehouse έχει αναθεωρη-

θεί τρεις φορές κυρίως ως προς τον πληθυσμό που συμμετείχε στη μελέτη. Σε αυτή τη μέθοδο αξιολογούνται 13-20 οστά ως προς το βαθμό ωρίμανσής τους και στη συνέχεια υπολογίζεται η σκελετική ηλικία (Tanner et al., 2001). Στη μέθοδο Fels αξιολογείται το πλάτος και το μήκος της μετάφυσης και της επίφυσης των οστών του πήχη (κερκίδα και ωλένη), ο βαθμός οστεοποίησης του πισοειδούς οστού και του σησαμοειδούς οστού στον αντίχειρα (οστό το οποίο σχηματίζεται μέσα στον τένοντα του προσαγωγού μυός του αντίχειρα) και στη συνέχεια, τα δεδομένα εκτιμώνται σε συνάρτηση με το φύλο και τη χρονολογική ηλικία ώστε να υπολογιστεί η σκελετική ηλικία (Roche et al., 1988). Αν και η εκτίμηση της σκελετικής υγείας είναι σημαντικός δείκτης ωρίμανσης έχει αξιολογηθεί κυρίως σε αγόρια και όχι σε κορίτσια και σε συγκεκριμένα αθλήματα (Malina et al., 2015). Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος DXA χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο από επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της άσκησης. Μελέτες που έχουν διεξαχθεί δείχνουν αξιοσημείωτη εγκυρότητα των μετρήσεων της μεθόδου DXA με τη μέθοδο των ακτινογραφιών, ως προς την αξιολόγηση της σκελετικής ηλικίας (Herpe et al., 2012; Romann and Fuchslocher, 2016). Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου DXA είναι ότι εκθέτει το παιδί σε μικρότερη ακτινοβολία σε σύγκριση με την ακτινογραφία στα οστά του καρπού. Η αξιολόγηση της σκελετικής ηλικίας μπορεί να χαρακτηρίσει τα παιδιά ως προς το βαθμό ωρίμανσης. Η μικρότερη κατά ένα έτος ή και περισσότερο σκελετική ηλικία σε σύγκριση με τη χρονολογική χαρακτηρίζεται ως “καθυστερημένη” βιολογική ωρίμανση. Εάν η σκελετική και χρονολογική ηλικία συμπίπτουν στο ίδιο έτος χαρακτηρίζεται ως “ταυτόχρονη” βιολογική ωρίμανση και σκελετική ηλικία και η μεγαλύτερη κατά ένα έτος ή περισσότερο της σκελετικής έναντι της χρονολογικής χαρακτηρίζεται ως “πρόωρη” βιολογική ωρίμανση (Faigenbaum et al., 2020; Malina et al., 2004).

Ωρίμανση του φύλου- Σεξουαλική ωρίμανση

Η ωρίμανση του φύλου ή αλλιώς σεξουαλική ωρίμανση αντανακλά την αναπαραγωγική ικανότητα των ανθρώπων και σχετίζεται με την περίοδο της εφηβικής ηλικίας, όπου το αναπαραγωγικό σύστημα ωριμάζει και πραγματοποιείται η μετάβαση από την παιδική ηλικία προς την ενηλικίωση. Η σεξουαλική ωρίμανση εξαρτάται από τον άξονα υποθάλαμος- υπόφυση- γονάδες (ωοθήκες και όρχεις) και παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η έκκριση ανδρογόνων ορμονών από τα επινεφρίδια, ο λιπώδης ιστός, το γαστρεντερικό σύστημα και το σωματικό ή ψυ-

χικό στρες (Livadas and Chrousos, 2019). Αν και ο ακριβής μηχανισμός διέγερσης του άξονα δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως παρά την πλειάδα μελετών που έχουν διεξαχθεί σε αυτό το πεδίο (Livadas and Chrousos, 2016, 2019). Όταν το ενδοκρινικό σύστημα ωριμάσει αναπτύσσονται και τα δευτερογενή χαρακτηριστικά του φύλου. Τα δευτερογενή χαρακτηριστικά του φύλου αναφέρονται στην τριχοφυΐα στη μασχालαία και ηβική περιοχή, στα κορίτσια επιπρόσθετα στην ανάπτυξη των μαστών και στην έναρξη της εμμηνου ρύσεως, ενώ στα αγόρια στο μέγεθος των γεννητικών οργάνων, στην αλλαγή της φωνής και στην τριχοφυΐα του προσώπου (Livadas and Chrousos, 2016; Malina et al., 2015). Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά, τα παιδιά κατατάσσονται σε στάδια ωρίμανσης. Το στάδιο 1 (T1) που είναι τα προέφηβα παιδιά, τα στάδια 2,3,4 (T2, T3, T4) που βρίσκονται στην εφηβεία και το στάδιο 5 (T5) στο οποίο κατατάσσονται οι ενήλικες (Faigenbaum et al., 2020; Matina and Rogol, 2011; J. M. Tanner, 1962). Τα δευτερογενή χαρακτηριστικά του φύλου δεν αναπτύσσονται όλα την ίδια χρονική στιγμή, καθώς επηρεάζεται η ανάπτυξή τους από διαφορετικούς ιστούς και όργανα. Για παράδειγμα, οι μαστικοί αδένες και οι όρχεις επηρεάζονται από τις ορμόνες που εκκρίνονται από τους γονάδες, ενώ η τριχοφυΐα από τις ορμόνες των επινεφριδίων (Matina and Rogol, 2011). Για την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών εγείρονται ζητήματα ηθικής και την αξιολόγηση θα πρέπει να διεξάγει παιδίατρος/αναπτυξιολόγος. Ο παιδίατρος μπορεί να συγκρίνει την κατάσταση του παιδιού με συγκεκριμένες εικόνες που αντιστοιχούν στα διάφορα στάδια ωρίμανσης και να χρησιμοποιήσει όργανα όπως το ορχιδόμετρο και ο υπέρηχος για να αξιολογήσει το μέγεθος των όρχεων. Για την αποφυγή των ηθικών ζητημάτων έχουν αναπτυχθεί τρόποι αυτό-αξιολόγησης της σεξουαλικής ωρίμανσης, όπου τα παιδιά είτε συγκρίνουν τον εαυτό τους με φωτογραφίες (Rasmussen et al., 2015), είτε απαντούν σε ερωτηματολόγιο το οποίο περιέχει ερωτήσεις σχετικές με την αύξηση του ύψους, την τριχοφυΐα, την ακμή και στα δύο φύλα και επιπρόσθετα σχετικά με την αρχή της εμμηνου ρύσης και το μέγεθος των μαστών στα κορίτσια, την τριχοφυΐα στο πρόσωπο και την εμβάθυνση της φωνής στα αγόρια (Petersen, Crockett, Richards, and Boxer, 1988). Η αξιολόγηση μέσω των εικόνων παρουσιάζει μικρότερο βαθμό εγκυρότητας καθώς τα αγόρια υπερεκτιμούν και τα κορίτσια υποεκτιμούν τη σεξουαλική ωρίμανση (Rasmussen et al., 2015). Αντίθετα, το ερωτηματολόγιο παρουσιάζει υψηλό βαθμό εγκυρότητας (Petersen et al., 1988) και προτείνεται ως εναλλακτικός τρόπος αξιολόγησης. Από τα παραπάνω συμπε-

ραίνεται πως ο ενδεδειγμένος τρόπος αξιολόγησης της σεξουαλικής ωρίμανσης είναι η αξιολόγηση από τον παιδίατρο/ αναπτυξιολόγο. Στη συνθήκη όπου οι ειδικοί της άσκησης ή ερευνητές από το χώρο της επιστήμης της άσκησης επιθυμούν να αξιολογήσουν την ωρίμανση συστήνεται να απευθυνθούν στους γονείς και κατ' επέκταση στον παιδίατρο/αναπτυξιολόγο (αν πρόκειται για τη σεξουαλική ωρίμανση) ή να υιοθετήσουν άλλο τρόπο αξιολόγησης, όπως η εκτίμηση του PHV ο οποίος είναι πραγματοποιήσιμος με απλές μετρήσεις στο πεδίο.

Νευρικό σύστημα και ανάπτυξη

Το νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο, το εγκεφαλικό στέλεχος, το νωτιαίο μυελό, τους νευρικούς υποδοχείς και τα νεύρα τα οποία συνδέουν όλα τα όργανα μεταξύ τους και παίρνουν μέρος στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των οργάνων αλλά και με το εξωτερικό περιβάλλον. Το νευρικό σύστημα διαχωρίζεται στο κεντρικό και στο αυτόνομο νευρικό σύστημα. Το κεντρικό νευρικό σύστημα αποτελείται από τον εγκέφαλο, το νωτιαίο μυελό, και το περιφερικό νευρικό σύστημα που με τη σειρά του αποτελείται από τους νευρικούς υποδοχείς και τα περιφερικά νεύρα και ουσιαστικά μεταφέρει τις πληροφορίες στα όργανα και συλλεγεί πληροφορίες που τις επιστρέφει στο κεντρικό νευρικό σύστημα (π.χ. αντανακλαστικά). Το περιφερικό νευρικό σύστημα διακρίνεται στο κινητικό νευρικό σύστημα και στο αυτόνομο νευρικό σύστημα. Κύρια λειτουργία του κινητικού συστήματος είναι η πραγματοποίηση της κίνησης. Η κίνηση προγραμματίζεται στον εγκέφαλο, μεταφέρεται στο νωτιαίο μυελό και από εκεί στα κινητικά νεύρα. Το αυτόνομο νευρικό σύστημα ρυθμίζει την επικοινωνία μεταξύ του νευρικού συστήματος και των υπολοίπων οργάνων του ανθρώπινου οργανισμού. Διαχωρίζεται στο συμπαθητικό, το οποίο προετοιμάζει το σώμα για καταστάσεις στρες όπως είναι και η άσκηση, και το παρασυμπαθητικό σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο κυρίως σε καταστάσεις ηρεμίας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την αποκατάσταση του οργανισμού. Σε όργανα στα οποία λειτουργούν τόσο το συμπαθητικό όσο και το παρασυμπαθητικό σύστημα η λειτουργία τους είναι ανταγωνιστική. Για παράδειγμα, η καρδιακή συχνότητα ρυθμίζεται μέσω της λειτουργίας του συμπαθητικού συστήματος (που είναι υπεύθυνο για την αύξησή της σε καταστάσεις στρες) και της λειτουργίας του παρασυμπαθητικού (που είναι υπεύθυνο για τη μείωσή της, μετά την άσκηση ή το στρες).

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στην ιατρική έχει επιτρέψει τα τελευταία χρόνια τη διεξαγωγή μελετών με τη χρήση της εξελιγμένης μαγνητικής τομογραφίας, οι οποίες επιβεβαιώνουν και εμπλουτίζουν τα συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης στο νευρικό σύστημα και δη του εγκεφάλου (Lebel and Deoni, 2018; Lenroot and Giedd, 2006). Αντικείμενο των μελετών έχουν αποτελέσει το μέγεθος του εγκεφάλου και των διαφόρων ανατομικών περιοχών του καθώς και η μυελινοποίηση των νευρικών κυττάρων. Ένα μεγάλο μέρος του εγκεφάλου αναπτύσσεται ήδη κατά την κύηση, στη συνέχεια ο εγκέφαλος φτάνει το 95% του μεγέθους του περίπου στο 6^ο -7^ο έτος ηλικίας (Dekaban, 1978) και το 100% στην ηλικία περίπου των 11,5 ετών για τα κορίτσια και των 14,5 ετών για τα αγόρια (Giedd et al., 1996; Lenroot and Giedd, 2006). Η δομή του εγκεφάλου αναδιαμορφώνεται και τελειοποιείται κατά την ενηλικίωση (Rice and Barone, 2000). Στις μελέτες όπου αναλύονται εικόνες μαγνητικής τομογραφίας του εγκεφάλου αξιολογούνται η φαιά ουσία (gray matter) η οποία περιέχει το σώμα των νευρικών κυττάρων και η λευκή ουσία (white matter) η οποία ουσιαστικά απεικονίζει τη μυελίνη (πρωτεΐνη η οποία μονώνει τα νευρικά κύτταρα, επιταχύνει τη μετάδοση του νευρικού σήματος και εξοικονομεί ενέργεια στη μετάδοση του νευρικού σήματος στο μηχανισμό της μυϊκής σύσπασης) στους άξονες των νευρικών κυττάρων. Η ανάπτυξη επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο τη φαιά και τη λευκή ουσία, ενώ διαπιστώνεται και διαφορετική εξέλιξη στους λοβούς και στο φλοιό του εγκεφάλου (Lebel and Deoni, 2018; Lenroot and Giedd, 2006). Σχετικά με τη φαιά ουσία διαπιστώνεται το σχήμα του αντίστροφου U, όπου η μέγιστη συγκέντρωση παρατηρείται στα 7,5 χρόνια στα κορίτσια και στα 10 στα αγόρια, ενώ στη λευκή ουσία η αύξηση είναι γραμμική (Lenroot and Giedd, 2006). Η μυελινοποίηση των αξόνων στα νευρικά κύτταρα συμβαίνει από τα μέσα της κύησης, εξελίσσεται ραγδαία στα δύο πρώτα χρόνια της ζωής και το μεγαλύτερο μέρος της ολοκληρώνεται στην πρώτη πενταετία, με διαφορετικό ρυθμό στα μέρη του εγκεφάλου (Lebel and Deoni, 2018). Τα μέρη τα οποία συνδέονται με τις κινητικές και αισθητικές λειτουργίες ωριμάζουν νωρίτερα σε σύγκριση με τα μέρη τα οποία ελέγχουν τη συναρμογή της κίνησης (Gogtay et al., 2004). Με την εξέλιξη της τεχνολογίας διαπιστώνεται πως η μυελινοποίηση συνεχίζεται μέχρι τη δεύτερη και τρίτη δεκαετία της ζωής, οπότε και φτάνει στις μέγιστες τιμές και ίσως μειώνεται από την τέταρτη δεκαετία και έπειτα (Lebel and Deoni, 2018). Η λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος έχει μελετηθεί έμμεσα κατά την ανάπτυξη μέσω δει-

κτών του συμπαθητικού και παραμυθητικού συστήματος σε υγιή και παχύσαρκα παιδιά (Bjelakovic et al., 2017; Ohuchi et al., 2000; Weise, Eisenhofer, and Merke, 2002). Δείκτη της λειτουργίας του συμπαθητικού συστήματος αποτελεί η συγκέντρωση της ορμόνης νορεπινεφρίνη, η οποία δρα ως νευροδιαβιβαστής και η οποία φαίνεται πως αυξάνεται στα αγόρια με την εφηβεία όχι όμως και στα κορίτσια (Weise et al., 2002), υποδεικνύοντας πως οι ορμόνες του φύλου ίσως επηρεάζουν τη λειτουργία του συμπαθητικού συστήματος. Σχετικά με τη λειτουργία του παρασυμπαθητικού συστήματος έχει μελετηθεί η μεταβλητότητα της καρδιακής συχνότητας και η αποκατάστασή της ένα λεπτό μετά τη διακοπή της άσκησης (Bjelakovic et al., 2017; Ohuchi et al., 2000). Σε έρευνα του Ohuchi και των συνεργατών του διαπιστώθηκε αυξημένη παρασυμπαθητική λειτουργία στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες (Ohuchi et al., 2000), ενώ σε άλλες μελέτες συμπεραίνεται πως η αυξημένη παρασυμπαθητική λειτουργία μπορεί να επηρεαστεί σε παθολογικό βαθμό σε παχύσαρκα παιδιά ηλικίας 5-6 ετών (Vrijkotte et al., 2015) και 9-11 ετών (Zhou, Xie, Wang, and Yang, 2012).

Η ραγδαία αύξηση και ωρίμανση του νευρικού συστήματος των παιδιών ήδη από τη βρεφική ηλικία συντελεί στην ανάπτυξη του κινητικού συστήματος και την απόκτηση βασικών κινητικών δεξιοτήτων. Στο πρώτο τετράμηνο της ζωής ελέγχουν την αλλαγή θέσης, κινούνται ενάντια στη βαρύτητα, προσαρμόζουν το χειρισμό αντικειμένων και τοποθετούν το κεφάλι και το σώμα τους σε κατάλληλες θέσεις ώστε να ακούν, να κοιτάζουν και να αλληλοεπιδρούν με τους ανθρώπους που τα φροντίζουν (Kim, Lee, and Lee, 2011; Raniero, Tudella, and Mattos, 2010). Στο διάστημα που ακολουθεί τα παιδιά καταφέρνουν να καθίσουν μόνα τους (6-11 μήνες), να προχωρήσουν με τετραπλή στήριξη (7-14 μήνες), να σταθούν όρθια με βοήθεια (7-12 μήνες), να σταθούν χωρίς βοήθεια (8-18 μήνες), να περπατήσουν με βοήθεια (8-15 μήνες) και να περπατήσουν χωρίς βοήθεια (10-20 μήνες) ("Assessment of sex differences and heterogeneity in motor milestone attainment among populations in the WHO Multicentre Growth Reference Study," 2006; Hadders-Algra, 2018). Τα παιδιά μέχρι την ηλικία των 5 ετών περίπου έχουν μάθει να ισορροπούν, να τρέχουν, να πηδούν, να κλωτσούν, να πιάνουν και να πετούν αντικείμενα (Faigenbaum et al., 2020). Από μελέτες οι οποίες έχουν εξετάσει την αποτελεσματικότητα προγραμμάτων παρέμβασης με δομημένα και μη δομημένα προγράμματα άσκησης στην παιδική χαρά, για χρονικό διάστημα 4-10 εβδομάδων, διαπιστώθηκε πως τα παιδιά ηλικίας 5-6 ετών βελτιώνουν σε ση-

μαντικό βαθμό τις ικανότητες που σχετίζονται με την κίνηση (Matvienko and Ahrabi-Fard, 2010; Tortella, Haga, Loras, Sigmundsson, and Fumagalli, 2016). Η διακοπή του παρεμβατικού προγράμματος άμβλυνε τις διαφορές στις περισσότερες δοκιμασίες, όχι όμως σε όλες, μεταξύ των παιδιών που συμμετείχαν στο πρόγραμμα και των παιδιών που δεν συμμετείχαν (Matvienko and Ahrabi-Fard, 2010). Τα δεδομένα των παραπάνω μελετών οδηγούν στο συμπέρασμα πως η ραγδαία ανάπτυξη του νευρικού συστήματος από την εμβρυϊκή φάση μέχρι την ηλικία των 6 ετών οδηγεί τα παιδιά στην απόκτηση βασικών κινητικών δεξιοτήτων που τα βοηθά στο να συμμετέχουν σε κινητικές δράσεις. Ακόμη, διαπιστώνεται πως υπάρχει προπονησιμότητα του νευρικού συστήματος ήδη από την ηλικία των 5 ετών και ενδεχομένως μελέτες να παρουσιάσουν παρόμοια συμπεράσματα και σε μικρότερες ηλικίες στο μέλλον.

Η προπονησιμότητα της λειτουργίας του νευρικού συστήματος στην παιδική και εφηβική ηλικία έχει αξιολογηθεί τις περισσότερες φορές έμμεσα στην αθλητική επιστήμη. Σε μία μόνο έρευνα πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της επίδραση προγράμματος άσκησης με βάρη στη μυϊκή ενεργοποίηση μέσω ηλεκτρομυογραφήματος (Ozmun, Mikesky, and Surburg, 1994). Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν προέφηβα αγόρια και κορίτσια σε πρόγραμμα μυϊκής ενδυνάμωσης 8 εβδομάδων. Στα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε βελτίωση της δύναμης και αυξημένη ηλεκτρική διέγερση των μυών, υποδεικνύοντας τις νευρικές προσαρμογές. Ακόμη, πληθώρα μελετών έχει εξετάσει την έμμεση επίδραση της προπόνησης στη λειτουργία του νευρικού συστήματος και τα αποτελέσματα αυτών συνοψίζονται σε τουλάχιστον δύο δημοσιεύσεις ανασκόπησης (Behm et al., 2017; R. S. Lloyd et al., 2014). Το κοινό συμπέρασμα είναι πως υπάρχει προπονησιμότητα της μυϊκής ισχύος όπως αυτή εκφράζεται από τις επιδόσεις δύναμης, ταχύτητας, αλτικότητας και ευκινησίας. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδεικνύουν τη βελτίωση στη λειτουργία του νευρικού συστήματος καθώς βελτιώθηκε η αθλητική επίδοση χωρίς να αυξηθεί η μυϊκή μάζα (Faigenbaum et al., 2009; Oertel, 1988; Vogler and Bove, 1985).

Συμπερασματικά, το νευρικό σύστημα εξελίσσεται ραγδαία τόσο κατά την κύηση όσο και στα πρώτα χρόνια της ζωής. Οι εξελιγμένες τεχνικές μαγνητικής τομογραφίας εγκεφάλου, όπου χωρίς ακτινοβολία μπορούν να εξεταστούν οι μορφολογικές αλλαγές στον εγκέφαλο, οδηγούν τους ερευνητές σε μονοπάτια καλύτερης κατανόησης της ανάπτυξης. Από τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί

φαίνεται πως τα παιδιά επωφελούνται από τη συμμετοχή τους σε δραστηριότητες οι οποίες έχουν στόχο την κινητική ανάπτυξη και επιπρόσθετα επωφελούνται από την προπόνηση μυϊκής ενδυνάμωσης ήδη από την προεφηβική περίοδο. Προτείνεται η ενθάρρυνση των παιδιών για συμμετοχή σε ελεύθερες ή δομημένες δραστηριότητες από πολύ μικρή ηλικία ώστε να αναπτύξουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις κινητικές τους δεξιότητες και να υιοθετήσουν καλές συνήθειες για την μετέπειτα ζωή τους. Έρευνες οι οποίες θα εξετάζουν τη διαχρονική επίδραση της άσκησης σε παραμέτρους του νευρικού συστήματος απαιτούνται ώστε να εξελιχθεί η επιστήμη της άσκησης και σε αυτόν τον τομέα.

Ενδοκρινικό σύστημα και ανάπτυξη

Το ενδοκρινικό σύστημα αποτελείται από αδένες οι οποίοι εκκρίνουν ορμόνες. Λειτουργία του είναι η επικοινωνία μεταξύ των οργάνων και των συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού και επηρεάζει την ανάπτυξη, το μεταβολισμό που με τη σειρά τους καθορίζουν την αθλητική απόδοση των παιδιών. Ουσιαστικά θα μπορούσε να σημειωθεί πως συμπληρώνει τη λειτουργία του νευρικού συστήματος σε ότι αφορά την επικοινωνία των συστημάτων εντός του οργανισμού με χημικό τρόπο. Το ενδοκρινικό σύστημα διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ανάπτυξη και ωρίμανση όλων των συστημάτων του οργανισμού. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αυξητική ορμόνη επηρεάζει την ανάπτυξη των οστών και τελικά του σωματικού ύψους, τη στιγμή που οι ορμόνες του φύλου ανοίγουν νέα μονοπάτια ανάπτυξης στην περίοδο της εφηβείας και στις ασκησιογενείς προσαρμογές (Paltoglou et al., 2019; Paltoglou et al., 2015). Ίσως οι δύο σημαντικότεροι άξονες που μπορούν να μελετηθούν σχετικά με την ανάπτυξη και την άσκηση/ προπόνηση είναι αυτός της αυξητικής ορμόνης (GH) με τον αυξητικό παράγοντα της ινσουλίνης 1 (IGF1) και ο άξονας των ορμονών του φύλου.

Η GH και ο IGF1 επηρεάζουν την ανάπτυξη του σκελετού, την ανάπτυξη του μυϊκού συστήματος και πλήθος μεταβολικών διεργασιών (Paltoglou et al., 2015). Η GH εκκρίνεται από τον πρόσθιο λοβό της υπόφυσης (αδένας που βρίσκεται στον εγκέφαλο). Η έκκρισή της ελέγχεται από τον υποθάλαμο ο οποίος δύναται να εκκρίνει δύο ορμόνες τον παράγοντα έκκρισης της αυξητικής ορμόνης που διεγείρει την έκκριση της GH και τη σωματοστατίνη που αναστέλλει την έκκρισή της. Η GH με τη σειρά της μεταβιβάζει το μήνυμα της έκκρισης του IGF1 στα ηπατικά κύτταρα. Η GH λειτουργεί αναβολικά στους μύες και τα οστά τόσο ανε-

ξάρτητα όσο και μέσα από τη δράση του IGF1, όπως και πολλές λειτουργίες του IGF1 εξαρτώνται από τη δράση της GH ενώ κάποιες άλλες όχι (Rajaram, Baylink, and Mohan, 1997). Σχετικά με τη φυσιολογική ανάπτυξη των παιδιών είναι χαρακτηριστικό πως οι ραγδαίες αυξήσεις στο σκελετό που παρουσιάζονται στην προεφηβεία σε μικρότερο βαθμό και στην εφηβεία σε μεγαλύτερο είναι ταυτόχρονες με τις κορυφώσεις στη μέση ημερήσια συγκέντρωση της αυξητικής ορμόνης (Martha et al., 1989), συνδέοντας με αυτό τον τρόπο τον μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης του ύψους με την αυξητική ορμόνη (Naughton, Farpour-Lambert, Carlson, Bradney, and Van Praagh, 2000). Η συγκέντρωση της αυξητικής ορμόνης κορυφώνεται στην εφηβεία και από εκεί και έπειτα μειώνεται (Sattler, 2013). Σημαντικό ρόλο στην έκκριση ορμονών κατά την εφηβεία διαδραματίζει η σύσταση σώματος και η ενεργειακή πρόσληψη. Είναι αποδεδειγμένο πως το πολύ χαμηλό ποσοστό λίπους που συνοδεύεται από χαμηλή διατροφική πρόσληψη οδηγεί στην καθυστέρηση της έναρξης της εφηβείας και της εμμήνου ρύσης στα κορίτσια και πως στην αντίθετη κατεύθυνση επιδρά η παχυσαρκία (Kaplowitz, Slora, Wasserman, Pedlow, and Herman-Giddens, 2001).

Η εφηβεία είναι η περίοδος κατά την οποία λαμβάνουν χώρα οι περισσότερες ορμονικές αλλαγές που συνδέονται με τον άξονα υποθάλαμος, υπόφυση, επινεφρίδια και όργανα του φύλου. Υπεύθυνες ορμόνες που ελέγχουν την έκκριση των ορμονών του φύλου είναι η ωχρινοτρόπος ορμόνη (LH) και η ωοθυλακιοτρόπος ορμόνη (FSH) οι οποίες εκκρίνονται από την υπόφυση και εξαρτώνται από την ορμόνη έκκρισης γοναδοτροπινών του υποθαλάμου (GnRH). Οι LH και FSH είναι ορμόνες οι οποίες διεγείρουν την έκκριση οιστρογόνων στα κορίτσια από τις ωοθήκες και τεστοστερόνης στα αγόρια από τους όρχεις. Αυτές με τη σειρά τους προσδίδουν τα χαρακτηριστικά του φύλου και προκαλούν σημαντικές μορφολογικές και βιολογικές μεταβολές στο ανθρώπινο σύστημα (Malina et al., 2004; Naughton et al., 2000), από τη στιγμή που μπορούν να δράσουν απευθείας στην ανάπτυξη των οστών αλλά και δευτερογενώς επηρεάζοντας την έκκριση GH και κατ' επέκταση του IGF1 (Rogol, 1994). Μερικά από τα εμφανή δευτερογενή χαρακτηριστικά του φύλου είναι η τριχοφυΐα και η αλλαγή στον τόνο της φωνής. Κατά την προεφηβεία τα αγόρια και τα κορίτσια παρουσιάζουν παρόμοιο ορμονικό προφίλ κάτι που εν μέρει εξηγεί τις μικρές διαφορές μεταξύ αγοριών και κοριτσιών στην απόδοση, τη σύσταση σώματος και άλλες παραμέτρους.

Αν και η επίδραση της ανάπτυξης στα βιολογικά συστήματα και ως εκ τούτου στην ικανότητα για την πραγματοποίηση άσκησης είναι δεδομένη, δεν είναι αρκετά αυτά τα οποία γνωρίζουμε για την επίδραση της οξείας άσκησης και της προπόνησης στην ανταπόκριση του ενδοκρινικού συστήματος στα στάδια ανάπτυξης. Ορισμένες μελέτες έχουν προσπαθήσει να διερευνήσουν αυτή τη σχέση σε οξεία φάση σε σχέση με το στάδιο ανάπτυξης και τα χαρακτηριστικά της άσκησης (Falk and Eliakim, 2014; Klentrou et al., 2016). Πρόσφατα η Klentrou και οι συνεργάτες της (2016) διαπίστωσαν πως η συμμετοχή στη συνθήκη ελέγχου, σε 30 λεπτά προπόνησης με βάρη ή 30 λεπτά πλειομετρικής προπόνησης κατά τις απογευματινές ώρες οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης της τεστοστερόνης και στις δύο ομάδες άσκησης και σε μείωση της κορτιζόλης στα 5 λεπτά μετά την άσκηση, όχι όμως και στα 30 λεπτά, όπου σημειώθηκε αύξηση της κορτιζόλης στη συνθήκη της πλειομετρικής άσκησης. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν μια παροδική αναβολική φάση μετά την άσκηση με αντιστάσεις και την πλειομετρική άσκηση. Ωστόσο, ευρήματα άλλων μελετών διαπιστώνουν αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση της προπόνησης με αντιστάσεις στη συγκέντρωση κορτιζόλης, τεστοστερόνης και αυξητικής ορμόνης και σημειώνεται πως αυτή η μορφή άσκησης μπορεί να αυξήσει τόσο τις αναβολικές όσο και τις καταβολικές ορμόνες (Falk and Eliakim, 2014). Οι όποιες διαφορές ενδεχομένως να σχετίζονται με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της εξωτερικής επιβάρυνσης στα προγράμματα άσκησης που εφαρμόστηκαν. Ο Di Luigi και οι συνεργάτες του (2006) ανέφεραν αύξηση της τεστοστερόνης μετά από μία προπόνηση ποδοσφαίρου. Ο Viru και οι συνεργάτες του (1998) εξέτασαν την επίδραση μιας προπονητικής μονάδας μέτριας έντασης στην έκκριση οιστρογόνων σε κορίτσια διαφορετικού σταδίου ανάπτυξης και διαπίστωσαν πως τόσο στα κορίτσια που έμπαιναν στην εφηβεία όσο και σε αυτά που ολοκλήρωναν αυτή τη φάση, η συγκέντρωση οιστρογόνων αυξήθηκε αλλά σε διαφορετικό βαθμό (27% και 43% αντίστοιχα). Σε αντιστοιχία με τα παραπάνω ο Marin και οι συνεργάτες (1994) του διαπίστωσαν αύξηση στην αυξητική ορμόνη σε αγόρια και κορίτσια μετά από μία δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης έντασης σε διάδρομο. Ωστόσο, αύξηση μεγαλύτερη από 7microgram/L (που είχε τεθεί ως κριτήριο σημαντικής αύξησης στη μελέτη) παρατηρήθηκε σε όλα τα παιδιά στα στάδια ανάπτυξης T4 και T5, στο 89% των παιδιών στο στάδιο T3, στο 66% των παιδιών στο στάδιο T2 και στο 39% των

παιδιών που βρίσκονταν στο στάδιο T1, ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ αγοριών και κοριτσιών σε οποιοδήποτε στάδιο ανάπτυξης.

Η χρόνια επίδραση της προπόνησης στο ενδοκρινικό σύστημα στα στάδια ανάπτυξης δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Ιδιαίτερα δεν υπάρχουν διαχρονικές μελέτες οι οποίες να εξετάζουν αυτή τη σχέση. Μία μελέτη έχει εξετάσει με σύγχρονο σχεδιασμό τη συγκέντρωση ορμονών σε προέφηβα και έφηβα παιδιά που συμμετείχαν σε ατομικά (κωπηλασία, ξιφασκία και κολύμβηση) και ομαδικά αθλήματα (καλαθοσφαίριση και χειροσφαίριση) (Tsolakis et al., 2003). Στα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε εν μέρει διαφορετική συγκέντρωση στην τεστοστερόνη, στην δεσμευτική σφαιρίνη ορμόνη του φύλου, στον δείκτη ελεύθερων ανδρογόνων (λόγος των δύο προηγούμενων) και στην αυξητική ορμόνη. Τα αποτελέσματα αυτά υποδεικνύουν πως υπάρχει ενδεχόμενη σχέση μεταξύ αθλητικής δραστηριότητας και προσαρμογών στο ενδοκρινικό σύστημα. Ωστόσο, για μεγαλύτερη ασφάλεια στα συμπεράσματα χρειάζεται να διεξαχθούν διαχρονικές ή σύγχρονες μελέτες στις οποίες θα αξιολογείται η επιβάρυνση που δέχονται οι νέοι αθλητές στο κάθε άθλημα. Ο Tsolakis και οι συνεργάτες του σε δύο μελέτες (2000; 2003) εξέτασαν την επίδραση ενός προγράμματος δύο μηνών με αντιστάσεις ή αντοχής και την επίδραση της διακοπής της προπόνησης στο ορμονικό προφίλ αγοριών. Στα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η προπόνηση με βάρη προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση στη συγκέντρωση τεστοστερόνης έναντι της ομάδας ελέγχου. Ειδικότερα, η προπόνηση με βάρη (3 φορές την εβδομάδα, 6 ασκήσεις, 3 σετ των 10 επαναλήψεων) είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση στη συγκέντρωση τεστοστερόνης κατά 124% στα αγόρια ηλικίας 11-13 ετών και κατά 32% στα αγόρια 14-16 ετών. Μάλιστα η συγκέντρωση τεστοστερόνης διατηρήθηκε και 2 μήνες μετά τη διακοπή του προγράμματος.

Αν και ο ρόλος του ενδοκρινικού συστήματος στην ανάπτυξη είναι απόλυτα καθορισμένος δεν συμβαίνει το ίδιο με τις ασκησιογενείς επιδράσεις. Από τις ενδείξεις που υπάρχουν φαίνεται πως η άσκηση δυναμικά μπορεί να επιδράσει σε οξεία φάση στο ενδοκρινικό σύστημα διαμορφώνοντας αναβολικό προφίλ που θα επικουρήσει την ανάπτυξη. Από τα λιγοστά διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα το ίδιο μπορεί να συμβαίνει και με την χρόνια επίδραση της προπόνησης χωρίς όμως αυτό να υποδηλώνει ότι η προπόνηση επιδρά περισσότερο από τη φύση. Για την καλύτερη κατανόηση της σχέσης ενδοκρινικού συστήματος και άσκησης/ προπό-

νησης απαιτείται η περαιτέρω διερεύνηση του φαινομένου με διαχρονικές μελέτες με ταυτόχρονη καταγραφή των προπονητικών επιβαρύνσεων.

Μυϊκό σύστημα και ανάπτυξη

Το μυϊκό σύστημα αποτελεί το μεγαλύτερο ιστό του ανθρωπίνου σώματος καθώς καλύπτει το 25% του σωματικού βάρους κατά τη γέννηση και μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει το 40% του σωματικού βάρους κατά την ενηλικίωση. Η σύσταση των μυών μεταβάλλεται από τη γέννηση έως την ενηλικίωση, όπως μεταβάλλεται το μέγεθος των μυών είτε προσθέτοντας σαρκομέρια σε σειρά είτε αυξάνοντας την εγκάρσια διατομή. Οι ανθρώπινες μυϊκές ίνες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις μυϊκές ίνες βραδείας συστολής και τις μυϊκές ίνες ταχείας συστολής. Οι μυϊκές ίνες υπόκεινται στην κυτταρική διεργασία της διαφοροποίησης όπου αποκτούν ιδιότητες σύστασης, μεταβολισμού και ταχύτητας συστολής κατά την εμβρυϊκή φάση και κατά την ανάπτυξη.

Αύξηση του μυϊκού ιστού

Οι κύριοι μηχανισμοί αύξησης της μυϊκής μάζας στον ανθρώπινο μυϊκό ιστό είναι η υπερπλασία, η οποία αναφέρεται στην αύξηση του αριθμού των μυϊκών ινών και η μυϊκή υπερτροφία, η οποία αναφέρεται στην πρόσθεση σαρκομερίων σε σειρά και σε πλάτος. Η διαδικασία της αύξησης είναι άμεσα εξαρτώμενη από το γενετικό υλικό το οποίο βρίσκεται στους πυρήνες των μυϊκών κυττάρων και στα δορυφόρα κύτταρα. Τα τελευταία βρίσκονται στην κυτταρική μεμβράνη των μυϊκών κυττάρων και πρόκειται για μυϊκά βλαστοκύτταρα τα οποία δεν διαφοροποιήθηκαν σε μυϊκές ίνες. Ο μηχανισμός λειτουργίας τους στηρίζεται στη λειτουργία του αυξητικού παράγοντα της ινσουλίνης 1 (IGF1) και της αυξητικής ορμόνης (Hennebry et al., 2017). Ανασταλτικός μηχανισμός στην αύξηση της μυϊκής μάζας αποτελεί η μυοστατίνη η οποία εμποδίζει την αύξηση της (Schiaffino, Dyar, Ciciliot, Blaauw, and Sandri, 2013). Η αύξηση της μυϊκής μάζας με τον μηχανισμό της υπερπλασίας συντελείται στο τελευταίο τρίμηνο της κύησης, οπότε και διπλασιάζονται οι μυϊκές ίνες, και ενδεχομένως συνεχίζεται στους πρώτες τέσσερις μήνες της ζωής (Malina et al., 2004). Σε επίμυες έχει διαπιστωθεί πως ο αριθμός των μυϊκών ινών είχε καθοριστεί πριν τη γέννηση σε μύες, όπως ο γαστροκνήμιος και ο ορθός κοιλιακός, ενώ συνεχίστηκε η αύξηση του αριθμού των μυϊκών ινών σε μύες, όπως ο πρόσθιος κνημιαίος και ο μακρύς εκτίνων τους δα-

κτύλους για μία εβδομάδα (αντιστοιχεί περίπου σε 5 μήνες στον άνθρωπο) μετά τη γέννηση (Li et al., 2015). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική σύνθεση των μυών ως προς τον τύπο των μυϊκών ινών. Η μυϊκή υπερτροφία συμβαίνει κατά τον πρώτο χρόνο της ζωής και παραμένει σταθερή μέχρι τα οκτώ χρόνια ζωής (Vogler and Bove, 1985). Θεαματικές αλλαγές στο μέγεθος των μυών συμβαίνουν κατά την εφηβεία και ιδιαίτερα στα αγόρια εξαιτίας της ωρίμανσης του ενδοκρινικού συστήματος και της αυξημένη έκκρισης ανδρογόνων ορμονών που οδηγούν στην αύξηση της μυϊκής μάζας (Vogler and Bove, 1985). Μάλιστα, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε πτώματα παιδιών ηλικίας 0 έως 20 ετών (ο θάνατος προήλθε από ατύχημα και όχι από παθολογικά αίτια) διαπιστώθηκε 25 φορές υψηλότερη εγκάρσια διατομή, η οποία εξακριβώθηκε κυρίως στις ίνες τύπου II και περισσότερο στα αγόρια σε σύγκριση με τα κορίτσια (Oertel, 1988). Συμπερασματικά, διαπιστώνεται πως ο μηχανισμός της υπερπλασίας των μυϊκών ινών πραγματοποιείται πριν τη γέννηση και για μικρό χρονικό διάστημα μετά τη γέννηση. Από εκεί και έπειτα φαίνεται πως ο κύριος μηχανισμός αύξησης είναι η μυϊκή υπερτροφία που πραγματοποιείται με την ανάπτυξη και την άσκηση μέσω προγραμμάτων με αντιστάσεις, με την προϋπόθεση της ωρίμανσης του ενδοκρινικού συστήματος (Faigenbaum et al., 2009).

Μυϊκές ίνες και εξέλιξη με την ηλικία

Οι τύποι των μυϊκών ινών που αναγνωρίζονταν στα θηλαστικά, στα πρώτα χρόνια της έρευνας σε αυτό το πεδίο, ήταν οι ίνες βραδείας (τύπου I) και ταχείας συστολή (τύπου II). Στη συνέχεια και με βάση τη διαφοροποίηση στις ισομορφές των βαριών αλυσίδων μυοσίνης (συσταλτή πρωτεΐνη που απαντάται στα σαρκομέρια των μυϊκών ινών) οι ίνες ταχείας συστολής διαχωρίστηκαν σε ίνες τύπου IIα και ίνες τύπους IIβ (Peter, Barnard, Edgerton, Gillespie, and Stempel, 1972). Οι βασικές διαφορές αφορούν στην ταχύτητα της σύσπασης και στον μεταβολισμό για την πραγματοποίησή της. Οι ίνες βραδείας συστολής χαρακτηρίζονται ως κόκκινες λόγω της αιμάτωσης τους, με χαμηλή ταχύτητα συστολής και στις οποίες υπερτερεί ο αερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας. Οι ίνες τύπου II χαρακτηρίζονται ως λευκές, παρουσιάζουν υψηλή ταχύτητα σύσπασης και διακρίνονται σε οξειδογλυκολυτικές (IIα) και γλυκολυτικές (IIβ) με βάση τους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας και τα ενεργειακά υποστρώματα που μεταβολίζουν (Peter et al., 1972). Με την πάροδο των ετών διαπιστώθηκε μία ακόμη υποδιαίρε-

ση των μυϊκών ινών τύπου II, οι ίνες P_x (Schiaffino et al., 1989). Ειδικότερα, βρέθηκε πως στα ποντίκια οι ίνες P_x ήταν ένα ενδιάμεσο είδος μεταξύ των ινών P_α και P_β. Ωστόσο, σε μελέτες σε ανθρώπινο ιστό δεν βρέθηκε σημαντική διαφοροποίηση από τις ίνες τύπου P_β και ενδεχομένως ο ορθότερος χαρακτηρισμός, αν και έχει επικρατήσει ο όρος P_β, είναι ίνες τύπου P_x (Schiaffino, 2018; Schiaffino et al., 2013; Schiaffino and Reggiani, 2011). Σύγχρονες μελέτες αναφέρουν πως οι μυϊκές ίνες διαχωρίζονται επιπρόσθετα από το ανατομικό σημείο στο οποίο βρίσκονται, έτσι διαχωρίζονται στις μυϊκές ίνες του λαιμού και της κεφαλής και τις μυϊκές ίνες του κορμού και των άκρων. Ακόμη, έχει διαπιστωθεί πως σε μια μυϊκή ίνα μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία ισομορφές, δηλαδή να απαντώνται ισομορφές μυοσίνης I και P_α ή P_α και P_β ή και άλλοι συνδυασμοί. Συνολικά, αναφέρονται 11 συνδυασμοί ισομορφών βαριών αλυσίδων μυοσίνης και αντίστοιχες ονομασίες, οι οποίες απαντώνται στους μύες των οφθαλμών, του λαιμού, του κορμού και των άκρων (Schiaffino, 2018; Schiaffino et al., 2013). Η κατανομή των μυϊκών ινών παρουσιάζει επίσης διαφορές από άνθρωπο σε άνθρωπο. Για παράδειγμα, οι μυϊκές ίνες τύπου I έχει διαπιστωθεί πως μπορεί να κυμαίνονται από 15-85% στον έξω πλατύ μυ του τετρακεφάλου σε αθλητές και ανθρώπους που διάγουν καθιστικό τρόπο ζωής (Schiaffino and Reggiani, 2011). Στη γενετική προδιάθεση μπορεί να αποδοθεί περίπου το 50% της διαφοροποίησης (Simoneau and Bouchard, 1995). Σε αθλητές αντοχής έχει διαπιστωθεί ότι έχουν περισσότερες μυϊκές ίνες τύπου I, ενώ οι αθλητές δύναμης και ταχύτητας περισσότερες ίνες τύπου II (Costill et al., 1976), χωρίς να είναι καθορισμένη απόλυτα η επίδραση του αγωνίσματος στην κατανομή των μυϊκών ινών ή η επιλογή του αγωνίσματος με βάση την κατανομή των μυϊκών ινών. Οι επιστήμονες έχουν οδηγηθεί σε αυτά τα ερευνητικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα λίγων μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί σε ανθρώπους. Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα η οποία να στηρίζεται σε νέες μοριακές τεχνικές αναλύσεων ώστε να επιβεβαιωθούν ή να αναθεωρηθούν τα παραπάνω συμπεράσματα.

Σχετικά με την επίδραση της ηλικίας στη διαφοροποίηση των μυϊκών ινών διαπιστώνεται πως αυτή συνεχίζεται για μερικές ημέρες μετά τη γέννηση και εξαρτάται από το νευρικό σύστημα και την ωρίμανση του ορμονικού συστήματος, κυρίως από την αύξηση των ορμονών του θυρεοειδή αδένου (Schiaffino and Reggiani, 2011). Μετά τη γέννηση ο αριθμός των μυϊκών ινών όλων των τύπων

αυξάνεται για περίπου ένα χρόνο. Σε συγχρονική μελέτη (cross sectional study) διαπιστώθηκε ότι η διαφοροποίηση των μυϊκών ινών και η μετατροπή τους από ίνες τύπου II σε ίνες τύπου I σε ορισμένους μύες, ενδεχομένως να συνεχίζεται και δύο χρόνια μετά τη γέννηση (Oertel, 1988). Ωστόσο, ο τύπος των μυϊκών ινών και η αναλογία τους διαφοροποιείται ανάλογα με το μυ που εξετάζεται (Vogler and Bove, 1985). Σε μύες που έχουν μελετηθεί, σε παιδιά ηλικίας έως οκτώ ετών, διαπιστώνεται πως στο διάφραγμα αρχικά υπερέχουν οι ίνες τύπου II και στη συνέχεια υπερέχουν σε αριθμό οι ίνες τύπου I. Αντίθετα, σε μύες όπως ο τετρακέφαλος και ο ορθός κοιλιακός αυξάνεται σημαντικά το ποσοστό των ινών τύπου I (Simoneau and Bouchard, 1995). Στα θηλαστικά είναι εμφανές πως στις πρώτες εβδομάδες της ζωής πραγματοποιείται έντονη μετατροπή των μυϊκών ινών. Σε ποντίκια βρέθηκε ότι ο πρόσθιος κνημιαίος περιείχε λίγες ίνες βραδείας συστολής κατά τη γέννηση και οι οποίες στη συνέχεια σχεδόν εξαφανίστηκαν (Agbulut, Noirez, Beaumont, and Butler-Browne, 2003). Αντίθετα, διαπιστώθηκε σε αρουραίους οι μυϊκές ίνες ταχείας συστολής να μειώνονται σημαντικά στον υποκνημίδιο μυ (Kugelberg, 1976). Ενδεχομένως η γενετική προδιάθεση, η μηχανική καταπόνηση, σε συνδυασμό με την ωρίμανση του νευρικού και ορμονικού συστήματος να οδηγούν σε αυτές τις μεταβολές (Butler-Browne and Whalen, 1984; Schiaffino et al., 2013; Schiaffino and Reggiani, 2011). Στη μελέτη των Glenmark και των συνεργατών του (1992) αντικείμενο αποτέλεσε η κατανομή των μυϊκών ινών από την εφηβεία ως στην ενηλικίωση. Συμμετείχαν 55 άνδρες και 28 γυναίκες, οι οποίοι εξετάστηκαν ως προς τον τύπο των μυϊκών ινών στον έξω πλατύ μυ του τετρακεφάλου στην ηλικία των 16 και των 27 ετών. Από τη μοναδική αυτή έρευνα διαπιστώθηκε πως στις γυναίκες αυξήθηκε το ποσοστό των ινών τύπου I από 51% σε 55% και μειώθηκε στους άνδρες από 55% σε 48%. Στη βιβλιογραφία δεν απαντώνται μελέτες οι οποίες να εξετάζουν τη διαχρονική εξέλιξη, στα στάδια ανάπτυξης, του τύπου των μυϊκών ινών. Στη συγχρονική μελέτη του Oertel (1988) διαπιστώθηκε πως μέχρι την ηλικία των 15 ετών δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ αγοριών και κοριτσιών ως προς την εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών και πως οι ίνες τύπου I ήταν μεγαλύτερης διαμέτρου από τις ίνες τύπου II. Ωστόσο, στα δείγματα που αξιολογήθηκαν από τα 15 έως τα 20 χρόνια των ατόμων διαπιστώθηκε πως τα αγόρια είχαν μεγαλύτερη εγκάρσια διατομή στις ίνες τύπου II, ενώ τα κορίτσια στις ίνες τύπου I (Lexell, Sjöström, Nordlund, and Taylor, 1992; Oertel, 1988). Εικάζεται πως οι όποιες διαφοροποιήσεις σχετίζονται με γενετι-

κούς παράγοντες σε ποσοστό περίπου 45% και σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα η μυϊκή δραστηριότητα, στο υπόλοιπο ποσοστό (Simoneau and Bouchard, 1989, 1995).

Μυϊκός μεταβολισμός

Η ωρίμανση του μυϊκού μεταβολισμού συνδέεται με τη συγκέντρωση των μυϊκών ενεργειακών υποστρωμάτων, με τη δραστικότητα των ενζύμων που συμμετέχουν στον αερόβιο και αναερόβιο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας καθώς και με τη λειτουργία της αντλίας καλίου νατρίου η οποία καθορίζει τη μυϊκή σύσπαση. Για τη μελέτη των ενεργειακών υποστρωμάτων η τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί είναι η μυϊκή βιοψία, κυρίως από τον έξω πλατύ μυ, ενώ σε μία μόνο μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φασματοσκοπίας μαγνητικού συντονισμού (PMRS) (Eriksson, 1980; Eriksson, Gollnick, and Saltin, 1973, 1974; Eriksson, Karlsson, and Saltin, 1971; Gariod et al., 1994; Kaczor, Ziolkowski, Popinigis, and Tarnopolsky, 2005). Η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) διαπιστώθηκε πως διπλασιάζεται στο πρώτο έτος μετά τη γέννηση και φτάνει στις τιμές των ενηλικών στα πρώτα χρόνια ζωής χωρίς να είναι γνωστή η ακριβής χρονική στιγμή (Malina et al., 2004). Σε παιδιά και εφήβους ηλικίας 11-16 ετών βρέθηκε σταθερή συγκέντρωση ATP, η οποία ήταν παρόμοια με αυτή των ενηλικών (Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1973, 1974; Eriksson et al., 1971). Αναφορικά με τη φωσφοκρεατίνη τα αποτελέσματα είναι αντικρουόμενα (Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1973; Eriksson et al., 1971; Gariod et al., 1994). Στις μελέτες του Eriksson και των συνεργατών του (Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1973; Eriksson et al., 1971) σημειώνεται σταδιακή αύξηση στη συγκέντρωση της φωσφοκρεατίνης σε ηρεμία από την ηλικία των 11,5-13,5 ετών στην ηλικία των 15,5 ετών (Eriksson, 1980). Η αύξηση αυτή μπορεί να συνδέεται και με τη μετάβαση από την προεφηβική, στην εφηβική και μετεφηβική περίοδο, το οποίο σηματοδοτεί και έντονες αλλαγές στη μυϊκή υπερτροφία ιδιαίτερα των ινών τύπου II (Glenmark, Hedberg, and Jansson, 1992; Oertel, 1988; Simoneau and Bouchard, 1989). Αντίθετα, σε έρευνα στην οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος PMRS δεν διαπιστώθηκε επίδραση της ηλικίας, του φύλου και της δραστηριότητας στη συγκέντρωση της φωσφοκρεατίνης (Gariod et al., 1994). Περαιτέρω μελέτες απαιτούνται για τη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συγκέντρωση της φωσφοκρεατίνης στα παιδιά και τους εφήβους. Η εξέλιξη της τεχνολογίας θα βοηθήσει στην πραγματοποίηση

μη επεμβατικών μελετών, ξεπερνώντας ζητήματα ηθικής και δεοντολογίας της έρευνας στα παιδιά.

Αναφορικά με τη συγκέντρωση γλυκογόνου στους μύες και στο ήπαρ διαπιστώνεται χαμηλότερη στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται αφενός στις αυξημένες ανάγκες των παιδιών για να τροφοδοτήσουν το κεντρικό νευρικό σύστημα με γλυκόζη και αφετέρου στην ωρίμανση του μυϊκού συστήματος (Boisseau and Delamarche, 2000). Το μυϊκό γλυκογόνο αντιστοιχεί στο 50-60% των ενηλίκων, το οποίο όμως αυξάνεται με την ωρίμανση και στην ηλικία των 15,5 ετών προσιδιάζει στη συγκέντρωση ενηλίκων που διάγουν καθιστικό τρόπο ζωής (Boisseau and Delamarche, 2000; Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1971; Eriksson and Koch, 1973). Ενδεχομένως, η αύξηση στο μέγεθος των μυϊκών ινών τύπου II να συμβάλει στην αυξημένη συγκέντρωση γλυκογόνου στο μυ. Σχετικά με την επίδραση της προπόνησης στα μεταβολικά υποστρώματα έχει διεξαχθεί μία μελέτη τον Eriksson και των συνεργατών του (1973). Η συμμετοχή σε προπονητικές μονάδες τρεις φορές την εβδομάδα για 60 λεπτά με διαλειμματικές μεθόδους (ποδόσφαιρο και μπάσκετ) και για μία εβδομάδα δύο φορές την ημέρα αλπικό σκι είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των αποθεμάτων ATP κατά περίπου 10% και την αύξηση στη συγκέντρωση φωσφοκρεατίνης και γλυκογόνου κατά περίπου 30%.

Η δραστηριότητα των ενζύμων που καταλύουν τις χημικές αντιδράσεις στον αερόβιο και τον αναερόβιο μεταβολισμό έχουν αποτελέσει αντικείμενο μελέτης ερευνών που διεξήχθησαν τις δεκαετίες του 70 και του 80 και μίας μελέτης που δημοσιεύθηκε το 2005 (Berg, Kim, and Keul, 1986; Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1973, 1974; Eriksson et al., 1971; Haralambie, 1979; Kaczor et al., 2005). Βασικά ερωτήματα ήταν η επίδραση της ανάπτυξης στους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας. Τα βασικά συμπεράσματα είναι πως τα παιδιά ηλικίας περίπου 6 ετών παρουσιάζουν υψηλότερη δραστηριότητα στα ένζυμα του αερόβιου μηχανισμού σε σύγκριση με τα παιδιά ηλικίας 13 και 17 ετών και των ενηλίκων (Berg et al., 1986). Το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και από τον Eriksson (1973), όπου παιδιά ηλικίας 11 ετών παρουσίασαν τιμές δραστηριότητας της ηλεκτρικής αφυδρογονάσης ίση με το 125% των τιμών των ενηλίκων (Gollnick, Armstrong, Saubert, Piehl, and Saltin, 1972). Αντίθετα, σε ότι αφορά στα ένζυμα του αναερόβιου μηχανισμού και δη της γαλακτικής γλυκόλυσης (γαλακτική αφυδρογονάση και φωσφοφρουκτοκινάση) διαπιστώνεται σημαντική υστέρηση των παιδιών ένα-

ντι των ενηλίκων (Berg et al., 1986; Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1973, 1974; Eriksson et al., 1971; Kaczor et al., 2005). Το τελικό καταβολικό προϊόν της γαλακτικής γλυκόλυσης είναι το γαλακτικό οξύ, του οποίου η συγκέντρωση αξιολογείται στο μυ και στο αίμα. Στις μελέτες που διεξάγονται σε παιδιά αξιολογείται η συγκέντρωσή του ως δείκτης ενεργοποίησης αυτού του μεταβολικού μονοπατιού. Στα παιδιά έχει αξιολογηθεί η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο μυ σε λίγες μελέτες, στις οποίες διαπιστώνεται ότι αυξάνεται με την ηλικία (Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1971). Σε αντιστοιχία είναι και οι μελέτες που αξιολογούν τη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα με τα νεότερα παιδιά να παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές γαλακτικού ως ανταπόκριση στην άσκηση (Rotstein, Dotan, Bar-Or, and Tenenbaum, 1986) και οι οποίες σχετίζονται θετικά με τη συγκέντρωση τεστοστερόνης (Boisseau and Delamarche, 2000). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σχέση της ωρίμανσης του ενδοκρινικού συστήματος με την ενεργοποίηση της γαλακτικής γλυκόλυσης. Σχετικά με τη ρυθμιστική ικανότητα των μυών, τα παιδιά σε ηρεμία παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές με τους ενήλικες και μικρότερη μείωση της οξύτητας κατά την άσκηση, γεγονός που συνδέεται με την περιορισμένη ικανότητά τους να διεξάγουν άσκηση μέγιστης έντασης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 15 περίπου δευτερολέπτων (Boisseau and Delamarche, 2000). Η συνολική εικόνα, από τις περιορισμένες μελέτες που υπάρχουν σε αυτό το πεδίο, είναι πως ο αναερόβιος μηχανισμός υστερεί στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες, κάτι που ενδεχομένως οφείλεται στη μικρότερη συγκέντρωση γλυκογόνου στους μύες και στη μικρότερη δραστηριότητα των ενζύμων του αναερόβιου μηχανισμού (Boisseau and Delamarche, 2000). Η ωρίμαση του αναερόβιου μηχανισμού φαίνεται να πραγματοποιείται και να προσιδιάζει στα χαρακτηριστικά των ενηλίκων στη χρονολογική ηλικία περίπου των 13-15 ετών (Armstrong, Barker and McManus, 2015). Στο ερώτημα της προπονησιμότητας δημοσιεύονται μελέτες οι οποίες υποστηρίζουν πως τα παιδιά και οι έφηβοι μπορούν να βελτιώσουν την ενεργοποίηση τόσο του αερόβιου όσο και του αναερόβιου μηχανισμού στην παιδική και εφηβική ηλικία. Η βελτίωση οφείλεται στην ωρίμανση των συστημάτων, στην αύξηση του μεγέθους των οργάνων, στην καλύτερη μηχανική απόδοση των παιδιών καθώς γίνονται πιο οικονομικά στην κίνησή τους (Armstrong, 2016; Eriksson et al., 1974; Eriksson and Koch, 1973) και στην αυξημένη περιεκτικότητα των μυών σε φωσφοκρεατίνη και γλυκογόνο ως απάντηση στο προπονητικό πρόγραμμα (Eriksson et al., 1973).

Συμπερασματικά, στον μυϊκό μεταβολισμό εντοπίζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ παιδιών και ενηλίκων, οι οποίες αμβλύνονται με την ανάπτυξη. Οι διαφορές εντοπίζονται τόσο σε επίπεδο μεταβολικών υποστρωμάτων όσο και στη δραστητικότητα των ενζύμων του αερόβιου και αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας στα μυϊκά κύτταρα. Τα παιδιά έχουν ώριμο αερόβιο σύστημα παραγωγής ενέργειας, ενώ το αναερόβιο ωριμάζει με την ανάπτυξη. Επιπλέον, σταδιακά και με εξατομικευμένο ρυθμό πλησιάζουν τον μεταβολικό ρυθμό των ενηλίκων. Ενδεχομένως, η εξέλιξη της τεχνολογίας στην αξιολόγηση του μυϊκού μεταβολισμού να οδηγήσει σε μη επεμβατικές μεθόδους προσδιορισμού των υποστρωμάτων και να διεξαχθούν περισσότερες μελέτες σε αυτό το γνωστικό πεδίο (Radom-Aizik and Cooper, 2016), ικανές να προσδώσουν γνώση σε βάθος σχετικά με την επίδραση της φυσιολογική ανάπτυξης και της προπόνησης στον μυϊκό μεταβολισμό κατά τα στάδια ανάπτυξης.

Σύνοψη

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχει οδηγήσει τα παιδιά από το ελεύθερο παιχνίδι στις οργανωμένες δομές του αθλητισμού. Πλήθος ακαδημιών συλλόγων και άλλοι φορείς αναλαμβάνουν την εκγύμναση – προπόνηση των νεαρών ασκούμενων και αθλητών. Είναι σημαντικό οι ειδικοί της άσκησης, όπως τονίζουν και όλοι οι επιστημονικοί φορείς, να μην αντιμετωπίζουν τους νεαρούς αθλητές ως μικρογραφίες των ενηλίκων αλλά να σχεδιάζουν και να υλοποιούν προγράμματα σε συμφωνία με τα στάδια ανάπτυξης που βρίσκονται. Τα συστήματα του οργανισμού ωριμάζουν με διαφορετικό ρυθμό και τα όργανα αυξάνονται σε μέγεθος επίσης με διαφορετικό ρυθμό (Faigenbaum et al., 2020; Malina et al., 2004). Η ωρίμανση και η αύξηση συντελούνται από την εμβρυϊκή φάση ως την ενηλικίωση. Τα παιδιά μέχρι περίπου τα 6 χρόνια αναπτύσσουν σε μεγάλο βαθμό το νευρικό τους σύστημα (Dekaban, 1978; Gogtay et al., 2004; Lenroot and Giedd, 2006; Rice and Barone, 2000). Το ενδοκρινικό σύστημα όπως εκφράζεται από τη σεξουαλική ωρίμανση ωριμάζει με την είσοδο στην εφηβεία (Livadas and Chrousos, 2016, 2019). Το μυϊκό σύστημα αυξάνεται με τον μηχανισμό της υπερπλασίας στην κύηση και στους πρώτες μήνες ζωής, ενώ στη συνέχεια κυριαρχεί ο μηχανισμός της υπερτροφίας (Li et al., 2015). Οι μυϊκές ίνες διαφοροποιούνται πριν και μετά τη γέννηση και η μετατροπή τους εξαρτάται από την ωρίμανση του ενδοκρινικού συστήματος, τη μηχανική επιβάρυνσή τους και τους μύες που εξετάζονται

(Schiaffino and Reggiani, 2011). Ο αερόβιος μεταβολισμός επικρατεί του αναερόβιου στα παιδιά, ο οποίος ωριμάζει με την ανάπτυξη και προσιδιάζει στα χαρακτηριστικά των ενηλικίων περίπου στην ηλικία των 15 ετών (Eriksson, 1980; Eriksson et al., 1974; Eriksson et al., 1971).

Οι προπονητικοί στόχοι θα μπορούσαν λοιπόν να σχεδιαστούν με βάση την ηλικία και το βαθμό ωρίμανσης. Υπό αυτή την έννοια είναι αναγκαίο να δίνεται έμφαση στη λειτουργία του νευρικού συστήματος και στην απόκτηση κινητικών εμπειριών ευρέος φάσματος κατά την παιδική ηλικία και σταδιακά να εντάσσονται προπονητικά περιεχόμενα με έμφαση στις φυσικές ικανότητες (Faigenbaum et al., 2020; Lloyd and Oliver, 2019; Mirwald et al., 2002). Την περίοδο λίγο πριν το PHV και το έτος του PHV, παρατηρούνται έντονες αλλαγές στην αύξηση των μερών του σώματος κάτι που οδηγεί και στην “εφηβική αδεξιότητα”. Είναι βέβαιο ότι ο ρυθμός αλλαγής δεν είναι ο ίδιος σε όλα τα παιδιά καθώς το κάθε παιδί έχει το δικό του ρυθμό ανάπτυξης. Για αυτόν τον λόγο συστήνεται στην περίοδο του PHV να υπάρχει εξατομικευμένη προσέγγιση σε ότι αφορά στην προπονητική διαδικασία ιδιαίτερα των φυσικών ικανοτήτων. Συμπερασματικά, η εκτίμηση της ανάπτυξης και της ωρίμανσης είναι αναγκαίο να συνοδεύει την αξιολόγηση της απόδοσης και της επίδοσης των παιδιών και των εφήβων, με στόχο τον σχεδιασμό των κατάλληλων προπονητικών προγραμμάτων που θα εξασφαλίζουν τη βελτίωση της φυσικής κατάστασης και την προαγωγή της υγείας τους, θέτοντας ταυτόχρονα τις βάσεις για ‘δια βίου άσκηση’ στην ενήλικη ζωή.

Κεντρικά σημεία κεφαλαίου

- Τα συστήματα του οργανισμού ωριμάζουν με διαφορετικό ρυθμό και σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα
- Το νευρικό σύστημα αυξάνει ραγδαία το μέγεθός του μετά τη γέννηση φτάνοντας το 95% στην ηλικία περίπου των 7 ετών
- Τα παιδιά αναπτύσσονται με διαφορετικό ρυθμό. Αναγνωρίζονται παιδιά με πρόωρη, εντός του μέσου όρου και με καθυστερημένη βιολογική ωρίμανση
- Τα παιδιά με πρόωρη βιολογική ωρίμανση υπερτερούν στις επιδόσεις στην παιδική ηλικία, αν και ενδέχεται να υστερούν στην ενηλικίωση έναντι των παιδιών με καθυστερημένη βιολογική ωρίμανση
- Ιδιαίτερα στην περίοδο του μέγιστου ρυθμού αύξησης του ύψους (± 1 έτος) τα προπονητικά προγράμματα θα πρέπει να εξατομικεύονται

Βιβλιογραφία

- Agbulut, O., Noirez, P., Beaumont, F., Butler-Browne, G., 2003. Myosin heavy chain isoforms in postnatal muscle development of mice. *Biol Cell*, 95(6), 399-406. [https://doi: 10.1016/s0248-4900\(03\)00087-x](https://doi.org/10.1016/s0248-4900(03)00087-x)
- Armstrong, N., 2016. Aerobic Fitness and Training in Children and Adolescents. *Pediatr Exerc Sci*, 28(1), 7-10. [https://doi: 10.1123/pes.2016-0004](https://doi.org/10.1123/pes.2016-0004)
- Armstrong, N., Barker, A.R., McManus, A.M., 2015. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? *Br J Sports Med*, 49(13), 860-864. [https://doi: 10.1136/bjsports-2014-094491](https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094491)
- Assessment of sex differences and heterogeneity in motor milestone attainment among populations in the WHO Multicentre Growth Reference Study, 2006. *Acta Paediatr Suppl*, 450, 66-75. doi: 10.1111/j.1651-2227.2006.tb02377.x
- Behm, D.G., Young, J.D., Whitten, J.H.D., Reid, J.C., Quigley, P.J., Low, J., . . . Granacher, U., 2017. Effectiveness of Traditional Strength vs. Power Training on Muscle Strength, Power and Speed with Youth: A Systematic

- Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*, 8, 423. <https://doi:10.3389/fphys.2017.00423>
- Berg, A., Kim, S.S., and Keul, J., 1986. Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *Int J Sports Med*, 7(4), 236-239. <https://doi:10.1055/s-2008-1025766>
- Beunen, P.G., Malina, R.M., Freitas, D.L., Thomis, M.A., Maia, J.A., . . . Lefevre, J., 2011. Prediction of adult height in girls: the Beunen-Malina-Freitas method (2011/12/14 ed. Vol. 29).
- Beunen, G., Ostyn, M., Simons, J., Renson, R., Claessens, A.L., Vanden Eynde, B., . . . van't Hof, M.A., 1997. Development and tracking in fitness components: Leuven longitudinal study on lifestyle, fitness and health. *Int J Sports Med*, 18 Suppl 3, S171-178. <https://doi:10.1055/s-2007-972710>
- Bjelakovic, L., Vukovic, V., Jovic, M., Bankovic, S., Kostic, T., Radovanovic, D., . . . Bjelakovic, B., 2017. Heart rate recovery time in metabolically healthy and metabolically unhealthy obese children. *Phys Sportsmed*, 45(4), 438-442. <https://doi:10.1080/00913847.2017.1376571>
- Boisseau, N., Delamarche, P., 2000. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. *Sports Med*, 30(6), 405-422. <https://doi:10.2165/00007256-200030060-00003>
- Butler-Browne, G.S., Whalen, R.G., 1984. Myosin isozyme transitions occurring during the postnatal development of the rat soleus muscle. *Dev Biol*, 102(2), 324-334. [https://doi:10.1016/0012-1606\(84\)90197-0](https://doi:10.1016/0012-1606(84)90197-0)
- Ceniccola, G.D., Castro, M.G., Piovacari, S.M.F., Horie, L M., Correa, F.G., Barrere, A.P. N., Toledo, D.O., 2019. Current technologies in body composition assessment: advantages and disadvantages. *Nutrition*, 62, 25-31. <https://doi:10.1016/j.nut.2018.11.028>
- Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., Saltin, B., 1976. Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol*, 40(2), 149-154. <https://doi:10.1152/jappl.1976.40.2.149>
- Dekaban, A.S., 1978. Changes in brain weights during the span of human life: relation of brain weights to body heights and body weights. *Ann Neurol*, 4(4), 345-356. <https://doi:10.1002/ana.410040410>

- Di Luigi, L., Baldari, C., Gallotta, M.C., Perroni, F., Romanelli, F., Lenzi, A., Guidetti, L., 2006. Salivary steroids at rest and after a training load in young male athletes: relationship with chronological age and pubertal development. *Int J Sports Med*, 27(9), 709-717. <https://doi: 10.1055/s-2005-872931>
- DiFiori, J.P., Benjamin, H.J., Brenner, J.S., Gregory, A., Jayanthi, N., Landry, G.L., Luke, A., 2014. Overuse injuries and burnout in youth sports: a position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Br J Sports Med*, 48(4), 287-288. <https://doi: 10.1136/bjsports-2013-093299>
- Eriksson, B.O., 1980. Muscle metabolism in children--a review. *Acta Paediatr Scand Suppl*, 283, 20-28. <https://doi: 10.1111/j.1651-2227.1980.tb15304.x>
- Eriksson, B.O., Gollnick, P.D., Saltin, B., 1973. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol Scand*, 87(4), 485-497. <https://doi: 10.1111/j.1748-1716.1973.tb05415.x>
- Eriksson, B.O., Gollnick, P.D., Saltin, B., 1974. The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. *Acta Paediatr Belg*, 28 suppl, 245-252.
- Eriksson, B.O., Karlsson, J., Saltin, B., 1971. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediatr Scand Suppl*, 217, 154-157. <https://doi: 10.1111/j.1651-2227.1971.tb05717.x>
- Eriksson, B.O., Koch, G., 1973. Effect of physical training on hemodynamic response during submaximal and maximal exercise in 11-13-year old boys. *Acta Physiol Scand*, 87(1), 27-39. <https://doi: 10.1111/j.1748-1716.1973.tb05363.x>
- Esco, M.R., Fedewa, M.V., Cicone, Z.S., Sinelnikov, O.A., Sekulic, D., Holmes, C.J., 2018. Field-Based Performance Tests Are Related to Body Fat Percentage and Fat-Free Mass, But Not Body Mass Index, in Youth Soccer Players. *Sports (Basel)*, 6(4). <https://doi: 10.3390/sports6040105>
- Faigenbaum, A.D., Kraemer, W.J., Blimkie, C.J., Jeffreys, I., Micheli, L.J., Nitka, M., Rowland, T.W., 2009. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res*, 23(5 Suppl), S60-79. <https://doi: 10.1519/JSC.0b013e31819df407>

- Faigenbaum, A.D., Lloyd, R.S., Oliver, J.L., 2020. Essentials of youth fitness. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Falk, B., Eliakim, A., 2014. Endocrine response to resistance training in children. *Pediatr Exerc Sci*, 26(4), 404-422. <https://doi: 10.1123/pes.2014-0161>
- Fransen, J., Baxter-Jones, A., Woodcock, S., 2018. Responding to the Commentary on the Article: "Improving the Prediction of Maturity From Anthropometric Variables Using a Maturity Ratio". *Pediatr Exerc Sci*, 30(2), 311-313. <https://doi: 10.1123/pes.2017-0249>
- Fransen, J., Bush, S., Woodcock, S., Novak, A., Deprez, D., Baxter-Jones, A.D.G., . . . Lenoir, M., 2018. Improving the Prediction of Maturity From Anthropometric Variables Using a Maturity Ratio. *Pediatr Exerc Sci*, 30(2), 296-307. <https://doi: 10.1123/pes.2017-0009>
- Gariod, L., Binzoni, T., Ferretti, G., Le Bas, J.F., Reutenauer, H., Cerretelli, P., 1994. Standardisation of 31phosphorus-nuclear magnetic resonance spectroscopy determinations of high energy phosphates in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 68(2), 107-110. <https://doi: 10.1007/bf00244021>
- Giedd, J.N., Vaituzis, A.C., Hamburger, S.D., Lange, N., Rajapakse, J.C., Kaysen, D., . . . Rapoport, J.L., 1996. Quantitative MRI of the temporal lobe, amygdala, and hippocampus in normal human development: ages 4-18 years. *J Comp Neurol*, 366(2), 223-230. [https://doi: 10.1002/\(sici\)1096-9861\(19960304\)366:2<223::aid-cne3>3.0.co;2-7](https://doi: 10.1002/(sici)1096-9861(19960304)366:2<223::aid-cne3>3.0.co;2-7)
- Glenmark, B., Hedberg, G., Jansson, E., 1992. Changes in muscle fibre type from adolescence to adulthood in women and men. *Acta Physiol Scand*, 146(2), 251-259. <https://doi: 10.1111/j.1748-1716.1992.tb09414.x>
- Gogtay, N., Giedd, J.N., Lusk, L., Hayashi, K.M., Greenstein, D., Vaituzis, A.C., . . . Thompson, P.M., 2004. Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 101(21), 8174-8179. <https://doi: 10.1073/pnas.0402680101>
- Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert, C.W.t., Piehl, K., Saltin, B., 1972. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol*, 33(3), 312-319. <https://doi: 10.1152/jappl.1972.33.3.312>

- Greulich, W.W., Pyle, S.I., 1959. Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist: Stanford University Press.
- Hadders-Algra, M., 2018. Early human motor development: From variation to the ability to vary and adapt. *Neurosci Biobehav Rev*, 90, 411-427. <https://doi:10.1016/j.neubiorev.2018.05.009>
- Haralambie, G., 1979. Skeletal muscle enzyme activities in female subjects of various ages. *Bull Eur Physiopathol Respir*, 15(2), 259-268.
- Hennebry, A., Oldham, J., Shavlakadze, T., Grounds, M. D., Sheard, P., Fiorotto, M.L., . . . McMahon, C.D., 2017. IGF1 stimulates greater muscle hypertrophy in the absence of myostatin in male mice. *J Endocrinol*, 234(2), 187-200. <https://doi:10.1530/joe-17-0032>
- Heppe, D.H., Taal, H.R., Ernst, G.D., Van Den Akker, E.L., Lequin, M.M., Hokken-Koelega, A.C., . . . Jaddoe, V.W., 2012. Bone age assessment by dual-energy X-ray absorptiometry in children: an alternative for X-ray? *Br J Radiol*, 85(1010), 114-120. <https://doi:10.1259/bjr/23858213>
- Kaczor, J.J., Ziolkowski, W., Popinigis, J., Tarnopolsky, M.A., 2005. Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *Pediatr Res*, 57(3), 331-335. <https://doi:10.1203/01.pdr.0000150799.77094.de>
- Kaplowitz, P.B., Slora, E.J., Wasserman, R.C., Pedlow, S.E., Herman-Giddens, M.E., 2001. Earlier onset of puberty in girls: relation to increased body mass index and race. *Pediatrics*, 108(2), 347-353. <https://doi:10.1542/peds.108.2.347>
- Khamis, H.J., Roche, A.F., 1994. Predicting adult stature without using skeletal age: the Khamis-Roche method. *Pediatrics*, 94(4 Pt 1), 504-507.
- Kim, S.A., Lee, Y.J., Lee, Y.G., 2011. Predictive Value of Test of Infant Motor Performance for Infants based on Correlation between TIMP and Bayley Scales of Infant Development. *Annals of rehabilitation medicine*, 35(6), 860-866. <https://doi:10.5535/arm.2011.35.6.860>
- Klentrou, P., Giannopoulou, A., McKinlay, B.J., Wallace, P., Muir, C., Falk, B., Mack, D., 2016. Salivary cortisol and testosterone responses to resistance and plyometric exercise in 12- to 14-year-old boys. *Appl Physiol Nutr Metab*, 41(7), 714-718. <https://doi:10.1139/apnm-2015-0668>

- Kugelberg, E., 1976. Adaptive transformation of rat soleus motor units during growth. *J Neurol Sci*, 27(3), 269-289. [https://doi: 10.1016/0022-510x\(76\)90001-0](https://doi: 10.1016/0022-510x(76)90001-0)
- Lebel, C., Deoni, S., 2018. The development of brain white matter microstructure. *Neuroimage*, 182, 207-218. <https://doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.12.097>
- Lenroot, R.K., Giedd, J.N., 2006. Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neurosci Biobehav Rev*, 30(6), 718-729. <https://doi: 10.1016/j.neubiorev.2006.06.001>
- Lexell, J., Sjöström, M., Nordlund, A.S., Taylor, C.C., 1992. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve*, 15(3), 404-409. <https://doi: 10.1002/mus.880150323>
- Li, M., Zhou, X., Chen, Y., Nie, Y., Huang, H., Chen, H., Mo, D., 2015. Not all the number of skeletal muscle fibers is determined prenatally. *BMC Dev Biol*, 15, 42. <https://doi: 10.1186/s12861-015-0091-8>
- Livadas, S., Chrousos, G.P., 2016. Control of the onset of puberty. *Curr Opin Pediatr*, 28(4), 551-558. <https://doi: 10.1097/mop.0000000000000386>
- Livadas, S., Chrousos, G.P., 2019. Molecular and Environmental Mechanisms Regulating Puberty Initiation: An Integrated Approach. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 10, 828. <https://doi: 10.3389/fendo.2019.00828>
- Lloyd, R.S., Faigenbaum, A.D., Stone, M.H., Oliver, J.L., Jeffreys, I., Moody, J.A., . . . Myer, G.D., 2014. Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus. *Br J Sports Med*, 48(7), 498-505. <https://doi: 10.1136/bjsports-2013-092952>
- Lloyd, R.S., Oliver, J.L. eds., 2019. *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application*. Routledge.
- Luo, Z.C., Albertsson-Wikland, K., Karlberg, J., 1998. Target height as predicted by parental heights in a population-based study. *Pediatr Res*, 44(4), 563-571. <https://doi: 10.1203/00006450-199810000-00016>
- Malina, R.M., Bouchard, C., Bar-Or O., 2004. *Growth, maturation and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Malina, R.M., Rogol, A.D., Cumming, S.P., Coelho e Silva, M.J., Figueiredo, A.J., 2015. Biological maturation of youth athletes: assessment and

- implications. *Br J Sports Med*, 49(13), 852-859. [https://doi: 10.1136/bjsports-2015-094623](https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623)
- Marin, G., Domené, H.M., Barnes, K.M., Blackwell, B.J., Cassorla, F.G., Cutler, G.B., 1994. The effects of estrogen priming and puberty on the growth hormone response to standardized treadmill exercise and arginine-insulin in normal girls and boys. *J Clin Endocrinol Metab*, 79(2), 537-541. [https://doi: 10.1210/jcem.79.2.8045974](https://doi.org/10.1210/jcem.79.2.8045974)
- Martha, P.M., Rogol, A.D., Veldhuis, J.D., Kerrigan, J.R., Goodman, D.W., Blizzard, R.M., 1989. Alterations in the pulsatile properties of circulating growth hormone concentrations during puberty in boys. *J Clin Endocrinol Metab*, 69(3), 563-570. [https://doi: 10.1210/jcem-69-3-563](https://doi.org/10.1210/jcem-69-3-563)
- Matina, R.M., Rogol, A.D., 2011. Sport training and the growth and pubertal maturation of young athletes. *Pediatr Endocrinol Rev*, 9(1), 441-455.
- Matvienko, O., Ahrabi-Fard, I., 2010. The effects of a 4-week after-school program on motor skills and fitness of kindergarten and first-grade students. *Am J Health Promot*, 24(5), 299-303. [https://doi: 10.4278/ajhp.08050146](https://doi.org/10.4278/ajhp.08050146)
- Mirwald, R.L., Baxter-Jones, A.D., Bailey, D.A., Beunen, G.P., 2002. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 689-694. [https://doi: 10.1097/00005768-200204000-00020](https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020)
- Moore, S.A., McKay, H.A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A.D., Cameron, N., Brasher, P.M., 2015. Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1755-1764. [https://doi: 10.1249/mss.0000000000000588](https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000588)
- Myer, G.D., Ford, K.R., Divine, J.G., Wall, E.J., Kahanov, L., Hewett, T.E., 2009. Longitudinal assessment of noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors during maturation in a female athlete: a case report. *J Athl Train*, 44(1), 101-109. [https://doi: 10.4085/1062-6050-44.1.101](https://doi.org/10.4085/1062-6050-44.1.101)
- Naughton, G., Farpour-Lambert, N.J., Carlson, J., Bradney, M., Van Praagh, E., 2000. Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports Med*, 30(5), 309-325. [https://doi: 10.2165/00007256-200030050-00001](https://doi.org/10.2165/00007256-200030050-00001)
- Nevill, A., Burton, R.F., 2018. Commentary on the Article "Improving the Prediction of Maturity From Anthropometric Variables Using a Maturity

- Ratio". *Pediatr Exerc Sci*, 30(2), 308-310. <https://doi: 10.1123/pes.2017-0201>
- Oertel, G., 1988. Morphometric analysis of normal skeletal muscles in infancy, childhood and adolescence. An autopsy study. *J Neurol Sci*, 88(1-3), 303-313. [https://doi: 10.1016/0022-510x\(88\)90227-4](https://doi: 10.1016/0022-510x(88)90227-4)
- Ohuchi, H., Suzuki, H., Yasuda, K., Arakaki, Y., Echigo, S., Kamiya, T., 2000. Heart rate recovery after exercise and cardiac autonomic nervous activity in children. *Pediatr Res*, 47(3), 329-335. <https://doi: 10.1203/00006450-200003000-00008>
- Ozmun, J.C., Mikesky, A.E., Surburg, P.R., 1994. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 26(4), 510-514.
- Paltoglou, G., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Stefanaki, C., Papagianni, M., Papassotiriou, I., . . . Mastorakos, G., 2019. In early pubertal boys, testosterone and LH are associated with improved anti-oxidation during an aerobic exercise bout. *Endocrine*, 66(2), 370-380. <https://doi: 10.1007/s12020-019-02037-1>
- Paltoglou, G., Fatouros, I.G., Valsamakis, G., Schoina, M., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., . . . Mastorakos, G., 2015. Antioxidation improves in puberty in normal weight and obese boys, in positive association with exercise-stimulated growth hormone secretion. *Pediatr Res*, 78(2), 158-164. <https://doi: 10.1038/pr.2015.85>
- Peter, J.B., Barnard, R.J., Edgerton, V.R., Gillespie, C.A., Stempel, K.E., 1972. Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, 11(14), 2627-2633. <https://doi: 10.1021/bi00764a013>
- Petersen, A.C., Crockett, L., Richards, M., Boxer, A., 1988. A self-report measure of pubertal status: Reliability, validity, and initial norms. *J Youth Adolesc*, 17(2), 117-133. <https://doi: 10.1007/bf01537962>
- Philippaerts, R.M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., . . . Malina, M.R., 2006. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci*, 24(3), 221-230. <https://doi: 10.1080/02640410500189371>

- Radom-Aizik, S., Cooper, D.M., 2016. Bridging the Gaps: the Promise of Omics Studies in Pediatric Exercise Research. *Pediatr Exerc Sci*, 28(2), 194-201. [https://doi: 10.1123/pes.2015-0270](https://doi:10.1123/pes.2015-0270)
- Rajaram, S., Baylink, D.J., Mohan, S., 1997. Insulin-like growth factor-binding proteins in serum and other biological fluids: regulation and functions. *Endocr Rev*, 18(6), 801-831. [https://doi: 10.1210/edrv.18.6.0321](https://doi:10.1210/edrv.18.6.0321)
- Raniero, E.P., Tudella, E., Mattos, R.S., 2010. Pattern and rate of motor skill acquisition among preterm infants during the first four months corrected age. *Rev Bras Fisioter*, 14(5), 396-403.
- Rasmussen, A.R., Wohlfahrt-Veje, C., Tefre de Renzy-Martin, K., Hagen, C.P., Tinggaard, J., Mouritsen, A., . . . Main, K.M., 2015. Validity of self-assessment of pubertal maturation. *Pediatrics*, 135(1), 86-93. [https://doi: 10.1542/peds.2014-0793](https://doi:10.1542/peds.2014-0793)
- Rhaman, J.A.M.S., Ali, M.A., Ashizawa, K., Ohtsuki, F., 2004. Prediction of adult stature for Japanese population: an improvement of Ali-Ohtsuki equations. *Anthropological Science*, 112(1), 61-66. [https://doi: 10.1537/ase.00054](https://doi:10.1537/ase.00054)
- Rice, D., Barone, S., 2000. Critical periods of vulnerability for the developing nervous system: evidence from humans and animal models. *Environ Health Perspect*, 108 Suppl 3(Suppl 3), 511-533. [https://doi: 10.1289/ehp.00108s3511](https://doi:10.1289/ehp.00108s3511)
- Roche, A.F., Chumlea, W.C., Thissen, D., 1988. *Assessing the Skeletal Maturity of the Hand-Wrist: Fels Method*: Charles C. Thomas Publisher, Limited.
- Rogol, A.D., 1994. Growth at puberty: interaction of androgens and growth hormone. *Med Sci Sports Exerc*, 26(6), 767-770. [https://doi: 10.1249/00005768-199406000-00017](https://doi:10.1249/00005768-199406000-00017)
- Romann, M., Fuchslocher, J., 2016. Assessment of skeletal age on the basis of DXA-derived hand scans in elite youth soccer. *Res Sports Med*, 24(3), 200-211. [https://doi: 10.1080/15438627.2016.1191490](https://doi:10.1080/15438627.2016.1191490)
- Rotstein, A., Dotan, R., Bar-Or, O., Tenenbaum, G., 1986. Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int J Sports Med*, 7(5), 281-286. [https://doi: 10.1055/s-2008-1025775](https://doi:10.1055/s-2008-1025775)

- Sattler, F.R., 2013. Growth hormone in the aging male. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, 27(4), 541-555. [https://doi: 10.1016/j.beem.2013.05.003](https://doi:10.1016/j.beem.2013.05.003)
- Schiaffino, S., 2018. Muscle fiber type diversity revealed by anti-myosin heavy chain antibodies. *Febs j*, 285(20), 3688-3694. [https://doi: 10.1111/febs.14502](https://doi:10.1111/febs.14502)
- Schiaffino, S., Dyar, K.A., Ciciliot, S., Blaauw, B., Sandri, M., 2013. Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy. *Febs j*, 280(17), 4294-4314. [https://doi: 10.1111/febs.12253](https://doi:10.1111/febs.12253)
- Schiaffino, S., Gorza, L., Sartore, S., Saggin, L., Ausoni, S., Vianello, M., . . . Lømo, T., 1989. Three myosin heavy chain isoforms in type 2 skeletal muscle fibres. *J Muscle Res Cell Motil*, 10(3), 197-205. [https://doi: 10.1007/bf01739810](https://doi:10.1007/bf01739810)
- Schiaffino, S., Reggiani, C., 2011. Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiol Rev*, 91(4), 1447-1531. [https://doi: 10.1152/physrev.00031.2010](https://doi:10.1152/physrev.00031.2010)
- Sherar, L.B., Mirwald, R.L., Baxter-Jones, A.D., Thomis, M., 2005. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr*, 147(4), 508-514. [https://doi: 10.1016/j.jpeds.2005.04.041](https://doi:10.1016/j.jpeds.2005.04.041)
- Simoneau, J.A., Bouchard, C., 1989. Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. *Am J Physiol*, 257(4 Pt 1), E567-572. [https://doi: 10.1152/ajpendo.1989.257.4.E567](https://doi:10.1152/ajpendo.1989.257.4.E567)
- Simoneau, J.A., Bouchard, C., 1995. Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *Faseb j*, 9(11), 1091-1095. [https://doi: 10.1096/fasebj.9.11.7649409](https://doi:10.1096/fasebj.9.11.7649409)
- Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A., Horswill, C.A., Stillman, R.J., Van Loan, M. D., Bembien, D.A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*, 60(5), 709-723.
- Tanner, J.M., 1962. *Growth of Adolescence with a General Consideration of the Effects of Hereditary and Environmental Factors upon Growth and Maturation from Birth to Maturity*. Oxford, UK: Blackwell Scientific.
- Tanner, J.M., Goldstein, H., Whitehouse, R.H., 1970. Standards for children's height at ages 2-9 years allowing for heights of parents. *Arch Dis Child*, 45(244), 755-762. [https://doi: 10.1136/adc.45.244.755](https://doi:10.1136/adc.45.244.755)

- Tanner, J.M., Healy, M.J.R., Cameron, N., Goldstein, H., 2001. Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method): W.B. Saunders.
- Tortella, P., Haga, M., Loras, H., Sigmundsson, H., Fumagalli, G., 2016. Motor Skill Development in Italian Pre-School Children Induced by Structured Activities in a Specific Playground. *PLoS One*, 11(7), e0160244-e0160244. <https://doi: 10.1371/journal.pone.0160244>
- Tsolakis, C., Messinis, D., Stergioulas, A., Dessypris, A., 2000. Hormonal Responses After Strength Training and Detraining in Prepubertal and Pubertal Boys. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 399-404.
- Tsolakis, C., Xekouki, P., Kaloupsis, S., Karas, D., Messinis, D., Vagenas, G., Dessypris, A., 2003. The influence of exercise on growth hormone and testosterone in prepubertal and early-pubertal boys. *Hormones (Athens)*, 2(2), 103-112. <https://doi: 10.14310/horm.2002.1189>
- van der Sluis, A., Elferink-Gemser, M.T., Coelho-e-Silva, M.J., Nijboer, J.A., Brink, M.S., Visscher, C., 2014. Sport injuries aligned to peak height velocity in talented pubertal soccer players. *Int J Sports Med*, 35(4), 351-355. <https://doi: 10.1055/s-0033-1349874>
- Viru, A., Laaneots, L., Karelson, K., Smirnova, T., Viru, M. (1998). Exercise-induced hormone responses in girls at different stages of sexual maturation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(5), 401-408. <https://doi: 10.1007/s004210050351>
- Vogler, C., Bove, K.E., 1985. Morphology of skeletal muscle in children. An assessment of normal growth and differentiation. *Arch Pathol Lab Med*, 109(3), 238-242.
- Vrijkotte, T.G., van den Born, B.J., Hoekstra, C.M., Gademan, M.G., van Eijsden, M., de Rooij, S.R., Twickler, M.T., 2015. Cardiac Autonomic Nervous System Activation and Metabolic Profile in Young Children: The ABCD Study. *PLoS One*, 10(9), e0138302. <https://doi: 10.1371/journal.pone.0138302>
- Weise, M., Eisenhofer, G., Merke, D.P., 2002. Pubertal and gender-related changes in the sympathoadrenal system in healthy children. *J Clin Endocrinol Metab*, 87(11), 5038-5043. <https://doi: 10.1210/jc.2002-020590>

Zhou, Y., Xie, G., Wang, J., Yang, S., 2012. Cardiovascular risk factors significantly correlate with autonomic nervous system activity in children. *Can J Cardiol*, 28(4), 477-482. <https://doi: 10.1016/j.cjca.2012.02.003>

Ανάπτυξη κινητικών δεξιοτήτων

Βασιλεία Χατζητάκη, Χαράλαμπος Σωτηράκης

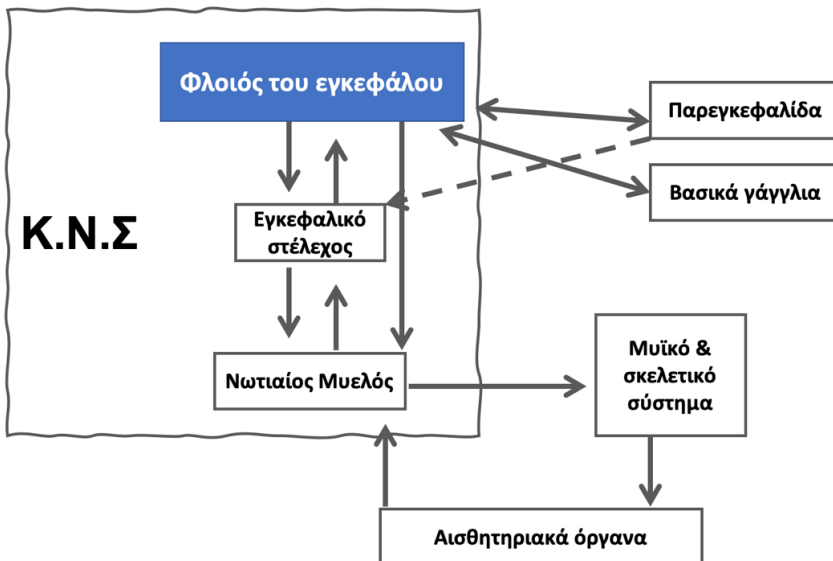
Περίληψη

Το κεφάλαιο της ανάπτυξης των κινητικών δεξιοτήτων παρουσιάζεται σε 5 ενότητες. Η 1^η ενότητα περιγράφει τις βασικές αρχές οργάνωσης και λειτουργίας των συστημάτων του σώματος (αισθητηριακό-αντιληπτικό, νευρικό και μυο-σκελετικό) που υποστηρίζουν την ανάπτυξη απλών και σύνθετων κινητικών δεξιοτήτων. Κατά την παιδική ηλικία, τα συστήματα που συμμετέχουν στην παραγωγή της κίνησης αναπτύσσονται και ωριμάζουν με διαφορετικούς ρυθμούς με αποτέλεσμα κάποιες ιδιαιτερότητες όσον αφορά στην ανάπτυξη των κινητικών δεξιοτήτων κατά την παιδική και εφηβική ηλικία. Η 2^η ενότητα εξηγεί τη μετάβαση από την ανατροφοδότηση στην πρόβλεψη ως απόρροια της εκμάθησης μίας δεξιότητας χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τις δεξιότητες ισορροπίας και μετακίνησης στην παιδική ηλικία. Η 3^η ενότητα αναφέρεται στις αρχές της αυτο-οργάνωσης του ανθρώπινου κινητικού συστήματος, τα έμφυτα-αρχέγονα κινητικά πρότυπα εξηγώντας γιατί η κινητική συμπεριφορά υπόκειται σε κάποιες προ-υπάρχουσες μορφές συντονισμού οι οποίες συχνά συνδέονται με την έννοια των ατομικών ικανοτήτων. Η 4^η ενότητα παρουσιάζει την εναλλακτική και πιο σύγχρονη προσέγγιση για την κινητική ανάπτυξη η οποία τονίζει στον ιδιαίτερο ρόλο που διαδραματίζει το περιβάλλον στην διαμόρφωση της κίνησης και την ανάπτυξη σύνθετων κινητικών δεξιοτήτων. Το ανθρώπινο κινητικό σύστημα διαθέτει απεριόριστες λύσεις και δυνατότητες κίνησης γνωστές και ως βαθμοί ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας περιορίζονται από τις ιδιότητες του μυο-σκελετικού συστήματος και τους νόμους της μηχανικής που ισχύουν στο περιβάλλον, πχ την βαρύτητα. Στην τελευταία (5^η) ενότητα δίνονται πρακτικές οδηγίες και κατευθυντήριες αρχές για την αξιολόγηση της κινητικής ανάπτυξης και τον σχεδιασμό προγραμμάτων εκμάθησης κινητικών δεξιοτήτων.

Λέξεις Κλειδιά: κινητική ανάπτυξη, παιδική ηλικία, συντονισμός, κινητικές δεξιότητες

Εισαγωγή

Η κίνηση, όσο απλή και αν φαίνεται στην εκτέλεση της, είναι το τελικό αποτέλεσμα πολύπλοκων διεργασιών που προϋποθέτουν την συντονισμένη λειτουργία πολλών διαφορετικών υποσυστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού. Αρκεί να σκεφτεί κανείς πως για εκτελέσουμε ακόμα και τις πιο απλές κινήσεις, όπως το να κλωσήσουμε μία μπάλα ή να απλώσουμε το χέρι μας και να πατήσουμε το πλήκτρο σε έναν ανελκυστήρα, ο εγκέφαλος πρέπει να επιλέξει ποιους από τους περίπου 792 μύες θα ενεργοποιήσει και να τους συντονίσει στέλνοντας και λαμβάνοντας από αυτούς χιλιάδες ηλεκτρικά σήματα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Ίσως είναι ακόμα πιο εντυπωσιακό πως μόλις λίγους μήνες μετά τη γέννησή του, ο άνθρωπος είναι ικανός να περπατήσει, να μεταφέρει αντικείμενα, να τα χειριστεί. Πως όμως σε αυτόν τον περιορισμένο χρόνο, καταφέρνει να επιλέγει την κατάλληλη κινητική εντολή μέσα από τις άπειρες πιθανές λύσεις; Με ποια κριτήρια αποφασίζει ποια είναι η καταλληλότερη εντολή; Πως συντονίζονται τα μέλη του σώματος για να παραχθεί το επιθυμητό κινητικό αποτέλεσμα; Πως αναπτύσσονται και μαθαίνονται οι κινητικές δεξιότητες;

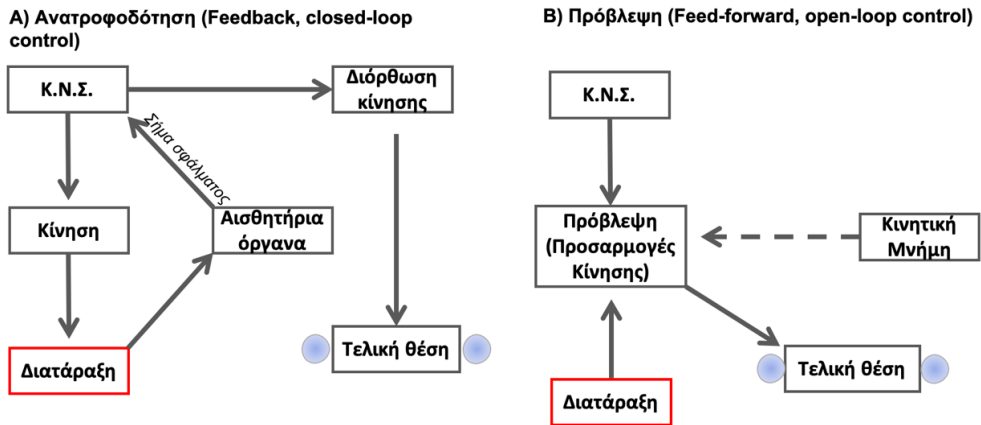


Εικόνα 1: Απλοποιημένη σχηματική αναπαράσταση των συστημάτων που συμμετέχουν στον έλεγχο της κίνησης

Φυσικά, οι εν λόγω ερωτήσεις δεν έχουν ακόμα πλήρως απαντηθεί. Στη προσπάθεια των ερευνητών να απαντήσουν αυτά τα κρίσιμα ερωτήματα, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί θεωρίες οι οποίες στηριζόμενες σε νέα πειραματικά δεδομένα προσπαθούν να εξηγήσουν το πώς επιλέγονται οι κινητικές εντολές και πώς μαθαίνεται μία κινητική δεξιότητα. Τα θεωρητικά μοντέλα που προκύπτουν συνεισφέρουν σημαντικά στην εμπειρική γνώση, συνεπώς οφείλουμε να τα γνωρίζουμε ώστε να μπορούμε να σχεδιάσουμε καλύτερα και να καθοδηγήσουμε τις διαδικασίες μάθησης απλών αλλά και εξειδικευμένων αθλητικών δεξιοτήτων στην φυσική αγωγή και τον αθλητισμό.

Ο έλεγχος της κίνησης στην παιδική ηλικία

Τα βασικά συστήματα που συμμετέχουν στο σχεδιασμό, την σύνθεση και την εκτέλεση της κίνησης είναι το αισθητηριακό ή αντιληπτικό, το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (Κ.Ν.Σ.) και το μυοσκελετικό. Η εικόνα 1 αναπαριστά ένα απλοποιημένο μοντέλο των επιπέδων ελέγχου της κίνησης από το φλοιό των εγκεφαλικών ημισφαιρίων έως το μυϊκό σύστημα και αντιστρόφως. Οι πληροφορίες που καταγράφουν τα αισθητήρια όργανα κατά την εκτέλεση της κίνησης, φτάνουν στο Κ.Ν.Σ. μέσω κεντρομόλων οδών του νωτιαίου μυελού και του εγκεφαλικού στελέχους (φλοιο-νωτιαίο σύστημα) (Krakauer & Ghez, 2000). Η παραγκεφαλίδα αναλαμβάνει την σύγκριση του σήματος αναφοράς το οποίο έχει δημιουργηθεί από την προηγούμενη κινητική εμπειρία με τα σήματα που λαμβάνουμε ως αποτέλεσμα της κίνησης από τα αισθητήρια όργανα (Glickstein & Yeo, 1990; Wolpert, Miall, & Kawato, 1998). Μέσα από την σύγκριση αυτή παράγεται ένα σήμα «σφάλματος», το οποίο στη συνέχεια ταξιδεύει από τη παρεγκεφαλίδα στις κινητικές περιοχές του φλοιού, και το εγκεφαλικό στέλεχος (Krakauer & Ghez, 2000). Πρακτικά, το σφάλμα μπορεί να είναι χωρική απόσταση του άκρου μας από ένα σταθερό στόχο ή η χρονική καθυστέρηση της κίνησης του άκρου μας σε σχέση με ένα κινούμενο στόχο ή ένα ακουστικό ερέθισμα (π.χ. ένα μετρονόμο). Η αναγνώριση του σφάλματος εξυπηρετεί στο σχηματισμό των νέων κινητικών εντολών, οι οποίες μέσω φυγόκεντρων οδών του φλοιο-νωτιαίου συστήματος φτάνουν στους μύες για να εκτελεστεί η επόμενη κίνηση. Τα βασικά γάγγλια είναι κυρίως υπεύθυνα για την έναρξη αυτοματοποιημένων κινήσεων και την ανάκληση των μαθημένων δεξιοτήτων.



Εικόνα 2 Σχηματική αναπαράσταση των μηχανισμών ανατροφοδότησης (Α) και πρόβλεψης (Β)

Οι μηχανισμοί μέσα από τους οποίους επιτυγχάνεται η διόρθωση της κίνησης και τελικά επέρχεται η μάθηση είναι δύο (εικόνα 2). Στον *μηχανισμό της ανατροφοδότησης (feedback, κλειστό κύκλωμα)*, η κίνηση διορθώνεται με βάση τις πληροφορίες που καταγράφονται από τα αισθητήρια συστήματα (εικόνα 2Α). Σε μία κίνηση στόχευσης για παράδειγμα, η απόκλιση ανάμεσα στην θέση του χεριού και τον στόχο (σφάλμα) διορθώνεται από την μία εκτέλεση στην επόμενη με βάση τις πληροφορίες που καταγράφονται από την όραση και την ιδιοδεκτικότητα. Αν κατά την διάρκεια της κίνησης εφαρμοστεί μία μηχανική διατάραξη στο χέρι, η διατάραξη αυτή θα καταγραφεί από τους ιδιοδεκτικούς και απτικούς υποδοχείς του χεριού οι οποίοι θα μεταφέρουν τις απαραίτητες αισθητικές πληροφορίες στο Κ.Ν.Σ. για μείωση του σφάλματός και επομένως την διόρθωση της τελικής θέσης του μέλους. Οι αρχάριοι στηρίζονται σχεδόν αποκλειστικά στον μηχανισμό της ανατροφοδότησης για την εκτέλεση της κίνησης γιατί δεν διαθέτουν προηγούμενη εμπειρία, συνεπώς δε μπορούν να στηριχθούν στη κινητική τους μνήμη. Ωστόσο, ο μηχανισμός της ανατροφοδότησης είναι αργός διότι οι πληροφορίες χρειάζονται χρόνο για να ταξιδέψουν από τη περιφέρεια (πχ. τους μύες του χεριού) προς το κέντρο ελέγχου (δηλαδή τον εγκέφαλο) και πίσω στους μύες (Shadmehr, Smith, & Krakauer, 2010), ακολουθώντας τη διαδρομή που φαίνεται στην Εικόνα 1. Έτσι, όταν η κίνηση επαναλαμβάνεται αρκετές φορές στο ίδιο πε-

ριβάλλον, το Κ.Ν.Σ. είναι ικανό να προβλέπει το αποτέλεσμα μίας κινητικής εντολής με βάση τις πληροφορίες από προηγούμενες κινητικές εμπειρίες που ανακαλεί από την κινητική μνήμη. Με τον τρόπο αυτό, οι κινητικές εντολές προσαρμόζονται στο ενδεχόμενο της πιθανής διατάραξης και η κίνηση διορθώνεται προκαταβολικά ώστε να επιτευχθεί η τελική θέση του μέλους (Franklin & Wolpert, 2011). Αυτός είναι ο *μηχανισμός της πρόβλεψης (feedforward) ή έλεγχος ανοιχτού κυκλώματος* όπως αλλιώς αναφέρεται (εικόνα 2β). Η χρήση του ανοιχτού κυκλώματος ή μηχανισμού πρόβλεψης της κίνησης (feed-forward) εξασφαλίζει πιο γρήγορη και άμεση απάντηση στα ερεθίσματα του περιβάλλοντος αλλά είναι συνάρτηση της κινητικής εμπειρίας και της μάθησης.

Γιατί η κίνηση των παιδιών είναι αργή και αδέξια;

Στις αναπτυξιακές ηλικίες, τα διαφορετικά συστήματα (αισθητηριακό, κεντρικό νευρικό και μυοσκελετικό) που συμμετέχουν στον έλεγχο της κίνησης αναπτύσσονται παράλληλα μεταξύ τους αλλά και ως συνάρτηση της χρονολογικής και βιολογικής ηλικίας. Αυτό όμως δε σημαίνει πως αναπτύσσονται με τους ίδιους ρυθμούς, καθώς τόσο η μυο-σκελετική όσο και η αισθητικο-κινητική ανάπτυξη του παιδιού δεν ακολουθεί την ίδια γραμμική πορεία με την ηλικία (Newell & Wade, 2018). Για παράδειγμα, ένα παιδί 6 ετών δεν έχει το διπλάσιο ύψος από ένα παιδί 3 ετών, ούτε τη διπλάσια μυϊκή δύναμη. Επιπλέον, η βελτίωση των φυσικών ικανοτήτων (πχ. της μυϊκής δύναμης) ως απόρροια της σωματομετρικής ανάπτυξης (πχ. αύξηση της μυϊκής μάζας) δε συνεπάγεται απαραίτητα την βελτίωση της απόδοσης στις αντιληπτικο-κινητικές δεξιότητες. Ο φλοιϊκός έλεγχος της κίνησης και ειδικά η κινητική περιοχή του εγκεφαλικού φλοιού ωριμάζει πολύ αργότερα σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα (αισθητηριακό-αντιληπτικό, μυοσκελετικό) με αποτέλεσμα τα παιδιά να εξαρτώνται άμεσα από την συνεχή εισροή αισθητηριακών πληροφοριών από την περιφέρεια προς το κέντρο μέσω των αισθητηρίων οργάνων για την εκτέλεση της κίνησης. Τα παιδιά διαθέτουν περιορισμένη κινητική μνήμη ή εμπειρία και για τον λόγο αυτό στηρίζονται κατα κύριο λόγο στον μηχανισμό της ανατροφοδότησης για την εκτέλεση των κινήσεών τους. Το γεγονός αυτό επιβάλλει μία χρονική καθυστέρηση για την επεξεργασία των αισθητηριακών πληροφοριών ειδικά όταν η κινητική δεξιότητα είναι καινούργια και βρίσκεται στα αρχικά στάδια εκμάθησης με αποτέλεσμα η κίνηση να εκτελείται αργά.

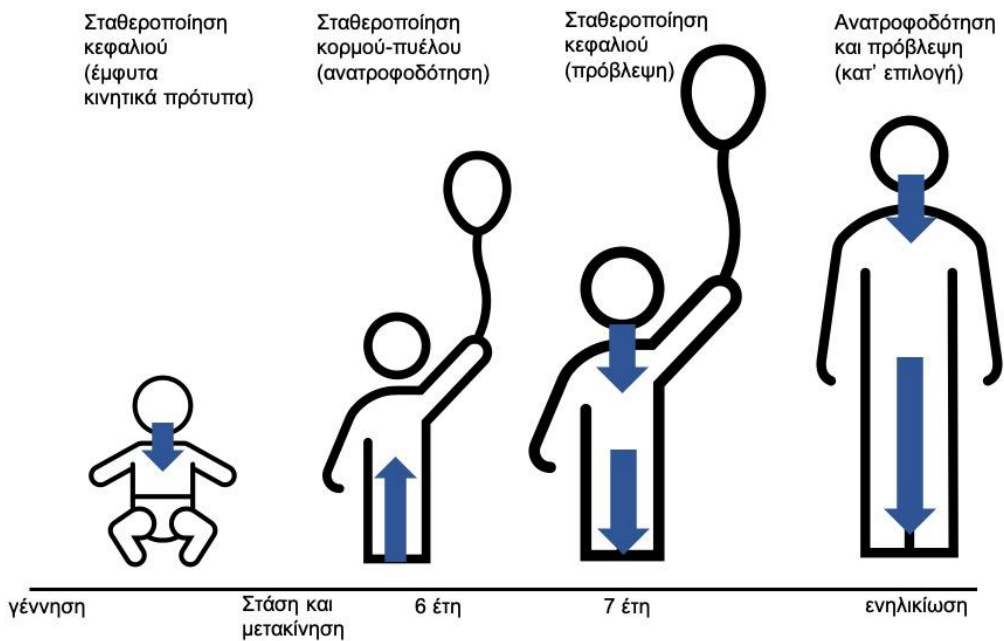
Επιπλέον, η κίνηση του παιδιού είναι *αδέξια* και *προκαλεί κόπωση* (Sveistrup, Schneiberg, McKinley, McFadyen, & Levin, 2008). Το ανθρώπινο σώμα διαθέτει περίπου 792 μύες οι οποίοι είναι οργανωμένοι γύρω από 100 αρθρώσεις, πολλοί περισσότεροι από όσους χρειάζονται για την εκτέλεση ακόμα και της πιο σύνθετης κίνησης. Ο πλεονασμός αυτός, από την μία πλευρά είναι ωφέλιμος γιατί παρέχει την δυνατότητα της εκτέλεσης μίας συγκεκριμένης κινητικής δεξιότητας με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Από την άλλη πλευρά όμως δημιουργεί πρόβλημα γιατί όταν μία κινητική δεξιότητα είναι άγνωστη και εκτελείται για πρώτη φορά, ενεργοποιούνται πολλοί περισσότεροι μύες από όσους χρειάζονται για να επιτευχθεί το επιθυμητό κινητικό αποτέλεσμα. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται κόστος σε μεταβολική ενέργεια. Είναι ανάγκη επομένως να βρεθεί ένα τρόπος να περιοριστούν οι πολλές δυνατότητες κίνησης ή *βαθμοί ελευθερίας* που διαθέτει το κινητικό σύστημα για να γίνει η κίνηση ενεργειακά οικονομικότερη και αποτελεσματική. Αυτή είναι και η έννοια του συντονισμού σύμφωνα με τον ρώσο φυσιολόγο Bernstein (Bernstein, 1967). Μέσω της συστηματικής εξάσκησης μειώνεται η ανάγκη για έλεγχο της κίνησης μέσω της αισθητηριακής ανατροφοδότησης, εμπλουτίζεται η κινητική μνήμη, οι κινήσεις αυτοματοποιούνται. Στην περίπτωση αυτή, τα παιδιά αρχίζουν να χρησιμοποιούν εναλλακτικά και τον μηχανισμό της πρόβλεψης κατά την εκτέλεση των κινητικών δεξιοτήτων που έχουν μαθευτεί.

Από την ανατροφοδότηση στην πρόβλεψη: Δεξιότητες ισορροπίας και μετακίνησης

Η διασφάλιση της ισορροπίας είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την μετακίνηση του ανθρώπου στο χώρο και την εξερεύνηση του περιβάλλοντος. Ερευνητικά δεδομένα υποδεικνύουν πως η πρώτη αίσθηση που αναπτύσσεται, λίαν συντόμως μετά τη γέννηση, είναι η αφή, ενώ τα παιδιά ηλικίας τριών ετών μπορούν ήδη να ξεχωρίσουν τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου, μέσω αμιγούς απτικής επεξεργασίας (Kalagher & Jones, 2011). Για να μπορέσει όμως το παιδί να εκμεταλλευθεί την εγγενή ικανότητά του για εξερεύνηση του περιβάλλοντος μέσω της αφής, είναι απαραίτητο να «ελευθερώσει» τα χέρια του ισορροπώντας στα δύο του πόδια. Η εκμάθηση αυτών των δεξιοτήτων δεν είναι απλή και χρειάζεται χρόνο.

Για την διασφάλιση της στάσης και τη μετακίνησή στο χώρο, ένας υγιής ενήλικας επιλέγει το μέλος ή τα μέλη του σώματός που θα σταθεροποιήσει στο χώρο σε σχέση με τη βαρύτητα. Για την ευκολότερη κατανόηση αυτού του μηχανισμού

οι Assaiante και συνεργάτες (Assaiante, 2011) απλοποιούν τη μελέτη του ανθρώπινου σώματος θεωρώντας ότι αυτό αποτελείται από τρία βασικά μέλη από τα οποία το Κ.Ν.Σ. αντλεί αισθητικές πληροφορίες: α) το κεφάλι, β) τον κορμό και γ) την πύελο (λεκάνη). Τα μέλη αυτά αποτελούν το σημείο αναφοράς για τη διασφάλιση της ισορροπίας κατά την εκτέλεση εκούσιων κινήσεων ενώ η επιλογή τους εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε δεξιότητας. Για παράδειγμα σε απλές δεξιότητες ισορροπίας, οι ενήλικες επιλέγουν να σταθεροποιήσουν τον κορμό και το κεφάλι. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν το κεφάλι, στο οποίο βρίσκονται τα μάτια και ο λαβύρινθος, παραμένει κάθετο και σταθερό στο χώρο σε σχέση με την βαρύτητα, ώστε να μπορεί να στέλνει στο Κ.Ν.Σ. αξιόπιστες πληροφορίες για τη θέση του σώματος στο χώρο. Ωστόσο αν η δεξιότητα είναι σύνθετη, οι υγιείς ενήλικες είναι σε θέση να σταθεροποιήσουν οποιοδήποτε μέλος του σώματος τους ώστε να διατηρήσουν ακέραιη την ισορροπία τους.



Εικόνα 3: Τα τέσσερα στάδια ανάπτυξης των δεξιοτήτων ισορροπίας και μετακίνησης σύμφωνα με τους Assaiante & Amblard (1995). Προσαρμογή από σχήμα του άρθρου «An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans», *Human Movement Science*, 14(1), 13–43

Η ανάπτυξη των δεξιοτήτων ισορροπίας και μετακίνησης διαμορφώνεται σε τέσσερα βασικά στάδια (εικόνα 3) (Assaiante & Amblard, 1995). Στο 1^ο στάδιο, από την γέννηση μέχρι περίπου την ηλικία του ενός έτους, το παιδί δεν έχει κατακτήσει ακόμα τις δεξιότητες όρθιας στάσης και μετακίνησης, ενώ αναπτύσσει σταδιακά την δεξιότητα της καθιστής θέσης. Βασικό ρόλο στον έλεγχο της στάσης σε αυτή την ηλικία παίζει η σταθεροποίηση του κεφαλιού (Assaiante, 1998). Για παράδειγμα τα παιδιά αυτής της ηλικίας παρουσιάζουν αντανακλαστική διόρθωση της θέσης του κεφαλιού, όταν ο γιατρός φέρνει το σώμα τους σε κλίση (αντανακλαστικό του λαβυρίνθου). Συνεπώς, κατά την περίοδο αυτή, στην οποία το παιδί δεν μπορεί να στέκεται όρθιο χωρίς υποστήριξη, ο έλεγχος της θέσης του σώματος γίνεται με βάση τα έμφυτα (αρχέγονα) κινητικά πρότυπα και αντανακλαστικά.

Στο 2^ο στάδιο, το οποίο εκτείνεται από την ηλικία του ενός χρόνου μέχρι τα 6 χρόνια, το παιδί στηρίζεται στην αισθητηριακή ανατροφοδότηση και την εισροή πληροφοριών από την περιφέρεια (κάτω) προς το κέντρο (πάνω) προκειμένου να ελέγξει την θέση του σώματος του στο χώρο. Με τον τρόπο αυτό, είναι ικανό να σταθεροποιεί το κέντρο μάζας μέσα στα όρια της βάσης στήριξης και συνεπώς αναπτύσσει τις δεξιότητες στάσης και μετακίνησης. Σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης (2^ο στάδιο), και ιδιαίτερα από τα 3 έως τα 6 έτη δίνεται έμφαση στη σταθεροποίηση της πυέλου και του κορμού, μία στρατηγική η οποία είναι γνωστή με τον όρο “en bloc” (Assaiante, 2011). Ο έλεγχος σε αυτή την κρίσιμη περίοδο διασφαλίζεται από πληροφορίες που λαμβάνονται από τους μύες της πυέλου στην περίπτωση της μετακίνησης (βάδισης) και από τους μύες της ποδοκνημικής άρθρωσης στην περίπτωση της στάσης. Η όραση είναι επίσης μία πολύ σημαντική πηγή αισθητηριακής πληροφόρησης για τον έλεγχο της στάσης και της μετακίνησης στην ηλικία αυτή. Εάν κατά τη στάση ή τη μετακίνηση εφαρμοσθεί μία διατάραξη στη περιοχή της πυέλου, τα παιδιά αυτής της ηλικίας είναι ικανά να μεταφέρουν τον έλεγχο στον κορμό, σταθεροποιώντας τον σε σχέση με το περιβάλλον. Από την άλλη, φαίνεται πως η σταθεροποίηση του κεφαλιού δε συμβαίνει τουλάχιστον μέχρι την ηλικία των 7 ετών.

Η ηλικία από τα 6 ως τα 7 χρόνια αποτελεί ορόσημο για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων ισορροπίας και μετακίνησης και σηματοδοτεί το 3^ο στάδιο της ανάπτυξης (Woollacott & Shumway-Cook, 1989). Στην ηλικία αυτή το παιδί σταθεροποιεί το κεφάλι του σε σχέση με το περιβάλλον και επομένως είναι σε θέση να

λαμβάνει αξιόπιστες πληροφορίες από τα μάτια και τον λαβύρινθο. Με αυτό τον τρόπο, ελέγχει την στάση και την μετακίνηση του υιοθετώντας μία από πάνω (Κ.Ν.Σ.) προς τα κάτω (άκρα) οργάνωση, χρησιμοποιώντας δηλαδή τον μηχανισμό της πρόβλεψης (feedforward) και τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στην κινητική του μνήμη. Σε αυτή την περίπτωση, έχει την ικανότητα να προ-ενεργοποιεί (μηχανισμός πρόβλεψης) του μυϊκό του σύστημα, σε αναμονή μίας πιθανής διατάραξης της ισορροπίας και να μην περιμένει απλά να αντιδράσει (μηχανισμός ανατροφοδότησης) στο αποσταθεροποιητικό ερέθισμα. Η μετάβαση από τον πάνω-προς-κάτω στον κάτω-προς-πάνω έλεγχο της στάσης και της μετακίνησης δεν αποτελεί έκπληξη καθώς συμπίπτει χρονικά με την ωρίμανση του αιθουσαίου συστήματος (Assaiante & Amblard, 1995).

Από την ηλικία των 7 χρόνων και μέχρι την ενηλικίωση (4^ο στάδιο), το παιδί επιλέγει και χρησιμοποιεί εναλλακτικά τους μηχανισμούς της ανατροφοδότησης και της πρόβλεψης ανάλογα με τις συνθήκες εκτέλεσης της εκάστοτε δεξιότητας (Hatzitaki, Zlsi, Kollias, & Kioumourtzoglou, 2002). Για παράδειγμα, έφηβοι ηλικίας 11-13 χρόνων στηρίζονται στην όραση (μηχανισμός ανατροφοδότησης) για την εκτέλεση δεξιοτήτων στατικής ισορροπίας όπως είναι η στήριξη στο ένα πόδι. Αντίθετα, για την εκτέλεση ασκήσεων δυναμικής ισορροπίας όπως είναι η γρήγορη κάμψη/έκταση ή προσαγωγή/απαγωγή του ισχίου με στήριξη στο ένα πόδι, σημαντική ρόλο παίζει η ικανότητα γρήγορης αντίδρασης και προ-ενεργοποίησης των μυών (μηχανισμός πρόβλεψης). Η ικανότητα πρόβλεψης και προ-ενεργοποίησης των μυών αναπτύσσεται παράλληλα με την δεξιότητα της βάδισης (Cignetti, Zedka, Vaugoyeau, & Assaiante, 2013). Έτσι, ένα παιδί που δεν έχει ξεκινήσει ακόμα να περπατάει δε μπορεί να προ-ενεργοποιήσει τους μύες του σε αναμονή ενός αποσταθεροποιητικού ερεθίσματος. Αντίθετα, με την έναρξη της αυτόνομης βάδισης, το παιδί μπορεί να εφαρμόσει πρόβλεψη και να προ-ενεργοποιήσει το μυϊκό του σύστημα σε αναμονή της πιθανής διατάραξης. Παραμένει ωστόσο άγνωστο αν η χρήση της πρόβλεψης συμβάλει στην ανάπτυξη της δεξιότητας της βάδισης ή το αντίθετο (Barela, Jeka, & Clark, 1999). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι παρόλο που η ικανότητα προ-ενεργοποίησης των μυών εμφανίζεται από το πρώτο έτος της ζωής του ανθρώπου και η ικανότητα πρόβλεψης μετά τα 7 έτη, ο μηχανισμός της πρόβλεψης συνεχίζει να ωριμάζει μέχρι την ενηλικίωση (Assaiante, Barlaam, Cignetti, & Vaugoyeau, 2014; Schmitz, Martin, & Assaiante, 2002).

Αισθητήρια αντιστάθμιση στην παιδική ηλικία

Εκτός από τη συνεισφορά των αισθητηριακών συστημάτων (όραση, ιδιοδεκτικότητα, λαβύρινθος-αιθουσαίο σύστημα) στην ισορροπία, σημαντική είναι και η ικανότητα της αντιστάθμισης στην περίπτωση που η πληροφόρηση από ένα αισθητηριακό σύστημα είναι ελλιπής. Για παράδειγμα, όταν στεκόμαστε όρθιοι σε ένα δωμάτιο και το φως ξαφνικά κλείσει, αυτομάτως η όραση θα αποτελεί τη λιγότερο αξιόπιστη πηγή αισθητηριακής ανατροφοδότησης. Σε αυτή τη περίπτωση, το Κ.Ν.Σ. μειώνει τη σημασία της όρασης για την διατήρηση της ισορροπίας και για να αντισταθμίσει το έλλειμα που δημιουργείται, αυξάνει το ρόλο της ιδιοδεκτικότητας και του αιθουσαίου συστήματος (Peterka, 2002). Η διαδικασία κατά την οποία το Κ.Ν.Σ ρυθμίζει τη συνεισφορά του κάθε αισθητήριου συστήματος στη διατήρηση της ισορροπίας ονομάζεται **αισθητήρια αντιστάθμιση**.

Παρόλο που τα αισθητηριακά συστήματα έχουν ήδη ωριμάσει στην ηλικία των 7 ετών (Assaiante & Amblard, 1993), τα παιδιά δεν παρουσιάζουν ακόμα την ικανότητα να αντισταθμίζουν τις αισθητηριακές πληροφορίες ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος τουλάχιστον ως την ηλικία των 11 ετών (Cuisinier, Olivier, Vaugoyeau, Nougier, & Assaiante, 2011). Σύμφωνα με πρόσφατα δεδομένα, όταν ένα παιδί μικρότερο από δέκα ετών ισορροπεί με κλειστά μάτια επάνω σε μία μαλακή επιφάνεια, παρουσιάζει μεγαλύτερη αστάθεια (περισσότερες πτώσεις) συγκριτικά με ένα έφηβο ή έναν ενήλικα (Rey, Clark, & Merfeld, 2017). Ο Peterson και οι συνεργάτες του έδειξαν πως τα παιδιά μέχρι το 12^ο έτος της ζωής τους δε μπορούν να χρησιμοποιήσουν επαρκώς τις πληροφορίες από ένα αισθητηριακό σύστημα (όραση, ιδιοδεκτικότητα ή αιθουσαίο σύστημα), για να αντισταθμίσουν την αναξιόπιστη πληροφόρηση ενός άλλου αισθητηριακού συστήματος (Peterson, Christou, & Rosengren, 2006). Σε μία άλλη μελέτη επίσης, όταν τα παιδιά αναπτυξιακών ηλικιών στεκόταν μέσα σε ένα κινούμενο δωμάτιο, δεν κατάφεραν να αντισταθμίσουν την αναξιόπιστία της οπτικής πληροφόρησης και να σταθεροποιήσουν τη στάση τους αντλώντας πληροφορίες από το αιθουσαίο σύστημα ή την ιδιοδεκτικότητα (Godoi & Barela, 2016). Τα παραπάνω ευρήματα οδηγούν στο συμπέρασμα πως ενώ τα αισθητηριακά συστήματα ξεκινούν να αναπτύσσονται πριν από την εφηβεία, δεν ωριμάζουν ταυτόχρονα, και τα μικρότερα παιδιά (προ-εφηβικές ηλικίες) αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην επιλογή του κατάλληλου αισθητηριακού συστήματος για τη διατήρηση της ισορροπίας τους.

Αυτο-οργάνωση, έμφυτα πρότυπα και ατομικές ικανότητες

Η κινητική ανάπτυξη στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στις αρχές της αυτο-οργάνωσης και τα έμφυτα ή αρχέγονα κινητικά πρότυπα (Allen & Capute, 1986; Dominici et al., 2011). Αυτό σημαίνει ότι από την μέρα της γέννησης, το κινητικό σύστημα του ανθρώπου υπακούει σε κάποιες προ-υπάρχουσες αρχές συντονισμού που διέπουν την κίνηση. Η ύπαρξη των έμφυτων κινητικών προτύπων εξυπηρετεί στη γρήγορη ανάπτυξη των βασικών κινητικών δεξιοτήτων που είναι απαραίτητες για την επιβίωση. Κατά συνέπεια, τα νήπια από το τέλος του 1^{ου} χρόνου της ζωής τους κιάλας, είναι σε θέση να περπατούν χωρίς στήριξη, να πιάνουν ένα αντικείμενο ή και ακόμα να φέρνουν την τροφή στο στόμα.

Οι πρώτες μορφές κίνησης που εμφανίζονται στο νήπιο είναι τα έμφυτα ή αρχέγονα αντανακλαστικά τα οποία εκδηλώνονται συνήθως ως αντίδραση σε κάποιο εξωτερικό ερέθισμα. Για παράδειγμα, αν πιάσουμε το νήπιο από τα χέρια και γείρουμε ελαφρά το σώμα του προς τα πίσω αυτό αντιδράει συγκρατώντας το κεφάλι ενάντια στην βαρύτητα (αντανακλαστικό του λαβύρινθου) ή αν γυρίσουμε το κεφάλι προς την μία πλευρά, αυτό εκτείνει το χέρι και πόδι της ομόλογης πλευράς και κάμπει τα άκρα της αντίθετης πλευράς (το ασύμμετρο αντανακλαστικό τόνου του αυχένα). Οι έμφυτες αυτές κινήσεις είναι απαραίτητες για την επιβίωση του νηπίου στους πρώτους μήνες της ζωής του. Υπάρχει επομένως κάποια πρόβλεψη από την ίδια την φύση για τον έλεγχο της κίνησης του νέου οργανισμού. Άλλα αντανακλαστικά αναφέρονται στην στάση και στήριξη του σώματος ή στην μετακίνηση όπως για παράδειγμα το αντανακλαστικό του «μωρού» (The Moro reflex) και το αντανακλαστικό της βιάδισης.

Οι αυθόρμητες κινήσεις των άκρων που παρατηρούνται στα νήπια, ακόμα και αν φαίνονται ανεξέλεγκτες και τυχαίες, χαρακτηρίζονται από μία μορφή κεντρικού ελέγχου (Thelen, Bradshaw, & Ward, 1981). Τα νεογέννητα, ακόμα και στις πρώτες ώρες της ζωής τους, παρουσιάζουν χαρακτηριστικά πρότυπα εναλλάξ κίνησης των κάτω άκρων τα οποία είναι εμφανή έως τη 4^η-6^η εβδομάδα της ζωής τους (Thelen et al., 1981). Αυτά τα πρότυπα έχουν ομοιότητες με τα πρότυπα συντονισμού των μελών που παρατηρούνται στις φάσεις στήριξης και αιώρησης της βιάδισης του ενήλικα. Στη συνέχεια, τα εν λόγω πρότυπα κίνησης εξαφανίζονται, πιθανόν λόγω της επίδρασης της βαρύτητας στο σώμα και της απότομης ανάπτυξης του νευρο-μυϊκού και μυο-σκελετικού συστήματος (Newell & Wade, 2018). Μετά την ηλικία των 6-8 μηνών το πρότυπο της βιάδισης εμφανίζεται ξανά, αυτή

τη φορά παρουσιάζοντας σημαντικότερες ομοιότητες με την «ενήλικη βάδιση» η οποία έχει τις τέσσερις γνωστές φάσεις: α) τη προσγείωση της πτέρνας, β) υποδοχή του βάρους στο πόδι στήριξης, γ) πρόσθια ώθηση και δ) απογείωση του ποδιού (Dominici et al., 2011). Παρόλο που τα πρότυπα συντονισμού των κάτω άκρων στη βάδιση θεωρούνται έμφυτα, ο συντονισμός αυτός παρουσιάζει μεγάλη αστάθεια (μεταβλητότητα) στα τα πρώτα χρόνια της ζωής, η οποία μειώνεται κατά την πρώιμη εφηβεία. Αυτά τα δεδομένα υποστηρίζουν την υπόθεση πως βασικές καθημερινές δεξιότητες όπως η βάδιση, από τη μία βασίζονται σε έμφυτα κινητικά πρότυπα, από την άλλη όμως ενισχύονται συνεχώς ως την ενηλικίωση, μέσω της κινητικής μάθησης.

Κινητική ανάπτυξη: Εμφυτα πρότυπα ή περιβάλλον;

Μελέτες που έγιναν πριν από πολλά χρόνια σε διδύμους υποστηρίζουν την άποψη ότι η ανάπτυξη προκαθορίζεται από το γονίδια και τις ατομικές ικανότητες, έχει καθολικό χαρακτήρα και ελάχιστα επηρεάζεται από τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος (Gesell, 1954). Πιο συγκεκριμένα, οι Shirley και McGraw (Shirley & McGraw, 1936), μελετώντας διδύμους αδερφούς εκ των οποίων ο ένας δεχόταν κινητικά ερεθίσματα από το περιβάλλον και ο άλλος όχι, δεν παρατήρησε διαφορές στα στάδια της κινητικής ανάπτυξης των δύο αδελφών. Η κριτική που ασκήθηκε στην εν λόγω μελέτη ήταν ότι τα δύο αδέλφια δεν ήταν γνησιο-δίδυμοι. Οι Gesell and Thompson έκαναν το παρακάτω πείραμα σε δύο γνησιο-δίδυμες αδελφές (Gesell & Thompson, 1929). Η πρώτη εξασκήθηκε στο ανέβασμα της σκάλας, ενώ η άλλη αδελφή αφέθηκε ελεύθερη χωρίς καθοδήγηση στο περιβάλλον. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μη-εξασκημένη αδερφή εκτέλεσε την δεξιότητα το ίδιο καλά και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με την αδερφή της η οποία εξασκήθηκε συστηματικά στο ανέβασμα της σκάλας. Η έντονη κριτική που ασκήθηκε σε αυτή την μελέτη ήταν το γεγονός ότι η εξάσκηση αφορούσε την παθητική μετακίνηση των μελών του κοριτσιού για το ανέβασμα της σκάλας ενώ η αδερφή της «μπουσουλούσε» ελεύθερα (Connolly & Jones, 1970).

Είναι πλέον καθολικά αποδεκτό ότι η πληθώρα των κινητικών ερεθισμάτων που δέχεται ένα παιδί που κινείται ελεύθερα, χωρίς περιορισμούς στο χώρο βοηθάει σημαντικά στην κινητική του ανάπτυξη. Η άποψη αυτή ενισχύεται από διαπολιτισμικές μελέτες οι οποίες εξέτασαν την κινητική ανάπτυξη παιδιών που μεγαλώνουν σε διαφορετικές κοινωνίες και πολιτισμούς. Οι Hopkins & Westra,

(1988) βρήκαν για παράδειγμα ότι τα παιδιά που μεγαλώνουν στις Δυτικές Ινδίες είναι κινητικά περισσότερο ανεπτυγμένα σε σχέση με τα παιδιά που ζουν σε μεγαλουπόλεις της Αγγλίας εξαιτίας των περισσότερων «ευκαιριών» που έχουν για κίνηση. Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης και η πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη των He και συνεργατών (2001) η οποία έδειξε ότι σε μία φυλή της Βόρειας Κίνας στην οποία επικρατεί η συνήθεια να χρησιμοποιούν σακιά από άμμο αντί για πάνα στα βρέφη, τα παιδιά υπολείπονται σοβαρά σε ότι αφορά την κινητική τους ανάπτυξη με αποτέλεσμα στο τέλος του 1^{ου} χρόνου της ζωής τους να μην έχουν ακόμα αναπτύξει την δεξιότητα της αυτόνομης όρθιας στάσης. Παρόλα αυτά, είναι δύσκολο να αποσαφηνιστεί ποιες από τις αλλαγές που παρατηρούνται στην κινητική συμπεριφορά του παιδιού είναι απόρροια της νευρικής ωρίμανσης που επέρχεται με την πάροδο της ηλικίας και ποιες οφείλονται στη κινητική μάθηση και την αλληλεπίδραση του παιδιού με τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος. Από τη μία πλευρά, κινητικά πρότυπα που εμφανίζονται στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης, όπως η εναλλάξ κίνηση των κάτω και άνω άκρων κατά τη βάρδιση είναι έμφυτα και εξαρτώνται ελάχιστα από την αλληλεπίδραση του παιδιού με το περιβάλλον. Από την άλλη, σύνθετες δεξιότητες που αναπτύσσονται αργότερα με την πάροδο της ηλικίας απαιτούν την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και υπόκεινται σε διαδικασίες μάθησης. Στην επόμενη ενότητα αναλύεται διεξοδικά ο σημαντικός ρόλος του περιβάλλοντος στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων, άποψη η οποία υποστηρίζεται από τις σύγχρονες θεωρίες για την κινητική ανάπτυξη.

Ο ρόλος του περιβάλλοντος στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων

Στη προηγούμενη ενότητα συζητήσαμε πως η ανάπτυξη και η μάθηση των κινητικών δεξιοτήτων εξαρτώνται από το περιβάλλον του παιδιού. Θα πρέπει να εξετάζονται υπό το πρίσμα της αλληλεπίδρασης του παιδιού με το περιβάλλον του (K. Adolph & Hoch, 2019). Η ανάπτυξη των κινητικών δεξιοτήτων, συμπίπτει με την ανάπτυξη των γνωστικών δεξιοτήτων, καθώς το παιδί εκμεταλλευόμενο τη κίνησή του, είναι πλέον ικανό να αλληλοεπιδρά και να εξερευνάει το περιβάλλον του (Anderson et al., 2013).

Τα ερεθίσματα που δέχεται ένα παιδί από το περιβάλλον στα πρώτα χρόνια της ζωής του παίζουν καθοριστικό ρόλο για την κινητική του ανάπτυξη αλλά και τη διαμόρφωση του μυο-σκελετικού και του αισθητικο-κινητικού συστήματος. Η

κίνηση στις αναπτυξιακές ηλικίες χαρακτηρίζεται από αυξημένη μεταβλητότητα σε απλές καθημερινές δεξιότητες όπως η βάδιση αλλά και σε και μη μαθημένες δεξιότητες όπως η ισομετρική εφαρμογή δύναμης με τα δάχτυλα των άνω άκρων (Deutsch & Newell, 2001). Η μεταβλητότητα αυτή οφείλεται στον ελλιπή έλεγχο των πολλαπλών και πλεοναζόντων βαθμών ελευθερίας του ανθρώπινου σώματος και θεωρείται ως μία πηγή «θορύβου» στο νευρικό και κινητικό σύστημα η οποία δυσχεραίνει την κίνηση. Ωστόσο, ένας άλλος λόγος της αυξημένης μεταβλητότητας στην κίνηση των παιδιών μπορεί να είναι η ανάγκη διερεύνησης του περιβάλλοντος, απαραίτητη προϋπόθεση για να επιτευχθεί η κινητική μάθηση (Herzfeld & Shadmehr, 2014). Μειωμένη μεταβλητότητα μπορεί να θεωρηθεί ένδειξη καθυστερημένης ανάπτυξης του παιδιού (Kyvelidou, Harbourne, & Stergiou, 2010). Από την άλλη πλευρά, είναι γνωστό ότι το ίδιο το περιβάλλον υπαγορεύει κάποιες λύσεις για το περιορισμό των βαθμών ελευθερίας ώστε να αποκτηθεί η κινητική δεξιότητα. Συγκεκριμένα, οι βαθμοί ελευθερίας περιορίζονται από τους νόμους της μηχανικής που ισχύουν στο περιβάλλον στο οποίο κινούμαστε και κατά κύριο λόγο από την βαρύτητα. Για παράδειγμα, μπορεί κάποιος να κλωσήσει ταυτόχρονα τα δύο πόδια όταν είναι ξαπλωμένος στο πάτωμα, αλλά δεν μπορεί να κάνει την ίδια κίνηση όταν είναι όρθιος.

Τα παιδιά πρέπει να μάθουν να εκμεταλλεύονται σωστά την βαρύτητα και την αδράνεια και να αναπτύσσουν νέες κινητικές δεξιότητες οι οποίες θα στηρίζονται στην καλύτερη δυνατή εφαρμογή και εκμετάλλευση των αρχών της μηχανικής. Σύμφωνα με τον 1ο νόμο του Νεύτωνα, για να κινηθεί ένα αντικείμενο πρέπει πρώτα να εφαρμοστεί κάποια δύναμη πάνω σε αυτό. Έτσι, για να ρίξει κάποιος μία μπάλα μακριά, πρέπει να εφαρμόσει δύναμη σε αυτή. Μπορεί επίσης να μεγιστοποιήσει το αποτέλεσμα της κίνησης εφαρμόζοντας αυτή την δύναμη σε μεγαλύτερη απόσταση ή για περισσότερο χρόνο. Κατά την ρίψη κάποιου αντικειμένου, χρησιμοποιεί όλο το εύρος κίνησης που του επιτρέπουν οι αρθρώσεις. Κατά την εκμάθηση του άλματος σε μήκος πρέπει να τονίσουμε στα παιδιά πόσο σημαντικό είναι να εκτείνουν διαδοχικά όλες της αρθρώσεις του ποδιού κατά το πάτημα για να εκμεταλλευτούν όσο καλύτερα μπορούν την ώθηση που τους δίνει το έδαφος ως αντίδραση στην εφαρμογή δύναμης. Το ίδιο σημαντική είναι και η διαδοχική έκταση όλων των αρθρώσεων του άκρου κατά την ρίψη της μπάλας για την μεγιστοποίηση της απόστασης.

Καθώς τα παιδιά αναπτύσσονται αποκτούν την ικανότητα να χρησιμοποιούν όλους τους βαθμούς ελευθερίας που προσφέρει το ανθρώπινο σώμα στην λεγόμενη ανοικτή κινητική αλυσίδα αντί να κάνουν απλά μεμονωμένες κινήσεις των άκρων. Δηλαδή μαθαίνουν να εκτείνουν διαδοχικά τα αρθρώσεις από την κοντινή προς την πιο απομακρυσμένη μεταφέροντας σωστά την ενέργεια που παράγεται από τις μεγάλες μυϊκές ομάδες του κορμού προς τα άκρα και τελικά πάνω στην μπάλα. Τα ερεθίσματα επομένως που δέχεται ένα παιδί μέσα από την ενασχόληση του με αθλητικές δραστηριότητες που απαιτούν έλεγχο της δυναμικής ισορροπίας επιδρούν σημαντικά στην αισθητικο-κινητική του ανάπτυξη. Είναι ήδη τεκμηριωμένο ότι η συστηματική ενασχόληση με την ενόργανη γυμναστική για παράδειγμα, μειώνει την αστάθεια που προκαλεί η αλλοίωση της ιδιοδεκτικότητας μέσω της εφαρμογής τενόντιας δόνησης σε παιδιά των αναπτυξιακών ηλικιών υποδεικνύοντας έτσι τον σημαντικό ρόλο της αθλητικής δραστηριότητας στην αισθητήρια αντιστάθμιση (Busquets, Aranda-Garcia, Ferrer-Uris, Marina, & Angulo-Barroso, 2018).

Βασικές αρχές ανάπτυξης των κινητικών δεξιοτήτων

Διαχρονικές έρευνες στην κινητική ανάπτυξη έχουν δείξει ότι αν και λόγω της βιολογικής ανάπτυξης τα παιδιά βελτιώνουν σταδιακά φυσικές ικανότητες όπως η ταχύτητα, η δύναμη, η ορμή της κίνησης τους, το γεγονός αυτό δεν συνοδεύεται απαραίτητα από καλύτερες επιδόσεις σε ήδη μαθημένες δεξιότητες (Haywood, 2019). Αντίθετα λόγω απότομης, μη γραμμικής αύξησης της μάζας των μελών του σώματος και του ύψους κατά την περίοδο της εφηβείας, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από αδεξιότητα και έλλειψη συναρμογής στις κινήσεις. Έτσι ο έφηβος πρέπει να προσαρμοσθεί στην, όχι απαραίτητα γραμμική ανάπτυξη των σωματομετρικών παραμέτρων των μελών του σώματός του (Newell & Wade, 2018). Για τον ίδιο λόγο, κατά την εφηβεία, παρατηρείται μειωμένη χρήση της ιδιοδεκτικότητας και αυξημένη εξάρτηση από την όραση για τον έλεγχο των κινήσεων (Mallau, Vaugoyeau, & Assaiante, 2010). Σταδιακά, οι βελτιωμένες ικανότητες παραγωγής δύναμης και ταχύτητας λόγω της βιολογικής ανάπτυξης θα αποτελέσουν την βάση για την εμφάνιση νέων, πιο σύνθετων μορφών κίνησης και για την απόκτηση νέων, πιο σύνθετων δεξιοτήτων. Η κινητική ανάπτυξη επομένως δεν συνοδεύεται απαραίτητα από καλύτερες επιδόσεις, αλλά από την δυνατότητα αφομοίωσης και εκτέλεσης πιο σύνθετων μορφών κίνησης που απαιτούν υψηλότε-

ρο βαθμό συντονισμού. Συνεπώς, αυτή δεν είναι γραμμική και συνεχής αλλά μία διαδικασία που συνοδεύεται από ποιοτικές αλλαγές στην κίνηση και στάδια μάθησης. Οι ποιοτικές αλλαγές στην εξέλιξη μίας κινητικής δεξιότητας έχουν ασυνεχή χαρακτήρα, παρά το γεγονός ότι οι ικανότητες φυσικής κατάστασης όπως η δύναμη ή η ταχύτητα βελτιώνονται διαρκώς. Η αναγνώριση αυτών των ποιοτικών αλλαγών που συνοδεύουν την μετάβαση από το ένα στάδιο ανάπτυξης στο επόμενο γίνεται εύκολα από τον προπονητή ή γυμναστή.

Τέλος, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν πως αν και τα ορόσημα της κινητικής ανάπτυξης του παιδιού (κάθισμα, επίτευξη όρθιας θέσης, βάδιση κλπ), μας επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ανάπτυξη των ικανοτήτων-δεξιοτήτων του, δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις πως υπάρχει μεταφορά μάθησης μεταξύ αυτών των ορόσημων κινητικής ανάπτυξης (Κ. Ε. Adolph, Bertenthal, Boker, Goldfield, & Gibson, 1997). Με λίγα λόγια, το ότι το παιδί καταφέρνει να μπουσουλήσει, δε σημαίνει απαραίτητα πως η απόκτηση αυτής της δεξιότητας συνεπάγεται την πιο γρήγορη απόκτηση των δεξιοτήτων όρθιας στάσης ή τη βάδιση. Με βάση τα παραπάνω, είναι σημαντικό κατά την εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων να δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη νέων πιο σύνθετων μορφών κίνησης και στην ποικιλία των μέσων και μορφών εξάσκησης και λιγότερο στην ποσοτικοποίηση της απόδοσης σε ήδη μαθημένες κινητικές δεξιότητες.

Σύνοψη

Η κίνηση είναι το αποτέλεσμα της συντονισμένης λειτουργίας διαφορετικών συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού τα οποία όμως στην παιδική ηλικία αναπτύσσονται με διαφορετικούς ρυθμούς. Στα πρώτα χρόνια της ζωής, κινητική συμπεριφορά βασίζεται τόσο στην αυτό-οργάνωση και τα έμφυτα κινητικά πρότυπα, όσο και στη μάθηση κινητικών δεξιοτήτων. Στην αυτό-οργάνωση αποδίδονται οι αντανάκλαστικές κινήσεις του νηπίου στους πρώτους μήνες της ζωής του, οι οποίες όσο και αν φαίνονται τυχαίες, αποτελούν την βάση για την ανάπτυξη των βασικών κινητικών δεξιοτήτων. Στην παιδική ηλικία, η εκμάθηση νέων κινητικών δεξιοτήτων στηρίζεται στην παροχή πληροφοριών μέσω των αισθητηριακών συστημάτων γιατί ικανότητα της πρόβλεψης δεν είναι ακόμα ανεπτυγμένη. Κατά συνέπεια, όταν μία κινητική δεξιότητα εκτελείται για πρώτη φορά, στηρίζεται στην αισθητηριακή ανατροφοδότηση και αυτό τη καθιστά αργή. Η νέα δεξιότητα είναι επίσης αδέξια και χαρακτηρίζεται από μεταβλητότητα λόγω της ενεργ-

γοποίησης περισσότερων μυών από αυτούς που χρειάζονται πραγματικά, αυξάνοντας έτσι τις απαιτήσεις της δεξιότητας σε ενέργεια. Μέσω της συστηματικής εξάσκησης μειώνεται η ανάγκη για έλεγχο της κίνησης μέσω της αισθητηριακής ανατροφοδότησης, εμπλουτίζεται η κινητική μνήμη, οι κινήσεις αυτοματοποιούνται. Οι απεριόριστες δυνατότητες κίνησης ή οι βαθμοί ελευθερίας που διαθέτει το κινητικό σύστημα περιορίζονται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος και τις συγκεκριμένες απαιτήσεις που επιβάλλει η ίδια η δεξιότητα στην κίνηση. Η κινητική ανάπτυξη συνοδεύεται από την δυνατότητα καλύτερης αφομοίωσης και εκτέλεσης πιο σύνθετων κινητικών δεξιοτήτων που απαιτούν υψηλότερο βαθμό συντονισμού.

Πρακτικές εφαρμογές

- Η κινητική ανάπτυξη έχει ασυνεχή χαρακτήρα και συνοδεύεται από ποιοτικές αλλαγές στην κίνηση
- Η βελτίωση των φυσικών ικανοτήτων δεν συνεπάγεται καλύτερες επιδόσεις σε σύνθετες κινητικές δεξιότητες
- Οι ποιοτικές αλλαγές στην εξέλιξη μίας κινητικής δεξιότητας δε συμβαίνουν παράλληλα με την βελτίωση των φυσικών ικανοτήτων όπως η δύναμη ή η ταχύτητα
- Απότομες σωματομετρικές αλλαγές στην εφηβεία συνοδεύονται από κινητική αδεξιότητα
- Από τα 7 χρόνια και αργότερα, το παιδί μπορεί να εφαρμόζει πρόβλεψη στην κίνηση του και επομένως να μπορεί να μάθει πιο σύνθετες δεξιότητες
- Η αξιολόγηση στις αναπτυξιακές ηλικίες πρέπει να στηρίζεται στην ποιότητα της εκτέλεσης της κινητικής δεξιότητας και όχι στην επίδοση

Βιβλιογραφία

Adolph, K. E., Bertenthal, B. I., Boker, S. M., Goldfield, E. C., & Gibson, E. J. (1997). Learning in the Development of Infant Locomotion. *Monographs of*

- the Society for Research in Child Development*. <https://doi.org/10.2307/1166199>
- Adolph, K., & Hoch, J. (2019). Motor Development: Embodied, Embedded, Enculturated, and Enabling Karen. *Annual Reviews of Psychology*, *176*(3), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.03.040>
- Allen, M. C., & Capute, A. J. (1986). The evolution of primitive reflexes in extremely premature infants. *Pediatric Research*. <https://doi.org/10.1203/00006450-198612000-00018>
- Anderson, D. I., Campos, J. J., Witherington, D. C., Dahl, A., Rivera, M., He, M., ... Barbu-Roth, M. (2013). The role of locomotion in psychological development. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00440>
- Assaiante, C. (2011). Action et représentation de l'action au cours de l'enfance et de l'adolescence: Une approche fonctionnelle. *Neurophysiologie Clinique*, *42*(1–2), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2011.09.002>
- Assaiante, C., & Amblard, B. (1993). Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: influence of visual cues. *Experimental Brain Research*, *93*(3), 499–515. <https://doi.org/10.1007/BF00229365>
- Assaiante, C., & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*, *14*(1), 13–43. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(94\)00048-J](https://doi.org/10.1016/0167-9457(94)00048-J)
- Assaiante, C., Barlaam, F., Cignetti, F., & Vaugoyeau, M. (2014). Body schema building during childhood and adolescence: A neurosensory approach. *Neurophysiologie Clinique*, *44*(1), 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2013.10.125>
- Assaiante, Christine. (1998). Development of locomotor balance control in healthy children. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *22*(4), 527–532. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(97\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(97)00040-7)
- Barela, J. A., Jeka, J. J., & Clark, J. E. (1999). The use of somatosensory information during the acquisition of independent upright stance. *Infant Behavior and Development*. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(99\)80007-1](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(99)80007-1)

- Bernstein, N. A. (1967). The coordination and regulation of movements: Conclusions towards the Study of Motor Coordination. In *Pergamon-Press*. <https://doi.org/10.1097/00005072-196804000-00011>
- Busquets, A., Aranda-Garcia, S., Ferrer-Uris, B., Marina, M., & Angulo-Barroso, R. (2018). Age and gymnastic experience effects on sensory reweighting processes during quiet stand. *Gait and Posture*, 63(January), 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.05.009>
- Cignetti, F., Zedka, M., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2013). Independent Walking as a Major Skill for the Development of Anticipatory Postural Control: Evidence from Adjustments to Predictable Perturbations. *PLoS ONE*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056313>
- Connolly, K., & Jones, B. (1970). A Developmental Study Of Afferent-Reafferent Integration. *British Journal of Psychology*. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1970.tb01242.x>
- Cuisinier, R., Olivier, I., Vaugoyeau, M., Nougier, V., & Assaiante, C. (2011). Reweighting of sensory inputs to control quiet standing in children from 7 to 11 and in adults. *PLoS ONE*, 6(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019697>
- Deutsch, K. M., & Newell, K. M. (2001). *Children ' s Coordination of Force Output in a Pinch Grip Task*. <https://doi.org/10.1002/dev.10051>
- Dominici, N., Ivanenko, Y. P., Cappellini, G., D'Avella, A., Mondì, V., Cicchese, M., ... Lacquaniti, F. (2011). Locomotor primitives in newborn babies and their development. *Science*, 334(6058), 997–999. <https://doi.org/10.1126/science.1210617>
- Franklin, D. W., & Wolpert, D. M. (2011). Computational mechanisms of sensorimotor control. *Neuron*, Vol. 72, pp. 425–442. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.006>
- Gesell, A. (1954). Behavior patterns of fetal-infant and child; with evidences of innate growth factors. *Research Publications - Association for Research in Nervous and Mental Disease*.
- Gesell, A., & Thompson, H. (1929). Learning and growth in identical infant twins. *Genetic Psychology Monographs*.
- Glickstein, M., & Yeo, C. (1990). The cerebellum and motor learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*. <https://doi.org/10.1162/jocn.1990.2.2.69>

- Godoi, D., & Barela, J. A. (2016). Optical flow structure effects in children's postural control. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158416>
- Hatzitaki, V., Zlsi, V., Kollias, I., & Kioumourtzoglou, E. (2002). Perceptual-motor contributions to static and dynamic balance control in children. *Journal of Motor Behavior*. <https://doi.org/10.1080/00222890209601938>
- Haywood, K. (2019). *Life Span Motor Development* (seventh). Human Kinetics.
- He M et al. (2001) Growth of infants during the first 18 months of life in urban and rural areas of southern China. *Journal of Paediatrics and Child Health* 37:456-464 doi:DOI 10.1046/j.1440-1754.2001.00691.x
- Herzfeld, D. J., & Shadmehr, R. (2014). Motor variability is not noise, but grist for the learning mill. *Nature Neuroscience*, 17(2), 149–150. <https://doi.org/10.1038/nn.3633>
- Hopkins, B., & Westra, T. (1988). Maternal handling and motor development: an intracultural study. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*.
- Kalagher, H., & Jones, S. S. (2011). Young children's haptic exploratory procedures. *Journal of Experimental Child Psychology*. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.06.007>
- Krakauer, J., Ghez, C. (2000). Voluntary movement. In: Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M. (Eds.) *Principles of Neural Science* (4rth Edition), McGraw-Hill, New York, pp. 647-667
- Kyvelidou, A., Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2010). Severity and characteristics of developmental delay can be assessed using variability measures of sitting posture. *Pediatric Physical Therapy*. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e3181ea75f1>
- Mallau, S., Vaugoyeau, M., & Assaiante, C. (2010). Postural strategies and sensory integration: No turning point between childhood and adolescence. *PLoS ONE*, 5(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013078>
- Newell, K. M., & Wade, M. G. (2018). Physical Growth, Body Scale, and Perceptual-Motor Development. In *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 55). <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2018.04.005>
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor Integration in Human Postural Control. *Journal of Neurophysiology*. <https://doi.org/Doi 10.1152/Jn.00605.2001>

- Peterson, M. L., Christou, E., & Rosengren, K. S. (2006). Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. *Gait and Posture*, 23(4), 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.05.003>
- Rey, M. C. B., Clark, T. K., & Merfeld, D. M. (2017). Balance screening of vestibular function in subjects aged 4 years and older: A living laboratory experience. *Frontiers in Neurology*. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00631>
- Schmitz, C., Martin, N., & Assaiante, C. (2002). Building anticipatory postural adjustment during childhood: A kinematic and electromyographic analysis of unloading in children from 4 to 8 years of age. *Experimental Brain Research*. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0910-y>
- Shadmehr, R., Smith, M. A., & Krakauer, J. W. (2010). Error correction, sensory prediction, and adaptation in motor control. *Annual Review of Neuroscience*, 33, 89–108. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-153135>
- Shirley, M., & McGraw, M. B. (1936). Growth: A Study of Johnny and Jimmy. *The American Journal of Psychology*. <https://doi.org/10.2307/1416527>
- Sveistrup, H., Schneiberg, S., McKinley, P. A., McFadyen, B. J., & Levin, M. F. (2008). Head, arm and trunk coordination during reaching in children. *Experimental Brain Research*. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1357-1>
- Thelen, E., Bradshaw, G., & Ward, J. A. (1981). Spontaneous kicking in month-old infants: Manifestation of a human central locomotor program. *Behavioral and Neural Biology*, 32(1), 45–53. [https://doi.org/10.1016/S0163-1047\(81\)90257-0](https://doi.org/10.1016/S0163-1047(81)90257-0)
- Wolpert, D. M., Miall, R. C., & Kawato, M. (1998). Internal models in the cerebellum. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(9), 338–347. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(98\)01221-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(98)01221-2)
- Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (1989). *Development of posture and gait across the life span*. University of South Carolina Press.

Ανάπτυξη της δύναμης¹

Μπάσσα Ελένη

Περίληψη

Η μυϊκή δύναμη αποτελεί βασικό στοιχείο της ανθρώπινης δραστηριότητας καθώς εμπλέκεται σε κάθε μορφή κίνησης, αθλητικής ή καθημερινής. Η δύναμη αυξάνεται σταδιακά κατά την αναπτυξιακή περίοδο και υπάρχουν αντικρουόμενα δεδομένα για τη χρονική στιγμή που γίνονται έκδηλες οι διαφορές φύλου. Η ωρίμανση, ως ανεξάρτητος παράγοντας, παίζει σημαντικότερο ρόλο στην ανάπτυξη της δύναμης και αποτελεί καλύτερο δείκτη πρόβλεψής της από ότι η χρονολογική ηλικία ενώ έρευνες επιβεβαιώνουν την αναγκαιότητα αξιολόγησής της πριν από οποιαδήποτε σύγκριση της δύναμης στα παιδιά. Η σχετικοποίηση της δύναμης ως προς κάποιο ανθρωπομετρικό μέγεθος παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς ελαχιστοποιεί ή εξαφανίζει τις διαφορές ηλικίας και φύλου υποδεικνύοντας ότι ένα μεγάλο ποσοστό των διαφορών δύναμης μπορούν να αποδοθούν σε διαφορές μεγέθους. Πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα υποστηρίζουν ότι οι ηλικιακές διαφορές στη φυσιολογική ανάπτυξη της δύναμης μπορούν να αποδοθούν τόσο σε μορφολογικούς όσο και σε νευρομυϊκούς παράγοντες και κρίνεται απαραίτητη η κατανόησή τους από τους επαγγελματίες που ασχολούνται με την άθληση των παιδιών. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η υπάρχουσα γνώση σχετικά με τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη φυσιολογική ανάπτυξη της δύναμης κατά την περίοδο της ανάπτυξης και ωρίμανσης των παιδιών.

1. Το περιεχόμενο αυτού του κεφαλαίου αποτελεί ενημερωμένη και εμπλουτισμένη έκδοση κειμένου που έχει διανεμηθεί στο παρελθόν στους/στις φοιτητές/τριες του Τ.Ε.Φ.Α.Α. Α.Π.Θ., υπό μορφή σημειώσεων (Μπάσσα, 2015).

Εισαγωγή

Δύναμη είναι το αίτιο της κίνησης. Είναι η ικανότητα του μυός ή ενός συνόλου μυών ενώ συσπώνται να ξεπερνούν, να συγκρατούν ή να αντιστέκονται σε μια εξωτερική αντίσταση.

- *Μειομετρική Δύναμη (ή υπερνικητική).* Όταν το μυοτενόντιο σύμπλεγμα παράγει δύναμη μεγαλύτερη της εξωτερικής αντίστασης και την μετακινεί προς την κατεύθυνση του άξονα δράσης του μυός ενώ μειώνει το συνολικό του μήκος, η παραγόμενη δύναμη ονομάζεται μειομετρική. Η δύναμη αυτή χαρακτηρίζεται επίσης και ως σύγκεντρη ή ομόκεντρη γιατί η κίνηση εκτελείται προς την κατεύθυνση του άξονα δράσης του μυός αλλάζοντας τη γωνία της άρθρωσης.

- *Ισομετρική δύναμη (ή σταθεροποιητική).* Όταν το μυοτενόντιο σύμπλεγμα παράγει ίδια δύναμη με την εξωτερική αντίσταση και κατορθώνει να την συγκρατεί διατηρώντας σταθερό το μήκος του, η παραγόμενη δύναμη ονομάζεται ισομετρική ή στατική γιατί δεν παρατηρείται κίνηση στην άρθρωση.

- *Πλειομετρική (ή υποχωρητική δύναμη).* Όταν το μυοτενόντιο σύμπλεγμα παράγει δύναμη μικρότερη από την εξωτερική αντίσταση, παρατηρείται κίνηση στην άρθρωση, αλλά προς την αντίθετη κατεύθυνση από τον άξονα της δράσης του μυός (υποχωρητικά) και το μυοτενόντιο σύμπλεγμα αυξάνει το μήκος του, τότε η παραγόμενη δύναμη ονομάζεται πλειομετρική. Αυτή η μορφή της παραγόμενης δύναμης ονομάζεται και έκκεντρη γιατί η κίνηση εκτελείται αντίθετα από τον άξονα δράσης του μυός.

- *Ροπή.* Στην ανθρώπινη κίνηση οι μύες συσπώνται παράγοντας δύναμη που προκαλεί την περιστροφή των μελών γύρω από την άρθρωση η οποία ονομάζεται *ροπή*. Τότε, επειδή το σημείο παραγωγής και εφαρμογής της δύναμης διαφέρουν, πρέπει να υπολογίζεται η δύναμη σε σχέση με αυτήν την απόσταση, η οποία ονομάζεται μοχλοβραχίονας της δύναμης ($\text{Ροπή} = \text{Δύναμη} \times \text{μοχλοβραχίονα}$).

Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της δύναμης

Η γνώση της φυσιολογικής ανάπτυξης της δύναμης κατά τις αναπτυξιακές ηλικίες θεωρείται απαραίτητη για όσους επαγγελματίες ασχολούνται με την άθληση των παιδιών. Παρότι έχει μελετηθεί αρκετά (De Ste Croix et al., 2002; Kanehisa et al., 2006, 2003; Kellis et al., 2014; Μπάσσα, 2015; Μπάσσα et al.,

2003) παραμένουν αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με τους ποικίλους παράγοντες που την επηρεάζουν και θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Ηλικία και φύλο

Η δύναμη αυξάνεται προοδευτικά με την ηλικία κατά την ανάπτυξη (Blimkie, 1989; Davies et al., 1983; Holm et al., 2005). Με την είσοδο στην εφηβεία, λίγο μετά την αντίστοιχη κορύφωση του ύψους (δηλαδή τη χρονική περίοδο που αυξάνει ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των παιδιών), τα αγόρια παρουσιάζουν αυξημένους ρυθμούς ανάπτυξης της δύναμης (Asmussen, 1973; Catley and Tomkinson, 2013). Στα κορίτσια η βελτίωση της δύναμης συνεχίζεται με τον ίδιο ρυθμό μέχρι και τα μέσα της εφηβείας, χωρίς να παρατηρείται σαφής κορύφωσή της (Parker et al., 1990).

Όσον αφορά στις διαφοροποιήσεις των δύο φύλων στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης, έχει διαπιστωθεί ότι τα αγόρια προσεγγίζουν σε απόλυτες τιμές περίπου το 41-50% της τελικής τους ροπής των μυών του γόνατος (δηλ. της ροπής στην ηλικία των 18 ετών) (Bassa et al., 2001) και το 50% της τελικής τους μέγιστης ισομετρικής δύναμης στην ηλικία των 12 ετών ενώ τα κορίτσια προσεγγίζουν περίπου το 50% της ισομετρικής δύναμής τους νωρίτερα στην ηλικία των 10 ετών (Blimkie, 1989).

Υπάρχουν αντικρουόμενα δεδομένα για τη χρονική στιγμή που γίνονται έκδηλες οι διαφορές φύλου. Κατά την παιδική ηλικία, έχει αναφερθεί ελαφρά υπεροχή των αγοριών έναντι των κοριτσιών σε απόλυτες τιμές δύναμης αλλά η υπεροχή είναι αποδεκτό ότι γίνεται σημαντική μετά την κορύφωση του ύψους (Kanehisa et al., 2006; Parker et al., 1990). Οι διαφορές φύλου φαίνεται να ποικίλουν ανά μυϊκή ομάδα και τύπο σύσπασης αλλά γενικά στο τέλος της εφηβείας φτάνουν σε μια υπεροχή των αγοριών ~50% (Lloyd et al., 2014) η οποία αποδίδεται στην αντίστοιχη υπεροχή των αγοριών έναντι των κοριτσιών τόσο στα μήκη μελών όσο και στον όγκο της μυϊκής μάζας ιδιαίτερα των άνω άκρων (Blimkie, 1989).

Ωρίμανση

Καθώς ο ρυθμός ανάπτυξης είναι καθαρά εξατομικευμένος, μεγάλες αποκλίσεις δύναμης και μεγέθους παρατηρούνται σε παιδιά της ίδιας χρονολογικής ηλικίας (Cordingley et al., 2019). Η αξιολόγηση βάσει της χρονολογικής ηλικίας ευνοεί τα παιδιά πρώιμης ωρίμανσης. Αγόρια που ωριμάζουν νωρίτερα από τους συνομηλίκους τους έχουν πλεονέκτημα στα αθλήματα και είναι πιο πιθανό να ε-

πιλεγούν, κατά τη διαδικασία ανεύρεσης ταλέντων, σε σχέση με αγόρια που ωριμάζουν αργότερα (Goto et al., 2019). Επίσης, η έλλειψη διαφορών φύλου σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (π.χ. κατά την ηλικία των 12-13 ετών) έχει προηγούμενα αποδοθεί σε διαφορές στη νευρομυϊκή ωρίμανση λόγω της γρηγορότερης βιολογικής ωρίμανσης των κοριτσιών (De Ste Croix et al., 2002). Καθώς λοιπόν η χρονολογική ηλικία δεν συσχετίζεται πάντα με τις βιολογικές αλλαγές που διαδραματίζονται κατά την ανάπτυξη (Malina et al., 2004) κρίνεται απαραίτητη κατά την αξιολόγηση της δύναμης, η ομαδοποίηση των παιδιών σύμφωνα με το επίπεδο ωρίμανσής τους.

Διάφορες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ωρίμανσης με συνηθέστερη την αξιολόγηση κατά Tanner (1962) που κατατάσσει τα παιδιά σε 5 στάδια ωρίμανσης, σύμφωνα με τα δευτερεύοντα σεξουαλικά χαρακτηριστικά ή και με τη χρήση εξίσωσης που χρησιμοποιεί την χρονολογική ηλικία και σωματικούς δείκτες (Medeiros et al., 2018). Χρησιμοποιείται ακόμα η σκελετική ωρίμανση με ακτινογραφία του καρπού (Malina et al., 2015) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με το ύψος την ώρα της μέτρησης ή το μέσο ύψος των γονέων για να προβλεφθεί το τελικό ύψος του παιδιού. Άλλη μέθοδος υπολογίζει με εξίσωση την ηλικία που θα συμβεί η κορύφωση του ύψους (Peak Height Velocity = PHV) και χρησιμοποιείται ευρέως τα τελευταία χρόνια (Mirwald et al., 2002). Στην εξίσωση χρησιμοποιούνται οι τιμές της σωματικής μάζας και του ύψους από όρθια και καθιστή θέση και υπολογίζεται ο χρόνος που υπολείπεται έως την κορύφωση του ύψους (peak height velocity) ή ο χρόνος που έχει περάσει από την κορύφωση, κατατάσσοντας τα παιδιά σε 3 στάδια: πριν (pre-PHV), κατά τη διάρκεια (circa-PHV) και μετά (post-PHV) την κορύφωση του ύψους και χαρακτηρίζονται ως πρόεφηβα, στην αρχή της εφηβείας και έφηβα, αντίστοιχα.

Προηγούμενες έρευνες επιβεβαίωσαν την ανάπτυξη της δύναμης με την εξέλιξη της ωρίμανσης (Forbes et al., 2009; Gerodimos et al., 2013; Morris et al., 2018) αποδεικνύοντας ότι η βιολογική ηλικία, ως ανεξάρτητος παράγοντας, παίζει σημαντικότερο ρόλο στην ανάπτυξη της δύναμης (Carvalho et al., 2012) και αποτελεί καλύτερο δείκτη πρόβλεψής της (Pratt, 1989) από ότι η χρονολογική ηλικία. Έρευνα που χώρισε τους συμμετέχοντες ηλικίας 12-14 ετών σε 2 ομάδες ανάλογα με τα επίπεδα δύναμης (υψηλότερης και χαμηλότερης) διαπίστωσε ότι τα είχε χωρίσει ταυτόχρονα και σε δύο ομάδες διαφορετικής ωρίμανσης επιβε-

βαιώνοντας την αναγκαιότητα αξιολόγησης της ωρίμανσης πριν από οποιαδήποτε σύγκριση της δύναμης των παιδιών (Gillen et al., 2019).

Καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των μυών, στη βελτίωση της δύναμης αλλά και στην ωρίμανση παίζει η ενδοκρινική λειτουργία. Η αύξηση της συγκέντρωσης των ανδρογόνων και κύρια της τεστοστερόνης (Florini, 1987) προκαλούν το εφηβικό τίναγμα (κορύφωση του ύψους) στα αγόρια αλλά παρατηρείται επίσης μία αύξηση της συγκέντρωσής τους, σε χαμηλότερο ποσοστό, και στα κορίτσια με την είσοδο στην εφηβεία (Preece, 1986). Τα επίπεδα συγκέντρωσης της τεστοστερόνης συσχετίζονται και με τα υψηλότερα επίπεδα δύναμης στα αγόρια στην αρχή της εφηβείας (~13 ετών) ενώ στα κορίτσια η ταχύτητα ανάπτυξής τους, η ωρίμανση, η δύναμη αλλά και τα υψηλότερα ποσοστά λίπους επηρεάζονται σημαντικά από τα επίπεδα της εστραδιόλης (Almeida-Neto et al., 2020; de Almeida-Neto et al., 2020).

Γενικά η αυξανόμενη ικανότητα παραγωγής δύναμης των παιδιών με την ωρίμανση και οι διαφορές φύλου με την είσοδο στην εφηβεία φαίνεται ότι εξαρτώνται από τις αλλαγές στη μυϊκή μάζα (Morris et al., 2018) που διευκολύνεται από τη δράση των ορμονών (Malina et al., 2004).

Μορφολογικοί παράγοντες

Σωματομετρικά χαρακτηριστικά

Κατά την αξιολόγηση της δύναμης δεν πρέπει να αξιολογείται η δύναμη μόνο σε απόλυτες τιμές αλλά και σε σχετικές ως προς κάποιο ανθρωπομετρικό μέγεθος. Έχει διαπιστωθεί ότι, σε αυτή την περίπτωση, οι όποιες διαφορές δύναμης έχουν εντοπιστεί σε απόλυτες τιμές μεταξύ ομάδων διαφορετικής ηλικίας ή ίδιας χρονολογικής αλλά διαφορετικής βιολογικής ηλικίας εξαφανίζονται ή ελαχιστοποιούνται (Seger and Thorstensson, 2000) υποδεικνύοντας ότι οι διαφορές δύναμης μεταξύ των παιδιών μπορούν πιθανά να αποδοθούν σε διαφορές στο μήκος των μελών, στη σωματική ή μυϊκή μάζα. Όταν το ύψος και η σωματική μάζα χρησιμοποιήθηκαν μαζί για τον έλεγχο της ανάπτυξης της δύναμης των παιδιών διαπιστώθηκε ότι αποτελούν σημαντικούς δείκτες πρόβλεψής της (De Ste Croix et al., 2002). Είναι σημαντικό βέβαια να τονιστεί ότι οι αλλαγές στο μέγεθος σώματος μπορούν να εξηγήσουν μόνο 40-70% των αυξήσεων της δύναμης που παρατηρούνται από την ηλικία των 5-17 ετών (Blimkie, 1989) και θεωρείται ότι κι

άλλοι βιολογικοί παράγοντες συντρέχουν επηρεάζοντας την ανάπτυξη της δύναμης (Camic et al., 2010).

Επίδραση του ύψους

Η επίδραση του μεγέθους σώματος στην ανάπτυξη της δύναμης και στο μέγεθος μυών είχε προταθεί ότι είναι αναλογική του τετραγώνου του ύψους (Asmussen, 1973) αλλά έχει παρατηρηθεί ότι η δύναμη συχνά αυξάνεται γρηγορότερα από ότι θα αναμενόταν από τις αλλαγές του ύψους (Round et al., 1999; Wood et al., 2004). Παρόλα αυτά οι συσχετίσεις δύναμης και ύψους είναι σημαντικές αλλά μέτριες στην παιδική ηλικία και χαμηλώνουν πολύ στην εφηβεία (Asmussen and Heeboll-Nielsen, 1956; Asmussen and Heeboll-Nielsen, 1955).

Επίδραση της σωματικής μάζας

Η σωματική μάζα λαμβάνεται υπόψη στις μετρήσεις δύναμης καθώς είναι εύκολα μετρήσιμη και εκφράζει έμμεσα και τις διαφοροποιήσεις της μυϊκής μάζας. Συσχετίζεται μέτρια με την ηλικία και τη μέγιστη δύναμη τόσο στα αγόρια (Carron and Bailey, 1974) όσο και στα κορίτσια (Faust, 1977) κατά την παιδική ηλικία και γενικά το παιδί με τη μεγαλύτερη σωματική μάζα υπερέρχει σε απόλυτες αλλά όχι σε σχετικές τιμές δύναμης των πιο μικρόσωμων συνομηλίκων του. (Σχετικές τιμές δύναμης είναι οι τιμές δύναμης ομαλοποιημένες ως προς ένα ανθρωπομετρικό χαρακτηριστικό π.χ. μάζα).

Άλιπη μάζα

Η ανάπτυξη της δύναμης στα παιδιά φαίνεται να συνάδει με την ανάπτυξη της άλιπης μάζας (Blimkie, 1989) και συσχετίζεται υψηλά με αυτήν στα παιδιά (Housh et al., 1996) γεγονός που αποδόθηκε στο γεγονός ότι η άλιπη μάζα ταυτίζεται στο μεγαλύτερο μέρος της με τη μυϊκή μάζα. Παρόλα αυτά η ομαλοποίηση των τιμών δύναμης ως προς την άλιπη μάζα κατέληξε σε αντικρουόμενα αποτελέσματα αφού άλλοτε οι ηλικιακές διαφορές δύναμης εξαφανίστηκαν (Housh et al., 1995) κι άλλοτε παρέμειναν (Bassa et al., 2001).

Η ανάπτυξη της άλιπης μάζας σε σχέση με τη συνολική σωματική μάζα καθώς και η κατανομή της μυϊκής μάζας στο σώμα είναι γνωστό ότι διαφέρει μεταξύ των δύο φύλων (Malina, 1986). Οι διαφορές φύλου, όσον αφορά στη δύναμη, πριν την

είσοδο στην εφηβεία αποδόθηκαν στο υψηλότερο ποσοστό λίπους ήδη από την παιδική ηλικία (Malina, 1986).

Γενικά η ελαχιστοποίηση ή εξαφάνιση των διαφορών ηλικίας και φύλου όταν η δύναμη ομαλοποιείται ως προς την άλιπη μάζα (Malina et al., 2004) υποδεικνύει ότι ένα μεγάλο ποσοστό των ηλικιακών διαφορών δύναμης μπορούν να αποδοθούν στη μυϊκή μάζα που έμμεσα εκφράζει.

Μυϊκή μάζα

Η δύναμη εξαρτάται από την ποσότητα της μυϊκής μάζας (MacDougall et al., 1986). Κατά την αναπτυξιακή περίοδο, παρατηρούνται μορφολογικές αλλαγές στους σκελετικούς μύες που αυξάνονται σε μέγεθος και ευθύνονται κατά ένα μεγάλο μέρος για τις αυξήσεις της δύναμης που παρατηρούνται καθώς τα παιδιά αναπτύσσονται (Fukunaga et al., 2014; Gillen et al., 2019; Pitcher et al., 2012; Tonson et al., 2008).

Ένας τρόπος για να ελεγχθεί η επίδραση της μυϊκής μάζας στην ανάπτυξη της δύναμης είναι απλά να εκφραστεί η δύναμη ως προς κάποιο μυϊκό μέγεθος (άλιπη μάζα, ανατομική κάθετη διατομή, όγκος μυός, φυσιολογική κάθετη διατομή κ.λ.π.) δηλαδή σε σχετικές τιμές, όπως προαναφέρθηκε.

Η ανατομική κάθετη διατομή μυός (ΑΚΔΜ) αποτελεί δείκτη της μυϊκής μάζας τοπικά (δηλ. για τον συγκεκριμένο μυ) και μετριέται κάθετα στον επιμήκη άξονα του μυός. Παλαιότερες έρευνες, χρησιμοποιώντας την, διαπίστωσαν ότι τα έφηβα παιδιά (16-18 ετών) είναι πιο δυνατά, σε τιμές δύναμης ανά κάθετη διατομής μυός, από τα μικρότερα (7-9, 10-12, 13-15 ετών) (Kanehisa et al., 2003, 1995b, 1995a, 1994), αποτέλεσμα που υποδεικνύει ότι μάλλον κι άλλοι παράγοντες πέραν από τη μυϊκή μάζα ευθύνονται για τις ηλικιακές διαφορές δύναμης.

Η ανατομική κάθετη διατομή όμως μπορεί να χρησιμοποιείται για μύες με παράλληλη διάταξη μυϊκών ινών (Bamman et al., 2000) καθώς είναι μια διατομή κάθετη στον κατά μήκος άξονα του μυός αλλά δεν θεωρείται κατάλληλη για περρωτούς μύες (Fukunaga et al., 1996). Στους περρωτούς μύες προτιμάται η χρήση της φυσιολογικής κάθετης διατομής του μυός (ΦΚΔΜ) (Close, 1972) που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών στον τένοντα, το μήκος των μυϊκών ινών καθώς και τον όγκο του μυός (Fukunaga et al. 1996). Το γεγονός ότι η γωνία πρόσφυσης αλλάζει κατά την ανάπτυξη και σταθεροποιείται

μετά το εφηβικό τίναγμα (Binzoni et al., 2001), καθιστά τη ΦΚΔΜ ως τον καταλληλότερο δείκτη για την έκφραση της μυϊκής μάζας στα παιδιά.

Άσχετα όμως με τη μέθοδο αξιολόγησης της μυϊκής μάζας και τα λάθη-περιορισμούς κάθε μίας από αυτές, το σίγουρο είναι ότι η μυϊκή μάζα αποτελεί σημαντικό δείκτη πρόβλεψης της φυσιολογικής ανάπτυξης της δύναμης των παιδιών (Fukunaga et al. 2014) αλλά μάλλον δεν είναι ο μόνος, καθώς έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερη αύξηση της δύναμης σε σχέση με την αύξηση της μυϊκής τους μάζας (Kanehisa et al., 1995a). Οι ερευνητές υπέθεσαν ότι μάλλον η δύναμη ανά περιοχή μυός, γνωστή ως ειδική τάση, βελτιώνεται επίσης με την ανάπτυξη. Η υπόθεση αυτή βασίστηκε στις ενδείξεις μεγαλύτερης αναλογίας γρήγορων μυϊκών ινών στους ενήλικες σε σύγκριση με τα παιδιά (Lexell et al., 1992). Η πρώτη σχετική έρευνα σε παιδιά (Morse et al., 2008) διαπίστωσε 55% χαμηλότερες τιμές ροπής και 52% χαμηλότερες τιμές φυσιολογικής κάθετης διατομής στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες. Ωστόσο όταν η δύναμη εκφράστηκε ως προς τη φυσιολογική κάθετη διατομή του μυός τα παιδιά παρουσίασαν 21% υψηλότερη ειδική τάση του έξω γαστροκνήμιου από τους ενήλικες, το οποίο ήταν ένα μη αναμενόμενο αποτέλεσμα ενώ επόμενη έρευνα (O'Brien et al., 2010) δεν διαπίστωσε ηλικιακές διαφορές στην άρθρωση του γόνατος. Τα αντικρουόμενα αποτελέσματα των δύο ερευνών μπορούν να αποδοθούν πιθανά στις μεθοδολογικές τους διαφορές (Bassa et al., 2013) και υποδεικνύουν την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης της ειδικής τάσης σε διάφορες μυϊκές ομάδες καθώς τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά των μυών μπορεί να διαφέρουν ακόμα και στην ίδια άρθρωση.

Συνοψίζοντας φαίνεται ότι (O'Brien et al., 2010) οι αυξήσεις δύναμης κατά τις αναπτυξιακές ηλικίες θα πρέπει να αποδίδονται εν μέρει σε διαφορές στη φυσιολογική κάθετη διατομή των μυών.

Μοχλοβραχίονας δύναμης

Οι σκελετικοί μύες δρουν γύρω από τις αρθρώσεις άρα η δύναμη είναι η τελική ροπή που παράγεται γύρω από την άρθρωση και ισούται με το γινόμενο της δύναμης επί το μήκος του μοχλοβραχίονα. Ως μοχλοβραχίονας ορίζεται η κάθετη απόσταση ανάμεσα στη γραμμή δράσης του μυός - τένοντα και του άξονα περιστροφής της άρθρωσης. Η θέση του κέντρου περιστροφής της άρθρωσης καθώς και το μήκος του οστού που είναι κοντά στην πρόσφυση του τένοντα αλλάζει με την ανάπτυξη του σκελετού. Έτσι στην εφηβεία παρατηρείται όχι μόνο αύξηση

της μυϊκής μάζας αλλά και αλλαγή του μήκους του μοχλοβραχίονα. Και οι δύο αυτοί παράγοντες μπορούν να επηρεάζουν την ικανότητα παραγωγής ροπής της άρθρωσης.

Λίγες έρευνες μελέτησαν τη σχέση του μήκους του μοχλοβραχίονα με την ανάπτυξη της δύναμης σε παιδιά (Morse et al., 2008; O'Brien et al., 2009a, 2009b) και διαπίστωσαν ότι παρουσιάζουν μικρότερο μήκος του μοχλοβραχίονα του αχίλλειου τένοντα (Morse et al., 2008) και του τένοντα της επιγονατίδας (O'Brien et al., 2009b) σε σχέση με τους ενήλικες. Προτάθηκε ότι αυτές οι διαφορές στον μοχλοβραχίονα δύναμης μπορούν να εξηγήσουν εν μέρει και τις διαφορές ροπής μεταξύ παιδιών και ενηλίκων.

Ο υπολογισμός του μήκους του μοχλοβραχίονα απαιτεί τη χρήση μαγνητικού τομογράφου αλλά μπορεί να υπολογισθεί και με ανθρωπομετρικές μεθόδους. Στα παιδιά διαπιστώθηκε ότι το μήκος του μοχλοβραχίονα στην άρθρωση του γόνατος μπορεί να προβλεφθεί με ανθρωπομετρικές μετρήσεις (O'Brien et al., 2009b) χωρίς αυτό να είναι δυνατό στους ενήλικες (Tsaopoulos et al., 2007).

Όσον αφορά στον μοχλοβραχίονα δύναμης, συμπεραίνεται ότι η αύξηση του μήκους του με την πρόοδο της ηλικίας κατά την αναπτυξιακή περίοδο μπορεί να δικαιολογήσει εν μέρει τις διαφορές ροπής παιδιών και ενηλίκων. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι οι διαφορές του μήκους τουλάχιστον του μοχλοβραχίονα του τένοντα της επιγονατίδας μεταξύ παιδιών και ενηλίκων δεν μπορούν να εξηγηθούν μόνο από διαφορές στα ανθρωπομετρικά μεγέθη υποδεικνύει ότι τα παιδιά δεν πρέπει γενικότερα να θεωρούνται «σμικρύνσεις» των ενηλίκων.

Αρχιτεκτονική του μυός

Η ικανότητα παραγωγής δύναμης είναι μικρότερη στα παιδιά σε σύγκριση με τους εφήβους και τους ενήλικες και αυτή η αδυναμία έχει αποδοθεί τόσο σε διαφορές στη μυϊκή μάζα όσο και σε διαφορές στην αρχιτεκτονική των μυών (Kubo et al. 2014b; Kubo et al. 2014) και στη μυϊκή ενεργοποίηση (Dotan et al., 2012).

Η αρχιτεκτονική του μυός αφορά παραμέτρους όπως το μήκος των μυϊκών ινών, τη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών στον τένοντα και τη μυϊκή πυκνότητα (Blazevich, 2006) και είναι σημαντική γιατί επηρεάζει τη μυϊκή λειτουργία και την ταχύτητα σύσπασης (Lieber and Fridén, 2000). Προηγούμενες έρευνες ανέφεραν ότι τα παιδιά παρουσιάζουν μικρότερη μυϊκή πυκνότητα από τους εφήβους και τους ενήλικες και μικρότερο μήκος μυϊκών ινών το οποίο φαίνεται ότι αυξά-

νεται μέχρι την ηλικία των 15 ετών και μετά σταθεροποιείται (Kubo, et al. 2014). Η γωνία πρόσφυσης των εκτεινόντων μυών του γόνατος εκφρασμένη ως προς το μήκος μηρού μένει σταθερή κατά την ανάπτυξη ενώ του γαστροκνημίου αναπτύσσεται μέχρι το εφηβικό άλμα και παίρνει τελικές τιμές με την ενηλικίωση (Binzoni et al., 2001).

Γενικά οι αλλαγές της αρχιτεκτονικής των μυών (μυϊκή πυκνότητα, μήκος μυϊκών ινών, γωνία πρόσφυσης) με την ωρίμανση (Radnor et al., 2020) καθιστούν τους μύες των παιδιών σταδιακά πιο ικανούς να παράγουν μεγαλύτερη δύναμη αλλά και ισχύ.

Δύναμη και σκληρότητα

Οι τένοντες είναι δομές που λειτουργούν σαν ελατήρια και παίζουν σημαντικό ρόλο στην κίνηση καθώς μεταφέρουν τις δυνάμεις μέσω των αρθρώσεων στον σκελετό. Οι μηχανικές τους ιδιότητες και κύρια η σκληρότητά τους επηρεάζουν την παραγωγή δύναμης καθώς και την απόδοση σε σύνθετες ή πολυαρθρικές κινήσεις (Butler et al. 1978) και φάνηκε ότι διαφοροποιούνται με τη μηχανική φόρτιση (Butler, Crowell, and Davis 2003). Η σκληρότητα του τένοντα της επιγονατίδας αυξάνεται σταδιακά μέχρι την ενηλικίωση (Charcharis et al., 2019; O'Brien et al., 2009b) και τα προέφηβα παιδιά (9-12 ετών) παρουσιάζουν μικρότερη σκληρότητα του αχίλλειου τένοντα από τους ενήλικες (Charlie M. Waugh et al., 2013) που φαίνεται να φτάνει τις τιμές των ενηλίκων κατά το τέλος της εφηβείας (Kubo et al., 2014a; Mogi et al., 2018).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η αυξημένη σκληρότητα σχετίζεται με τη γρήγορη μεταφορά της δύναμης στον σκελετό, οι χαμηλότερες τιμές σκληρότητας των τενόντων που παρουσιάζουν τα παιδιά μπορούν να δικαιολογήσουν και τον χαμηλότερο ρυθμό της ανάπτυξης της δύναμης στα παιδιά όταν υπάρχει απαίτηση για την εκρηκτική εφαρμογή της (Dotan et al., 2013a).

Νευρομυϊκοί παράγοντες

Κατά την αναπτυξιακή περίοδο παρατηρούνται αλλαγές στον νευρομυϊκό έλεγχο. Η φλοιονωτιαία οδός ωριμάζει σταδιακά (Caramia et al., 1993) και αυξάνεται η διεγερσιμότητά της (Koh and Eyre, 1988), δεδομένο που έχει συσχετιστεί με τη διαδικασία της μυελίνωσης και την αύξηση της διαμέτρου των νευραξόνων (Geneva et al., 2002; Müller et al., 1991). Η ταχύτητα αγωγιμότητας στο περιφερειακό νευρικό σύστημα βελτιώνεται νωρίτερα από ότι η ταχύτητα του κεντρικού

νευρικού συστήματος (Smits-Engelsman et al., 2003) και αυτό επιβεβαιώνεται από τη σταδιακή κατά την ανάπτυξη του παιδιού εμφάνιση ή εξαφάνιση αντανακλαστικών που βοηθούν στην ποιοτική εκτέλεση σύνθετων κινήσεων.

Τα παιδιά παρουσιάζουν αυξήσεις δύναμης μεγαλύτερες από τις αυξήσεις της μυϊκής τους μάζας που αποδίδονται σε νευρομυϊκούς παράγοντες (Bouchant et al., 2011; Grosset et al., 2008; Kellis and Unnithan, 1999; Lambert et al., 2003). Η τεχνική της ηλεκτρικής διέγερσης του μυός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της προκλητής ροπής και των συσταλών ιδιοτήτων των μυών άσχετα από το επίπεδο βουλητικής ενεργοποίησης. Προηγούμενες σχετικές έρευνες σε παιδιά έδειξαν αύξηση της προκλητής ροπής με την ανάπτυξη η οποία ήταν αναλογική της αύξησης της μυϊκής μάζας (Belanger and McComas, 1989; Davies et al., 1983) και υπέδειξε μία βελτίωση των συσταλών ιδιοτήτων και της νευρομυϊκής ικανότητας κατά την ανάπτυξη (Grosset et al., 2008) ενώ οι μικρότερες τιμές προκλητής ροπής των παιδιών αποδόθηκαν σε διαφορές στο επίπεδο ενεργοποίησης λόγω ανωριμότητας (Tammik et al., 2008).

Ο βαθμός ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων μπορεί να αξιολογηθεί με την τεχνική της παρεμβαλλόμενης διέγερσης όπου κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης ισομετρικής σύσπασης δίνεται ένα ηλεκτρικό ερέθισμα (στο μυ ή στο νεύρο) και καταγράφεται η προκλητή ροπή. Η διαφορά μεταξύ βουλητικής και προκλητής (με την παρεμβαλλόμενη διέγερση) ροπής βοηθάει στον προσδιορισμό του επιπέδου βουλητικής ενεργοποίησης των μυών. Η χρήση αυτής της τεχνικής αποκάλυψε ότι τα παιδιά μπορούν να ενεργοποιήσουν το σύνολο των κινητικών μονάδων των εκτεινόντων μυών της ποδοκνημικής (Grosset et al., 2008; Hatzikotoulas et al., 2014) αλλά όχι των καμπτήρων μυών της ποδοκνημικής (Belanger and McComas, 1989) και των μυών του γόνατος (Blimkie, 1989; Streckis et al., 2007).

Τα επίπεδα δύναμης εξαρτώνται όμως από τον αριθμό των κινητικών μονάδων που ενεργοποιούνται και από τη συχνότητα ενεργοποίησής τους. Σχετική πρόσφατη έρευνα στους εκτεινόντες του γόνατος διαπίστωσε ότι τα χαμηλότερα επίπεδα δύναμης στα παιδιά μπορούν να αποδοθούν όχι μόνο στην αδυναμία τους να ενεργοποιήσουν το σύνολο των κινητικών τους μονάδων αλλά και στη χαμηλότερη συχνότητα με την οποία τις ενεργοποιούν (Parra et al., 2020).

Έχει επίσης προταθεί ότι τα παιδιά παράγουν χαμηλότερα επίπεδα δύναμης είτε λόγω της υψηλότερης κατανομής αργών μυϊκών ινών (Lexell et al., 1992) είτε

λόγω της αδυναμίας να επιστρατεύσουν τις κινητικές μονάδες με υψηλό κατώφλι διεγερσιμότητας (Dotan et al., 2012; Pitt et al., 2015) που σύμφωνα με την αρχή του μεγέθους (Henneman et al., 1965) είναι οι γρήγορες κινητικές μονάδες (τύπου II). Για να ελεγχθεί αν ισχύει η δεύτερη υπόθεση ερευνήθηκε (Long et al., 2017; Pitt et al., 2015; Woods et al., 2020) το ηλεκτρομυογραφικό κατώφλι των παιδιών που δείχνει την έναρξη της επιταχυνόμενης επιστράτευσης των κινητικών μονάδων τύπου II (ή τύπου IIAB, IIB) (Hug et al., 2006). Διαπιστώθηκε υψηλότερο ηλεκτρομυογραφικό κατώφλι σε αγόρια και κορίτσια σε σύγκριση με τους ενήλικες επιβεβαιώνοντας την υπόθεση ότι τα παιδιά χρησιμοποιούν περισσότερο τις αργές κινητικές τους μονάδες και λιγότερο τις γρήγορες. Παρόλα αυτά δεν διευκρινίστηκε αν αυτό οφείλεται σε αδυναμία ενεργοποίησης των γρήγορων μυϊκών ινών ή στη σύνθεση των μυών των παιδιών. Έρευνα, που επεδίωξε να δώσει απάντηση σε αυτόν τον προβληματισμό, μελέτησε τη βουλευτική ενεργοποίηση των προέφηβων παιδιών σε συσπάσεις διαφορετικής έντασης (υπομέγιστες και μέγιστες). Οι ερευνητές υπέθεσαν ότι αν παρουσίαζαν αδυναμία ενεργοποίησης των γρήγορων κινητικών μονάδων θα διέφεραν στο επίπεδο ενεργοποίησης κατά τις μέγιστες συσπάσεις, υπόθεση όμως που δεν επιβεβαιώθηκε (Chalchat et al., 2019) και παραμένει ανοικτή προς διερεύνηση.

Οι διαφορές δύναμης μεταξύ παιδιών και ενηλίκων θα μπορούσαν να αποδοθούν και στο επίπεδο ενεργοποίησης των ανταγωνιστών μυών καθώς η τελική παραγόμενη ροπή είναι η διαφορά που προκύπτει αν από τη ροπή των αγωνιστών αφαιρεθεί η ροπή των ανταγωνιστών. Υψηλότερη ανταγωνιστική δραστηριότητα θα είχε ως αποτέλεσμα και χαμηλότερη παραγωγή ροπής (Kellis, 2003). Σχετικές έρευνες αναφέρουν αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Όσον αφορά τις ισομετρικές συσπάσεις, τα μικρότερα αγόρια παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ανταγωνιστικής δραστηριότητας σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα και τους ενήλικες (Lambertz et al., 2003; O'Brien et al., 2009a) κατά την έκταση του γόνατος και της ποδοκνημικής (Hatzikotoulas et al., 2014) και καμία ηλικιακή διαφορά στην ανταγωνιστική δραστηριότητα κατά την κάμψη του αγκώνα (Falk et al., 2009b, 2009a). Επίσης έχει αναφερθεί μείωση της ανταγωνιστικής δραστηριότητας κατά τις ισομετρικές εκτάσεις της ποδοκνημικής από την παιδική ηλικία έως την ενηλικίωση (Grosset et al., 2008).

Αντίθετα, σε δυναμικές προσπάθειες, όπως σε σύγκεντρες και έκκεντρες ισοκινητικές εκτάσεις και κάμψεις του γόνατος δεν διαφέρει η δραστηριότητα των

ανταγωνιστών μυών μεταξύ παιδιών και ενηλίκων, είναι μεγαλύτερη κατά τις σύγκριτες προσπάθειες σε σύγκριση με τις έκκεντρες και αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας μόνο στις σύγκριτες προσπάθειες (Bassa et al., 2005; Kellis and Unnithan, 1999). Παρόμοια αποτελέσματα διαπιστώθηκαν και για την ανταγωνιστική δραστηριότητα των μυών του αγκώνα (Falk et al., 2009b)(Falk et al., 2009b).

Συμπεραίνεται ότι όσον αφορά στον νευρομυϊκό μηχανισμό οι ηλικιακές διαφορές δύναμης δεν μπορούν να αποδοθούν στο μεγαλύτερο επίπεδο ενεργοποίησης των ανταγωνιστών μυών των παιδιών αλλά μάλλον στην αδυναμία του νευρομυϊκού συστήματός τους να ενεργοποιήσουν αποτελεσματικά και με υψηλή συχνότητα τους αγωνιστές μύες, λόγω πιθανά της μικρότερης κατανομής ή της αδυναμίας πλήρους ενεργοποίησης των γρήγορων μυϊκών ινών.

Παράγοντες που επηρεάζουν τον Ρυθμό Ανάπτυξης της Δύναμης ή Ροπής

Ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης ή ροπής (ΡΑΔ ή ΡΑΡ) αποτελεί δείκτη εκρηκτικότητας και αναφέρεται στην ικανότητα αύξησης της δύναμης ή της ροπής όσο το δυνατόν πιο εκρηκτικά. Ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης (ΡΑΔ) προκύπτει από τις καμπύλες δύναμης ή ροπής που καταγράφονται κατά τη διάρκεια μιας ταχείας σύσπασης (Aagaard et al., 2002). Ως δείκτης χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα καθώς έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο ευαίσθητος στην ανίχνευση άμεσων και χρόνιων αλλαγών σε νευρομυϊκό επίπεδο (Maffiuletti et al., 2016).

Η δυνατότητα της εκρηκτικής εφαρμογής της δύναμης είναι πολλές φορές σημαντικότερη από την ικανότητα παραγωγής υψηλών τιμών μέγιστης δύναμης καθώς αποτελεί το ζητούμενο σε διάφορα αθλήματα. Η ικανότητα των παιδιών να παράγουν εκρηκτικά δύναμη διερευνήθηκε αξιολογώντας τον ρυθμό ανάπτυξης της ροπής (ΡΑΡ) των μυών του γόνατος, του αγκώνα και της ποδοκνημικής και διαπιστώθηκε ότι τα παιδιά παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερο ΡΑΡ σε σύγκριση με τους ενήλικες (Asai and Aoki, 1996; De Ste Croix et al., 2004; Dotan et al., 2013a, 2012; Falk et al., 2009a, 2009b; Charlie M. Waugh et al., 2013). Στα κορίτσια, οι ηλικιακές διαφορές εξαφανίστηκαν όταν ο ΡΑΡ των καμπτήρων του αγκώνα εκφράστηκε ως προς την κάθετη διατομή μυός αποδεικνύοντας ότι οι ηλικιακές διαφορές οφειλόταν στις διαφορές στη μυϊκή μάζα (Falk et al., 2009a). Αντίθετα, στα αγόρια οι διαφορές στον ΡΑΡ των εκτεινόντων μυών του γόνατος παρέμειναν ακόμα και όταν εκφράστηκαν ως προς τη μέγιστη ισομετρική ροπή

ή/και τη σωματική μάζα (Σαχάς, 2019) αποδεικνύοντας ότι οι ηλικιακές διαφορές στον PAP δεν μπορούν να αποδοθούν μόνο σε διαφορές στη μέγιστη δύναμη ή στο μέγεθος σώματος.

Ο ρυθμός ανάπτυξης της ροπής επηρεάζεται και από τις μηχανικές ιδιότητες του τένοντα (Bojsen-Møller et al., 2005), όπως η σκληρότητα του μυοτενόντιου συμπλέγματος, που είναι χαμηλότερη στα παιδιά (Waugh et al. 2013) και δεν διευκολύνει τη γρήγορη μεταφορά της δύναμης από τα συστατικά στοιχεία του μυός στα οστά.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τον PAP είναι η μέγιστη ταχύτητα σύσπασης του μυός η οποία είναι μικρότερη στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες (Asai and Aoki, 1996) με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να φτάσουν τη μέγιστη τιμή ροπής. Η ταχύτητα σύσπασης επηρεάζεται από το μήκος των μυϊκών ινών (Blazevich, 2006). Τα παιδιά έχοντας κοντύτερες μυϊκές ίνες από τους ενήλικες (Morse et al., 2008) πιθανολογείται ότι έχουν και λιγότερα εν-σειρά σαρκομέρια που οδηγούν μάλλον σε χαμηλότερες ταχύτητες σύσπασης και χαμηλότερο PAP.

Επίσης ο χαμηλός PAP μπορεί να οφείλεται και στη χαμηλότερη κατανομή γρήγορων μυϊκών ινών που παρουσιάζουν ή στη χαμηλότερη και μη αποτελεσματική χρήση των γρήγορων κινητικών μονάδων από τα παιδιά (Dotan et al., 2013b) και μπορεί να ανιχνευθεί ηλεκτρομυογραφικά. Σχετική έρευνα διαπίστωσε ότι η σκληρότητα του αχίλλειου τένοντα και ο ρυθμός ανάπτυξης του ηλεκτρομυογραφήματος στα παιδιά μπορούν να προβλέψουν το 35% και 30% του PAP, αντίστοιχα (Waugh et al. 2013).

Οι ηλικιακές διαφορές στον ρυθμό ανάπτυξης της μέγιστης ισομετρικής ροπής των μυών του γόνατος διαπιστώθηκε ότι οφειλόταν στη χαμηλότερη συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων των παιδιών (Σαχάς, 2019). Στην ίδια αιτία αποδόθηκε και η διαφορά στον ρυθμό ανάπτυξης της ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος μεταξύ επίλεκτων προέφηβων ποδοσφαιριστών και απροπόνητων αγοριών, αφήνοντας ανοικτό το ενδεχόμενο αναστροφής της αδυναμίας των αγοριών, ήδη από την προεφηβεία, να εφαρμόζουν εκρηκτικά τη ροπή μετά από εξειδικευμένα προπονητικά ερεθίσματα (Φορόπουλος, 2019).

Έρευνα σε προέφηβους αθλητές ενόργανης γυμναστικής κατέληξε ότι οι εκρηκτικές κινήσεις που εμπεριέχονται στην εξειδικευμένη προπόνηση της ενόργανης γυμναστικής ευθύνονται πιθανά για τον υψηλό ρυθμό ανάπτυξης της ροπής των

παιδιών που άγγιζε τις τιμές ενηλίκων γυμναστών (Dotan et al., 2013b; Mitchell et al., 2011). Επιπρόσθετα, εκρηκτική προπόνηση διάρκειας 10 μηνών σε προέφηβους αθλητές ενόργανης γυμναστικής είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του PAP (Kochanowicz et al., 2019) επιβεβαιώνοντας τη θετική επίδραση της εκρηκτικής προπόνησης στον PAP ακόμα και σε προέφηβους αθλητές που η προπόνησή τους εμπεριέχει ήδη εκρηκτικές κινήσεις.

Όσον αφορά στην ωρίμανση, διαπιστώθηκε ότι βελτιώνει όχι μόνο τη μέγιστη δύναμη αλλά και την ικανότητα των παιδιών να παράγουν «εκρηκτικά» δύναμη. Τα πιο ώριμα παιδιά παρουσιάζουν υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης η οποία βρέθηκε να συσχετίζεται υψηλά με τις επιδόσεις τους σε εκρηκτικές κινήσεις όπως το κατακόρυφο άλμα (Dobbs et al., 2020).

Φαίνεται λοιπόν ότι τόσο μηχανικοί όσο και νευρομυϊκοί παράγοντες ευθύνονται για τον χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης/ροπής των παιδιών σε σύγκριση με τους ενήλικες και περιορίζουν την απόδοσή τους σε εκρηκτικές κινήσεις, αδυναμία που φαίνεται να είναι αναστρέψιμη όταν υιοθετείται εκρηκτικού τύπου προπόνηση.

Σύνοψη

Η δύναμη αυξάνεται προοδευτικά κατά την αναπτυξιακή περίοδο με εντονότερη για τα αγόρια βελτίωση μετά την είσοδο στην εφηβεία. Συσχετίζεται υψηλότερα με το επίπεδο ωρίμανσης και λιγότερο με τη χρονολογική ηλικία. Η αυξανόμενη ικανότητα παραγωγής δύναμης των παιδιών με την ωρίμανση επηρεάζεται από τη μυϊκή μάζα που αυξάνεται υπό την δράση των ορμονών. Οι αλλαγές στο μέγεθος σώματος μπορούν να εξηγήσουν μόνο ένα μέρος των αυξήσεων της δύναμης κατά την παιδική και εφηβική ηλικία. Οι ηλικιακές διαφορές δύναμης και ισχύος αποδίδονται σε μορφολογικούς παράγοντες όπως διαφορές στη φυσιολογική κάθετη διατομή των μυών, στον μοχλοβραχίονα της δύναμης και στην αρχιτεκτονική των μυών. Ωστόσο φαίνεται ότι ευθύνονται και νευρομυϊκοί παράγοντες όπως η αδυναμία των παιδιών να ενεργοποιήσουν αποτελεσματικά και με υψηλή συχνότητα τους αγωνιστές μύες λόγω πιθανά της χαμηλότερης κατανομής ή της μη πλήρους ενεργοποίησης των γρήγορων κινητικών τους μονάδων.

Βιβλιογραφία

- Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P., 2002. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J. Appl. Physiol.* 93, 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
- Almeida-Neto, P.F. de, de Matos, D.G., Pinto, V.C.M., Dantas, P.M.S., Cesário, T. de M., da Silva, L.F., Bulhões-Correia, A., Aidar, F.J., Cabral, B.G. de A.T., 2020. Can the Neuromuscular Performance of Young Athletes Be Influenced by Hormone Levels and Different Stages of Puberty? *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 5637. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165637>
- Asai, H., Aoki, J., 1996. Force development of dynamic and static contractions in children and adults. *Int. J. Sports Med.* 17, 170–174. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972827>
- Asmussen, E., 1973. Growth in muscular strength and power, in: Rarick, G.L. (Ed.), *Physical Activity; Human Growth and Development*. Academic Press, New York, pp. 60–79.
- Asmussen, E., Heeboll-Nielsen, K., 1956. Physical performance and growth in children; influence of sex, age and intelligence. *J. Appl. Physiol.* 8, 371–380. <https://doi.org/10.1152/jappl.1956.8.4.371>
- Asmussen, E., Heeboll-Nielsen, K., 1955. A dimensional analysis of physical performance and growth in boys. *J. Appl. Physiol.* 7, 593–603. <https://doi.org/10.1152/jappl.1955.7.6.593>
- Bamman, M.M., Newcomer, B.R., Larson-Meyer, D.E., Weinsier, R.L., Hunter, G.R., 2000. Evaluation of the strength-size relationship in vivo using various muscle size indices. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32, 1307–1313. <https://doi.org/10.1097/00005768-200007000-00019>
- Bassa, E., Kotzamanidis, C., Patikas, D., Paraschos, I., 2001. The effect of age on isokinetic concentric and eccentric moment of knee extensors. *Isokinet. Exerc. Sci.* 9, 155–161. <https://doi.org/10.3233/ies-2001-0079>
- Bassa, E., Patikas, D., Hatzikotoulas, K., Kotzamanidis, C., 2013. Commentary on “Child-adult differences in muscle activation - A review.” *Pediatr. Exerc. Sci.* <https://doi.org/10.1123/pes.25.3.332>
- Bassa, E., Patikas, D., Kotzamanidis, C., 2005. Activation of antagonist knee

- muscles during isokinetic efforts in prepubertal and adult males. *Pediatr. Exerc. Sci.* 17. <https://doi.org/10.1123/pes.17.2.171>
- Belanger, A.Y., McComas, A.J., 1989. Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 58, 563–567. <https://doi.org/10.1007/BF00418500>
- Binzoni, T., Bianchi, S., Hanquinet, S., Kaelin, A., Sayegh, Y., Dumont, M., Jéquier, S., 2001. Human gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: From newborn to the elderly. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.* 20, 293–298. <https://doi.org/10.2114/jpa.20.293>
- Blazevich, A.J., 2006. Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sport. Med.* <https://doi.org/10.2165/00007256-200636120-00002>
- Blimkie, C.J.R., 1989. Age and sex associated variation in strength during childhood: Anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, and physical activity correlates. In C.V. Gisolfi, & Lamb. D.R, (Eds.). *Perspectives in exercise science and sports medicine*. Indianapolis: Benchmark (pp. 99-163)., in: Gisolfi, C.V., Lamb. D.R (Eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*. Benchmark , Indianapolis, pp. 99–163.
- Bojsen-Møller, J., Magnusson, S.P., Rasmussen, L.R., Kjaer, M., Aagaard, P., 2005. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J. Appl. Physiol.* 99, 986–994. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01305.2004>
- Bouchant, A., Martin, V., Maffiuletti, N.A., Ratel, S., 2011. Viewpoint: Can muscle size fully account for strength differences between children and adults? *J. Appl. Physiol.* <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01333.2010>
- Butler, D.L., Grood, E.S., Noyes, F.R., Zernicke, R.F., 1978. Biomechanics of ligaments and tendons. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 6, 125–181. <https://doi.org/10.1249/00003677-197800060-00005>
- Butler, R.J., Crowell, H.P., Davis, I.M., 2003. Lower extremity stiffness: Implications for performance and injury. *Clin. Biomech.* 18, 511–517. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(03\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(03)00071-8)
- Camic, C.L., Housh, T.J., Weir, J.P., Zuniga, J.M., Hendrix, C.R., Mielke, M.,

- Johnson, G.O., Housh, D.J., Schmidt, R.J., 2010. Influences of body-size variables on age-related increases in isokinetic peak torque in young wrestlers. *J. Strength Cond. Res.* 24, 2358–2365. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aff2a2>
- Caramia, M.D., Desiato, M.T., Cicinelli, P., Iani, C., Rossini, P.M., 1993. Latency jump of “relaxed” versus “contracted” motor evoked potentials as a marker of cortico-spinal maturation. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Evoked Potentials* 89, 61–66. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(93\)90086-5](https://doi.org/10.1016/0168-5597(93)90086-5)
- Carron, A., Bailey, D., 1974. Strength development in boys from 10 through 16 years - PubMed [WWW Document]. URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4377166/> (accessed 8.28.20).
- Carvalho, H.M., Coelho-E-Silva, M., Valente-Dos-Santos, J., Gonçalves, R.S., Philippaerts, R., Malina, R., 2012. Scaling lower-limb isokinetic strength for biological maturation and body size in adolescent basketball players. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112, 2881–2889. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2259-7>
- Catley, M.J., Tomkinson, G.R., 2013. Normative health-related fitness values for children: Analysis of 85347 test results on 9-17-year-old Australians since 1985. *Br. J. Sports Med.* 47, 98–108. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090218>
- Chalchat, E., Piponnier, E., Bontemps, B., Julian, V., Boccock, O., Duclos, M., Ratel, S., Martin, V., 2019. Characteristics of motor unit recruitment in boys and men at maximal and submaximal force levels. *Exp. Brain Res.* 237, 1289–1302. <https://doi.org/10.1007/s00221-019-05508-z>
- Charcharis, G., Mersmann, F., Bohm, S., Arampatzis, A., 2019. Morphological and Mechanical Properties of the Quadriceps Femoris Muscle-Tendon Unit From Adolescence to Adulthood: Effects of Age and Athletic Training. *Front. Physiol.* 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01082>
- Close, R.I., 1972. The relations between sarcomere length and characteristics of isometric twitch contractions of frog sartorius muscle. *J. Physiol.* 220, 745–762. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1972.sp009733>
- Cordingley, D.M., Sirant, L., MacDonald, P.B., Leiter, J.R., 2019. Three-Year Longitudinal Fitness Tracking in Top-Level Competitive Youth Ice Hockey

- Players. *J. strength Cond. Res.* 33, 2909–2912. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003379>
- Davies, C.T.M., White, M.J., Young, K., 1983. Muscle function in children. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 52, 111–114. <https://doi.org/10.1007/BF00429036>
- de Almeida-Neto, P.F., Dantas, P.M.S., Pinto, V.C.M., Cesário, T. de M., Campos, N.M.R., Santana, E.E., de Matos, D.G., Aidar, F.J., Cabral, B.G. de A.T., 2020. Biological maturation and hormonal markers, relationship to neuromotor performance in female children. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093277>
- De Ste Croix, M.B.A., Armstrong, N., Welsman, J.R., Sharpe, P., 2002. Longitudinal changes in isokinetic leg strength in 10-14-year-olds. *Ann. Hum. Biol.* 29, 50–62. <https://doi.org/10.1080/03014460110057981>
- De Ste Croix, M.B.A., Deighan, M.A., Armstrong, N., 2004. Time to peak torque for knee and elbow extensors and flexors in children, teenagers and adults. *Isokinet. Exerc. Sci.* 12, 143–148. <https://doi.org/10.3233/ies-2004-0166>
- Dobbs, I.J., Oliver, J.L., Wong, M.A., Moore, I.S., Lloyd, R.S., 2020. Movement competency and measures of isometric and dynamic strength and power in boys of different maturity status. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* <https://doi.org/10.1111/sms.13773>
- Dotan, R., Mitchell, C., Cohen, R., Gabriel, D., Klentrou, P., Falk, B., 2013a. Child-adult differences in the kinetics of torque development. *J. Sports Sci.* 31, 945–953. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.757343>
- Dotan, R., Mitchell, C., Cohen, R., Klentrou, P., Gabriel, D., Falk, B., 2012. Child-adult differences in muscle activation - A review. *Pediatr. Exerc. Sci.* <https://doi.org/10.1123/pes.24.1.2>
- Dotan, R., Mitchell, C.J., Cohen, R., Gabriel, D., Klentrou, P., Falk, B., 2013b. Explosive sport training and torque kinetics in children. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 38, 740–745. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0330>
- Falk, B., Brunton, L., Dotan, R., Usselman, C., Klentrou, P., Gabriel, D., 2009a. Muscle strength and contractile kinetics of isometric elbow flexion in girls and women. *Pediatr. Exerc. Sci.* 21, 354–364. <https://doi.org/10.1123/pes.21.3.354>

- Falk, B., Usselman, C., Dotan, R., Brunton, L., Klentrou, P., Shaw, J., Gabriel, D., 2009b. Child-adult differences in muscle strength and activation pattern during isometric elbow flexion and extension. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 34, 609–615. <https://doi.org/10.1139/H09-020>
- Faust, M., 1977. Somatic development of adolescent girls - PubMed [WWW Document]. *Monogr Soc Res Child Dev.* URL <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/331089/> (accessed 8.28.20).
- Florini, J.R., 1987. Hormonal control of muscle growth. *Muscle Nerve.* <https://doi.org/10.1002/mus.880100702>
- Forbes, H., Bullers, A., Lovell, A., McNaughton, L.R., Polman, R.C., Siegler, J.C., 2009. Relative torque profiles of elite male youth footballers: Effects of age and pubertal development. *Int. J. Sports Med.* 30, 592–597. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1202817>
- Fukunaga, T., Roy, R.R., Shellock, F.G., Hodgson, J.A., Edgerton, V.R., 1996. Specific tension of human plantar flexors and dorsiflexors. *J. Appl. Physiol.* 80, 158–165. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.1.158>
- Fukunaga, Y., Takai, Y., Yoshimoto, T., Fujita, E., Yamamoto, M., Kanehisa, H., 2014. Effect of maturation on muscle quality of the lower limb muscles in adolescent boys. *J. Physiol. Anthropol.* 33. <https://doi.org/10.1186/1880-6805-33-30>
- Geneva, I.E., Krasteva, M.B., Kostianev, S.S., 2002. Age-related changes of the somatosensory evoked potentials in healthy children. *Folia Med. (Plovdiv).* 44, 13–18.
- Gerodimos, V., Karatrantou, K., Dipla, K., Zafeiridis, A., Tsiakaras, N., Sotiriadis, S., 2013. Age-related differences in peak handgrip strength between wrestlers and nonathletes during the developmental years. *J. Strength Cond. Res.* 27, 616–623. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318257812e>
- Gillen, Z.M., Shoemaker, M.E., McKay, B.D., Bohannon, N.A., Gibson, S.M., Cramer, J.T., 2019. Muscle strength, size, and neuromuscular function before and during adolescence. *Eur. J. Appl. Physiol.* 119, 1619–1632. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04151-4>
- Goto, H., Morris, J.G., Nevill, M.E., 2019. Influence of Biological Maturity on the Match Performance of 8- to 16-Year-Old, Elite, Male, Youth Soccer

- Players. *J. strength Cond. Res.* 33, 3078–3084. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002510>
- Grosset, J.F., Mora, I., Lambertz, D., Pérot, C., 2008. Voluntary activation of the triceps surae in prepubertal children. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 18, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.11.002>
- Hatzikotoulas, K., Patikas, D., Ratel, S., Bassa, E., Kotzamanidis, C., 2014. Central and peripheral fatigability in boys and men during maximal contraction. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000239>
- Henneman, E., Somjen, G., Carpenter, D.O., 1965. FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF CELL SIZE IN SPINAL MOTONEURONS. *J. Neurophysiol.* 28, 560–580. <https://doi.org/10.1152/jn.1965.28.3.560>
- Holm, I., Steen, H., Olstad, M., 2005. Isokinetic muscle performance in growing boys from pre-teen to maturity. An eleven-year longitudinal study. *Isokinet. Exerc. Sci.* 13, 153–158. <https://doi.org/10.3233/ies-2005-0194>
- Housh, T., Stout, J., Weir, J., Weir, L., Housh, D., Johnson, G., 1995. The Covariate Influence of Muscle Mass on Isokinetic Peak Torque in High School Wrestlers in: Volume 7 Issue 2 (1995). *Pediatr. Exerc. Sci.* 7, 256–261.
- Housh, T.J., Johnson, G.O., Housh, D.J., Stout, J.R., Weir, J.P., Weir, L.L., Eckerson, J.M., 1996. Isokinetic peak torque in young wrestlers. *Pediatr. Exerc. Sci.* 8, 143–155. <https://doi.org/10.1123/pes.8.2.143>
- Hug, F., Laplaud, D., Lucia, A., Grelot, L., 2006. EMG threshold determination in eight lower limb muscles during cycling exercise: A pilot study. *Int. J. Sports Med.* 27, 456–462. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865787>
- Kanehisa, H., Abe, T., Fukunaga, T., 2003. Growth trends of dynamic strength in adolescent boys: A 2-year follow-up survey. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 43, 459–464.
- Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., Fukunaga, T., 1995a. Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle: Groups in the upper arm and thigh during adolescence. *Int. J. Sports Med.* 16, 54–60. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972964>

- Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., Fukunaga, T., 1994. Cross-sectional areas of fat and muscle in limbs during growth and middle age. *Int. J. Sports Med.* 15, 420–425. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021081>
- Kanehisa, H., Kuno, S., Katsuta, S., Fukunaga, T., 2006. A 2-year follow-up study on muscle size and dynamic strength in teenage tennis players. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* 16, 93–101. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00470.x>
- Kanehisa, H., Okuyama, H., Ikegawa, S., Fukunaga, T., 1995b. Fatigability during repetitive maximal knee extensions in 14-year-old boys. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 72, 170–174. <https://doi.org/10.1007/BF00964133>
- Kellis, E., 2003. Antagonist moment of force during maximal knee extension in pubertal boys: Effects of quadriceps fatigue. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89, 271–280. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0795-5>
- Kellis, E., Mademli, L., Patikas, D., Kofotolis, N., 2014. Neuromuscular interactions around the knee in children, adults and elderly. *World J. Orthop.* 5, 469–485. <https://doi.org/10.5312/wjo.v5.i4.469>
- Kellis, E., Unnithan, V.B., 1999. Co-activation of vastus lateralis and biceps femoris muscles in pubertal children and adults. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 79, 504–511. <https://doi.org/10.1007/s004210050545>
- Kochanowicz, A., Niespodziński, B., Mieszkowski, J., Sawczyn, S., Cieszczyk, P., Kochanowicz, K., 2019. Neuromuscular and torque kinetic changes after 10 months of explosive sport training in prepubertal gymnasts. *Pediatr. Exerc. Sci.* 31, 77–84. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0034>
- Koh, T.H.H.G., Eyre, J.A., 1988. Maturation of corticospinal tracts assessed by electromagnetic stimulation of the motor cortex. *Arch. Dis. Child.* 63, 1347–1352. <https://doi.org/10.1136/adc.63.11.1347>
- Kubo, K., Teshima, T., Hirose, N., Tsunoda, N., 2014a. Growth changes in morphological and mechanical properties of human patellar tendon in vivo. *J. Appl. Biomech.* 30, 415–422. <https://doi.org/10.1123/jab.2013-0220>
- Kubo, K., Teshima, T., Hirose, N., Tsunoda, N., 2014b. A cross-sectional study of the plantar flexor muscle and tendon during growth. *Int. J. Sports Med.* 35, 828–834. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1367011>
- Kubo, Keitaro, Teshima, T., Ikebukuro, T., Hirose, N., Tsunoda, N., 2014. Tendon properties and muscle architecture for knee extensors and plantar

- flexors in boys and men. *Clin. Biomech.* 29, 506–511. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.04.001>
- Lambertz, D., Mora, I., Grosset, J.F., Pérot, C., 2003. Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *J. Appl. Physiol.* 95, 64–72. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00885.2002>
- Lexell, J., Sjöström, M., Nordlund, A. -S, Taylor, C.C., 1992. Growth and development of human muscle: A quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve* 15, 404–409. <https://doi.org/10.1002/mus.880150323>
- Lieber, R.L., Fridén, J., 2000. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle and Nerve.* [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200011\)23:11<1647::AID-MUS1>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::AID-MUS1>3.0.CO;2-M)
- Lloyd, R.S., Faigenbaum, A.D., Stone, M.H., Oliver, J.L., Jeffreys, I., Moody, J.A., Brewer, C., Pierce, K.C., McCambridge, T.M., Howard, R., Herrington, L., Hainline, B., Micheli, L.J., Jaques, R., Kraemer, W.J., McBride, M.G., Best, T.M., Chu, D.A., Alvar, B.A., Myer, G.D., 2014. Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus. *Br. J. Sports Med.* 48, 498–505. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092952>
- Long, D., Dotan, R., Pitt, B., McKinlay, B., O'Brien, T.D., Tokuno, C., Falk, B., 2017. The electromyographic threshold in girls and women. *Pediatr. Exerc. Sci.* 29, 84–93. <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0056>
- MacDougall, J.D., Jones, N.L., McCartney, N., McComas, A.J., 1986. Morphological changes in human skeletal muscle following strength training and immobilization, in: Jones N., M.N.& M.A.. (Ed.), *Human Muscle Power*. Champaign, pp. 269–288.
- Maffiuletti, N.A., Aagaard, P., Blazevich, A.J., Folland, J., Tillin, N., Duchateau, J., 2016. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur. J. Appl. Physiol.* <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
- Malina, R.M., 1986. Growth of Muscle Tissue and Muscle Mass, in: Falkner, F., Tanner, J.M. (Eds.), *Human Growth. A Comprehensive Treatise Vol.2*,

- Postnatal Growth Neurobiology. Springer US, New York, pp. 77–99. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0522-2_4
- Malina, R.M., Bouchard, C., Bar-Or, O., 2004. Growth, Maturation, and Physical Activity. Champaign, IL: Human Kinetics,.
- Malina, R.M., Rogol, A.D., Cumming, S.P., Coelho E Silva, M.J., Figueiredo, A.J., 2015. Biological maturation of youth athletes: Assessment and implications. *Br. J. Sports Med.* 49, 852–859. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094623>
- Medeiros, R.M., Arrais, R.F., Azevedo, J.C., De Andrade, R.D., Pinto, V.C., Ronque, E.R., Dantas, P.M., 2018. Prediction of pubertal maturation from anthropometric variables: Proposal for a non-invasive method. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 58, 638–643. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06564-1>
- Mirwald, R.L., G. Baxter-Jones, Adam D., Bailey, D.A., Beunen, G.P., 2002. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med. Sci. Sport. Exerc.* 34, 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Mitchell, C., Cohen, R., Dotan, R., Gabriel, D., Klentrou, P., Falk, B., 2011. Rate of muscle activation in power and endurance-trained boys. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 6, 94–105. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.94>
- Mogi, Y., Torii, S., Kawakami, Y., Yanai, T., 2018. A cross-sectional study on the mechanical properties of the Achilles tendon with growth. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118, 185–194. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3760-4>
- Morris, R.O., Jones, B., Myers, T., Lake, J., Emmonds, S., Clarke, N.D., Singleton, D., Ellis, M., Till, K., 2018. Isometric Midhigh Pull Characteristics in Elite Youth Male Soccer Players Comparisons by Age and Maturity Offset. *J. Strength Cond. Res. Online ahe.* <https://doi.org/doi:10.1519/JSC.0000000000002673>
- Morse, C.I., Tolfrey, K., Thom, J.M., Vassilopoulos, V., Maganaris, C.N., Narici, M. V., 2008. Gastrocnemius muscle specific force in boys and men. *J. Appl. Physiol.* 104, 469–474. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00697.2007>
- Müller, K., Hömberg, V., Lenard, H.G., 1991. Magnetic stimulation of motor cortex and nerve roots in children. Maturation of cortico-motoneuronal

- projections. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Evoked Potentials* 81, 63–70. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(91\)90105-7](https://doi.org/10.1016/0168-5597(91)90105-7)
- O'Brien, T., Reeves, N., Baltzopoulos, V., Jones, D., Maganaris, C., 2010. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. *Exp. Physiol.* 95, 202–210. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.048967>
- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., Maganaris, C.N., 2009a. The effects of agonist and antagonist muscle activation on the knee extension moment-angle relationship in adults and children. *Eur. J. Appl. Physiol.* 106, 849–856. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1088-4>
- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., Maganaris, C.N., 2009b. Moment arms of the knee extensor mechanism in children and adults. *J. Anat.* 215, 198–205. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2009.01088.x>
- Parker, D.F., Round, J.M., Sacco, P., Jones, D.A., 1990. A Cross-sectional survey of upper and lower limb strength in boys and girls during childhood and adolescence. *Ann. Hum. Biol.* 17, 199–211. <https://doi.org/10.1080/03014469000000962>
- Parra, M.E., Miller, J.D., Sterczala, A.J., Trevino, M.A., Dimmick, H.L., Herda, T.J., 2020. Differences in the firing rate versus recruitment threshold relationships of the vastus lateralis in children ages 7–10 years and adults. *Hum. Mov. Sci.* 72. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102650>
- Pitcher, C.A., Elliott, C.M., Williams, S.A., Licari, M.K., Kuenzel, A., Shipman, P.J., Valentine, J.P., Reid, S.L., 2012. Childhood muscle morphology and strength: Alterations over six months of growth. *Muscle and Nerve* 46, 360–366. <https://doi.org/10.1002/mus.23326>
- Pitt, B., Dotan, R., Millar, J., Long, D., Tokuno, C., O'Brien, T., Falk, B., 2015. The electromyographic threshold in boys and men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 115, 1273–1281. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3100-5>
- Pratt, M., 1989. Strength, flexibility, and maturity in adolescent athletes. *Am J Dis Child* 143, 560–3.
- Preece, M.A., 1986. Prepubertal and Pubertal Endocrinology, in: In F. Falkner & J.M. Tanner (Ed.), *Postnatal Growth Neurobiology*. Plenum Press, New York, pp. 211–224. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0522-2_9
- Radnor, J.M., Oliver, J.L., Waugh, C.M., Myer, G.D., Lloyd, R.S., 2020. The

- influence of maturity status on muscle architecture in school-aged boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 32, 89–96. <https://doi.org/10.1123/pes.2019-0201>
- Round, J.M., Jones, D.A., Honour, J.W., Nevill, A.M., 1999. Hormonal factors in the development of differences in strength between boys and girls during adolescence: A longitudinal study. *Ann. Hum. Biol.* 26, 49–62. <https://doi.org/10.1080/030144699282976>
- Seger, J.Y., Thorstensson, A., 2000. Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 81, 54–61. <https://doi.org/10.1007/PL00013797>
- Smits-Engelsman, B.C.M., Westenberg, Y., Duysens, J., 2003. Development of isometric force and force control in children. *Cogn. Brain Res.* 17, 68–74. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(03\)00081-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(03)00081-8)
- Streckis, V., Skurvydas, A., Ratkevicius, A., 2007. Children are more susceptible to central fatigue than adults. *Muscle and Nerve* 36, 357–363. <https://doi.org/10.1002/mus.20816>
- Tammik, K., Matlep, M., Erelina, J., Gapeyeva, H., Pääsuke, M., 2008. Quadriceps femoris muscle voluntary force and relaxation capacity in children with spastic diplegic cerebral palsy. *Pediatr. Exerc. Sci.* 20, 18–28. <https://doi.org/10.1123/pes.20.1.18>
- Tanner, J., 1962. Growth at adolescence with a general consideration of the effects of hereditary and environmental factors upon growth and maturation from birth to maturity., 2d ed. ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Tonson, A., Ratel, S., Fur, Y. Le, Cozzone, P., Bendahan, D., 2008. Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40, 918–925. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181641bed>
- Tsaopoulos, D.E., Maganaris, C.N., Baltzopoulos, V., 2007. Can the patellar tendon moment arm be predicted from anthropometric measurements? *J. Biomech.* 40, 645–651. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.01.022>
- Waugh, Charlie M., Korff, T., Fath, F., Blazeovich, A.J., 2013. Rapid force production in children and adults: Mechanical and neural contributions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45, 762–771. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827a67ba>
- Waugh, C.M., Korff, T., Fath, F., Blazeovich, A.J., 2013. Rapid force production in

- children and adults: Mechanical and neural contributions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45, 762–771. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827a67ba>
- Wood, L.E., Dixon, S., Grant, C., Armstrong, N., 2004. Elbow flexion and extension strength relative to body or muscle size in children. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36, 1977–1984. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000145453.02598.7E>
- Woods, S., Dotan, R., Jenicek, N., Falk, B., 2020. Isometric-based EMG threshold in girls and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 120, 907–914. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04331-7>
- Μπάσσα, Ε., 2015. Εισαγωγή στη δύναμη., in: Κοτζαμανίδης, Χ. (Ed.), Σημειώσεις Για Το Μάθημα «Προπονητική Αναπτυξιακών Ηλικιών». Τ.Ε.Φ.Α.Α., Α.Π.Θ.
- Μπάσσα, Ε., Μιχαηλίδης, Χ., Παράσχος, Η., Πατίκας, Δ., Κοτζαμανίδης, Χ., 2003. Ανάπτυξη της δύναμης στην παιδική ηλικία. *Φυσική Αγωγή και Αθλητισμός* 50, 7–21.
- Σαχάς, Α., 2019. Σύγκριση του ρυθμού ανάπτυξης της ροπής μεταξύ αεροπονητών ενηλίκων και παιδιών.
- Φορόπουλος, Α., 2019. Η επίδραση της άσκησης στον ρυθμό ανάπτυξης της ροπής σε προέφηβα αγόρια. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Φυσιολογικοί μηχανισμοί της κόπωσης στην παιδική ηλικία²

Δημήτριος Α. Πατίκας & Ανθή Ξενοφώντος

Περίληψη

Το πεδίο της κόπωσης αποτελεί ένα αντικείμενο μελέτης ιδιαίτερα περίπλοκο αφού επηρεάζεται από μια σειρά εξωτερικών και εσωτερικών παραγόντων. Η ηλικία είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την κόπωση του ανθρώπινου οργανισμού. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα επιστημονικά ευρήματα που διαφοροποιούν τα παιδιά από τους ενήλικες και μπορεί να παίζουν σημαντικό ρόλο στο πόσο εύκολα κουράζεται και αποκαθίσταται ένα παιδί μετά από άσκηση. Μετά από μελέτη της βιβλιογραφίας, φαίνεται πως τα παιδιά βασίζονται περισσότερο στον αερόβιο μεταβολισμό για παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τους ενήλικες. Αυτή η διαφοροποίηση έχει ως αποτέλεσμα να καθιστά τα παιδιά ικανά να εκτελούν δραστηριότητες με μεγαλύτερη αντοχή στην κόπωση απ' ό,τι οι ενήλικες. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα όταν η ένταση της άσκησης είναι υψηλή, αφού τότε χρησιμοποιούν κυρίως αερόβιους μηχανισμούς για παραγωγή ενέργειας, σε αντίθεση με τους ενήλικες που στηρίζονται και σε αναερόβιες διαδικασίες. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι σε ορισμένες κινήσεις ή για ορισμένες μυϊκές ομάδες τα παιδιά δεν είναι σε θέση να ενεργοποιήσουν πλήρως τους μυς τους. Αντίθετα, σε άσκηση χαμηλής έντασης αυτό το πλεονέκτημα φθίνει δεδομένου ότι και οι δυο ηλικιακές ομάδες χρησιμοποιούν κυρίως αερόβιους μηχανισμούς για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα τα παιδιά να κουράζονται στον ίδιο βαθμό με τους ενήλικες. Κατά την αποκατάσταση τα ερευνητικά δεδομένα καταδεικνύουν ότι τα παιδιά αποκαθίστανται γρηγορότερα σε σχέση με τους ενήλικες και επομένως συνίσταται η χρήση μικρότερων διαλειμμάτων.

2. Το περιεχόμενο αυτού του κεφαλαίου αποτελεί ενημερωμένη και εμπλουτισμένη έκδοση κειμένου που έχει δοθεί στο παρελθόν στους/ις φοιτητές/τριες του ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ, υπό μορφή σημειώσεων.

Η κόπωση στην παιδική ηλικία είναι ένα αντικείμενο που κερδίζει όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της συχνότερης και εντονότερης ενασχόλησης των παιδιών με τον αθλητισμό για την προαγωγή της υγείας τους μέσω της συμμετοχής τους σε διάφορα αθλήματα, όπως επίσης και λόγω των εξελίξεων στον τομέα της έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, αν και η μελέτη για την κόπωση στους ενήλικες είναι εδώ και περισσότερο από έναν αιώνα στο προσκήνιο της έρευνας, οι μελέτες που αφορούσαν τα παιδιά ήταν σπάνιες, με εξαίρεση τα τελευταία περίπου 20 χρόνια, κατά τα οποία έχουν δημοσιευθεί ορισμένες εργασίες που έχουν κάνει σημαντικά βήματα ως προς τη περιγραφή του πώς, πόσο και γιατί κουράζεται ένα παιδί όταν ασκείται (Patikas et al., 2018).

Ορισμός

Η έννοια της κόπωσης έχει πολλές πτυχές, που δύναται να έχουν αντίκτυπο τόσο σε σωματικές λειτουργίες, όσο και στην ψυχολογία, την προσοχή, τη μνήμη και αλλού. Σε αυτό το κεφάλαιο, με τον όρο «κόπωση» αναφερόμαστε σε λειτουργίες του νευρικού και μυϊκού συστήματος που σχετίζονται με τη μειωμένη μυϊκή απόδοση και την αντικειμενική ή υποκειμενική δυσκολία να εκτελεστεί μια κίνηση (Boyas and Guével, 2011). Σύμφωνα με τον κλασικό ορισμό της κόπωσης, ως κόπωση ορίζεται η αδυναμία ενός μυός ή μιας μυϊκής ομάδας να διατηρεί το επιθυμητό επίπεδο δύναμης ή ισχύος (Edwards, 1983), και στα πλαίσια αυτά θα κινηθούμε και στο παρόν κεφάλαιο περιγράφοντας την κόπωση στην παιδική ηλικία.

Υπάρχει ένα πλήθος ερευνών, σύμφωνα με το οποίο έχει διαπιστωθεί ότι φαινόμενα κόπωσης μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορες περιοχές του νευρομυϊκού συστήματος που συμμετέχουν στη δημιουργία μιας κίνησης. Ωστόσο, παρά τον μεγάλο όγκο ερευνών που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την κόπωση, το φαινόμενο αυτό δεν είναι επαρκώς μελετημένο λόγω της πολυπλοκότητάς του. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μια σειρά μηχανισμών που συμβάλλουν στην εμφάνιση της κόπωσης, οι οποίοι μπορεί να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και να επηρεάζονται από μια σειρά εξωτερικών (π.χ. τύπος επιβάρυνσης) ή εσωτερικών (π.χ. τύπος μυϊκής ίνας) παραγόντων. Για χάρη ανάδειξης αυτής της σύνθετης διαδικασίας, ορισμένοι από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την εμφάνιση της κόπωσης είναι οι παρακάτω:

- Η ηλικία (Kent-Braun and Ng, 1999)

- Το φύλο (Hatzikotoulas et al., 2004)
- Η ένταση, η διάρκεια και ο τύπος της σύσπασης (Fuglevand et al., 1993)
- Το εύρος της εκτελούμενης κίνησης (Kellis, 1999)
- Ο τύπος του μυός / μυϊκής ίνας (Löscher et al., 1994)
- Η παρακίνηση (Bigland-Ritchie et al., 1978)
- Η ανατροφοδότηση (Bigland-Ritchie et al., 1978)

Τοπογραφία κόπωσης

Όπως προαναφέρθηκε η κόπωση μπορεί να εντοπιστεί σε διάφορα σημεία του νευρομυϊκού συστήματος. Οι περιοχές στις οποίες εμφανίζονται συμπτώματα κόπωσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες που αφορούν: α) την κεντρική κόπωση και β) την περιφερική κόπωση (Bigland-Ritchie et al., 1978). Η κεντρική ή νευρογενής κόπωση προκαλείται από μεταβολές που παρατηρούνται στο νευρικό σύστημα, ενώ η περιφερική εμφανίζεται σε επίπεδο μυός (Kent-Braun, 1997). Καθαρά τοπογραφικά, η περιφερική και κεντρική κόπωση διαχωρίζεται στη νευρομυϊκή σύναψη με την τελευταία να ανήκει στην περιφερική κόπωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο παραπάνω διαχωρισμός δεν αποκλείει την ταυτόχρονη ύπαρξη κεντρικής και περιφερικής κόπωσης. Αντιθέτως, επειδή το σύστημα είναι σύνθετο, δε θεωρείται ακριβής η αναφορά σε κεντρική ή περιφερική κόπωση, αλλά σε κεντρικούς και περιφερικούς μηχανισμούς ή παράγοντες κόπωσης, αφού νευρικό και μυϊκό σύστημα βρίσκονται υπό συνεχή αλληλεπίδραση και δε δρουν σχεδόν ποτέ τοπικά (απομονωμένα χωρικά) (Enoka and Duchateau, 2016).

Ειδικότερα οι μηχανισμοί της κόπωσης που εντοπίζονται στο νευρικό σύστημα περιλαμβάνουν:

1. Τη διεγερσιμότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος, που περιλαμβάνει τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυαλό και πιο ειδικά, κινητικά κέντρα από το επίπεδο του κινητικού φλοιού έως τους κινητικούς πυρήνες του νωτιαίου μυελού. Αφορά ουσιαστικά το πόσο εύκολα διεγείρονται οι πρωτοταγείς και ενδιάμεσοι νευρώνες που συμμετέχουν στην κίνηση. Συγκεκριμένα, όταν το κατώφλι διέγερσης είναι υψηλότερο, τότε ο νευρώνας χρειάζεται περισσότερες ώσεις για να διεγερθεί.
2. Την κεντρομόλο οδό, που αφορά στην προώθηση και μετάδοση των εντολών, σε μορφή δυναμικών ενέργειας, από το περιφερικό νευρικό σύστημα προς τους

κινητικούς νευρώνες. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να προέρχονται από αισθητήρια όργανα που βρίσκονται στους μυς, τένοντες και συνδέσμους.

3. Τους α-κινητικούς νευρώνες, που είναι εκείνα τα νευρικά κύτταρα που στέλνουν εντολές από τον νωτιαίο μυελό προς τους σκελετικούς μυς. Η διεγερσιμότητα αυτών των νευρώνων καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα της σύσπασης και όσο πιο δύσκολα διεγείρονται, τόσο πιο μικρότερη είναι η δύναμη που μπορεί να παράγει ένας μυς.

Από την άλλη μεριά οι περιφερικοί παράγοντες κόπωσης περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

1. Τη νευρομυϊκή σύναψη, που αποτελεί τον σχηματισμό που είναι απαραίτητος για τη μετάδοση του δυναμικού ενέργειας από το νευρικό στο μυϊκό κύτταρο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της ακετυλοχολίνης, ενός νευροδιαβιβαστή που απελευθερώνεται από τα αξονικά πέρατα του α-κινητικού νευρώνα και δεσμεύεται από τους υποδοχείς που βρίσκονται στην κυτταρική μεμβράνη του μυϊκού κυττάρου. Οποιαδήποτε ασυνέχεια σε αυτήν τη διαδικασία (π.χ. μειωμένη απελευθέρωση ακετυλοχολίνης) λόγω κόπωσης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης.
2. Τη σύζευξη ενεργοποίησης-σύσπασης (excitation-contraction coupling), που αφορά τον μηχανισμό που μετατρέπει το ηλεκτρικό ερέθισμα (δυναμικό ενέργειας κατά μήκος της μυϊκής ίνας) σε μηχανικό (δημιουργία εγκάρσιων γεφυρών ακτίνης-μυοσίνης).
3. Τη διαθεσιμότητα σε ενεργειακά υποστρώματα, δηλαδή πηγές ενέργειας (π.χ. γλυκογόνο, ATP κ.λπ.).
4. Τη συγκέντρωση μεταβολικών υποπροϊόντων (όπως H^+ , IMP κ.λπ.) στο κυτταρόπλασμα λόγω άσκησης.
5. Την απόδοση του συσταλού μηχανισμού, δηλαδή της αποτελεσματικότητας σύνδεσης της ακτίνης με τη μυοσίνη μέσω της απελευθέρωσης ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) από το σαρκοπλασματικό δίκτυο.
6. Την αιματική ροή, δηλαδή την ποσότητα αίματος που εισρέει στον μυ και εκρέει προς και από τον μυ, που εξαρτάται από την ένταση της σύσπασης, τη διάρκεια των διαλειμμάτων, τον μυϊκό όγκο, κ.λπ..

Παιδική ηλικία

Τις τελευταίες δεκαετίες συναντάται σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό ο αθλητισμός υψηλών επιδόσεων σε παιδιά και μάλιστα όχι μόνο σε αθλήματα που παραδοσιακά επιδιώκεται κορύφωση της επίδοσης σε ηλικίες κάτω των 20 ετών (π.χ. ενόργανη γυμναστική). Επιπλέον, σε ορισμένα αθλήματα η εξειδικευμένη ως προς το άθλημα προπόνηση αρχίζει πριν την εφηβεία. Περισσότερο σημαντική, όμως, είναι η εντατικότερη ενασχόληση του παιδικού πληθυσμού με τον αθλητισμό για την προαγωγή της υγείας του (π.χ. καταπολέμηση παιδικής παχυσαρκίας), που κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος στη χώρα μας.

Τα παραπάνω έχουν κινήσει το ενδιαφέρον ερευνητών για τη μελέτη της λειτουργίας του νευρομυϊκού συστήματος στα παιδιά σε καταστάσεις έντονης άσκησης, που δημιουργούν συνθήκες κόπωσης. Οι πληροφορίες που απορρέουν από τέτοιου είδους έρευνες είναι χρήσιμες για τον προπονητή που ασχολείται με παιδιά, αφού γνωρίζοντας πού υστερεί ή υπερτερεί ένας αθλητής και έχοντας υπόψη τις δυνατότητες βελτίωσής του, μπορεί να προσαρμόσει το προπονητικό του πρόγραμμα αναλόγως. Έτσι θα παρουσιαστούν ορισμένες έρευνες που σχετίζονται με την κόπωση στα παιδιά, παρέχοντας πληροφορίες για τις προσαρμογές που εμφανίζονται στο νευρομυϊκό σύστημα μετά από άσκηση χαμηλής ή υψηλής έντασης. Ειδικότερα, θα περιγραφεί η ικανότητα των παιδιών να ανθίστανται στην κόπωση περισσότερο σε σχέση με τους ενήλικες, τόσο σε επιβαρύνσεις μεγάλης όσο και μικρής έντασης και τους παράγοντες που ενδεχομένως ερμηνεύουν τις διαφορές αυτές για κάθε περίπτωση (Patikas et al., 2018). Επιπλέον, με τα ευρήματα των ερευνών που παρατίθενται, τίθενται οι κατευθυντήριες γραμμές και δίνονται πρακτικές συμβουλές για την προπονητική πράξη.

Για τη μελέτη της αντοχής σε ερευνητικό επίπεδο χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα κόπωσης, από τα οποία προκύπτει ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων αξιολόγησης. Επειδή όπως προαναφέρθηκε το φαινόμενο της κόπωσης είναι αρκετά πολύπλοκο, οι μελέτες που σχεδιάζονται για τη διερεύνηση των μηχανισμών της κόπωσης απαιτούν χρήση σχετικά απλών πρωτοκόλλων κόπωσης στα οποία περιορίζονται όσο το δυνατόν περισσότερο οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την εκδήλωση της κόπωσης, όπως είναι η ταχύτητα κίνησης, η γωνία της άρθρωσης, ο αριθμός των συμμετεχόντων μύων κ.λπ.. Με άλλα λόγια, για να διαπιστωθεί κατά πόσο επηρεάζει μια παράμετρος την κόπωση στο παιδί πρέπει να ελεγχθούν (δηλαδή να μείνουν σταθεροί) όλοι οι άλλοι παράγοντες που την

επηρεάζουν. Αυτό επιτυγχάνεται με πειραματικές συνθήκες που μπορούν να οδηγήσουν σε σχετικά ασφαλή συμπεράσματα. Ωστόσο, όταν διεξάγεται ένα πείραμα υπό ελεγχόμενες, εργαστηριακές συνθήκες (π.χ. ισομετρική σύσπαση), αν και έχουμε καλύτερη εικόνα των μηχανισμών που εμπλέκονται, εντούτοις η κίνηση-δραστηριότητα μπορεί να απέχει σε έναν βαθμό από την αθλητική-αγωνιστική κίνηση. Στον αντίποδα αυτής της προσέγγισης είναι οι μελέτες που περιέχουν κινήσεις πιο κοντά σε πραγματικές συνθήκες, οι οποίες, όμως, οδηγούν πολλές φορές σε ασαφή συμπεράσματα λόγω της παράλληλης συμβολής διαφορετικών παραγόντων σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

Άσκηση χαμηλής έντασης

Όταν παίζουν τα παιδιά ελεύθερα, εκτελούν συνήθως άλματα, σύντομα (<10'') και επαναλαμβανόμενα σπριντ, ενώ ρέπουν λιγότερο προς δραστηριότητες μεγάλης διάρκειας και χαμηλής έντασης. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αθλήματα όπως η ποδηλασία, η κολύμβηση, ο δρόμος αντοχής κ.ά., στα οποία η αντοχή είναι καθοριστικής σημασίας στην τελική επίδοση του παιδιού-αθλητή. Επιπλέον, σε ό,τι αφορά τις αθλοπαιδιές, η αντοχή αποτελεί έναν από τους παράγοντες της φυσικής κατάστασης, που περιλαμβάνεται στους στόχους βελτίωσης του προπονητή. Το ερώτημα που τίθεται και διερευνάται σε αυτό το σημείο είναι αν τα παιδιά κουράζονται περισσότερο ή λιγότερο από τους ενήλικες σε ασκήσεις παρατεταμένης διάρκειας και χαμηλής έντασης. Δηλαδή, διατυπώνοντάς το διαφορετικά, θα αναλυθεί το κατά πόσο ένα παιδί μπορεί να ασκηθεί για μεγαλύτερο ή μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με έναν ενήλικα σε άσκηση χαμηλής έντασης.

Στην ισομετρία η μελέτη της κόπωσης στα παιδιά και στους ενήλικες έχει δείξει ότι σε παρατεταμένες, υπομέγιστες συσπάσεις, απουσιάζει οποιαδήποτε διαφοροποίηση στην κόπωση μεταξύ παιδιών και ενηλίκων (Hatzikotoulas et al., 2009). Γενικά, σε τέτοιες συνθήκες η συνδιέγερση των ανταγωνιστών μυών είναι μειωμένη (Cohen et al., 2010; O'Brien et al., 2009), ενώ οι διαφορές στη συνδιέγερση μεταξύ παιδιών και ενηλίκων κατά την κόπωση απουσιάζουν (Hatzikotoulas et al., 2009). Αξίζει να σημειωθεί επίσης, ότι σε πρωτόκολλα παρατεταμένης ισομετρικής σύσπασης των πελματιαίων καμπτήρων μυών μέχρι εξάντλησης, η απουσία διαφορών στην κόπωση μεταξύ παιδιών και ενηλίκων παρατηρείται σε εντάσεις τόσο στο 20% όσο και στο 60% του μέγιστου (Patikas et al., 2013). Το παραπάνω εύρημα αφορά τη μείωση της δύναμης και της ηλεκτρο-

μυογραφικής δραστηριότητας καθώς και την αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Αυτό δείχνει ότι τουλάχιστον σε ισομετρικές συνθήκες που αφορούν τους πελματιαίους καμπτήρες και σε εντάσεις μέχρι 60% του μέγιστου, παιδιά και ενήλικες παρουσιάζουν παρόμοια επίπεδα κόπωσης.

Ενισχύοντας το επιχείρημα για αντιοικονομικότερη δραστηριοποίηση των μυών στα παιδιά, έχει βρεθεί ότι όταν τα παιδιά τρέχουν με την ίδια δρομική ταχύτητα (σε απόλυτες τιμές) με τους ενήλικες, έχουν μεγαλύτερη συνδιέγερση των ανταγωνιστών μυών (Frost et al., 2002). Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρείται και σε άλλες σύνθετες κινήσεις όπως το άλμα (Lazaridis et al., 2013, 2010). Αυτό έχει ως επακόλουθο τη δαπάνη περισσότερης ενέργειας στα παιδιά, αφού οι ανταγωνιστές μύες δρουν σε αντίθετη φορά από αυτήν της επιθυμητής κίνησης. Προκύπτει, λοιπόν, πως τα παιδιά δεν είναι σε θέση να ενεργοποιήσουν τους μύες τους με τρόπο κατάλληλο ώστε να παραχθεί η κίνηση αποδοτικά, υπολείπονται δηλαδή σε νευρομυϊκή συναρμογή (van Praagh and Doré, 2002). Αυτό φαίνεται και από τη μεγαλύτερη από βήμα σε βήμα διακύμανση που παρατηρείται στα παιδιά σύμφωνα με αναλύσεις κινηματικών (Hausdorff et al., 1999) και ηλεκτρομυογραφικών παραμέτρων (Granata et al., 2005). Τα παραπάνω αποτελούν ενδείξεις ότι το νευρομυϊκό σύστημα βρίσκεται σε διαδικασία ωρίμανσης κατά την παιδική ηλικία και αυτό μπορεί να αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην επίδοση και τον χρόνο αντοχής.

Ωστόσο, παρά την φαινομενικά αντιοικονομικότερη κίνηση που παράγουν τα παιδιά και την μικρότερη ικανότητά τους να παράγουν δύναμη (λόγω μικρότερου μεγέθους τους), φαίνεται πως ανταποκρίνονται σε δρομικές δοκιμασίες με χαρακτηριστικά ανάλογα ενηλίκων αθλητών αντοχής (Ratel and Blazevich, 2017). Αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε έμμεσα ότι τα παιδιά διαθέτουν ένα πολύ καλά αναπτυγμένο αερόβιο σύστημα παραγωγής ενέργειας³. Από την άλλη μεριά, το αναερόβιο σύστημα των παιδιών δεν λειτουργεί επαρκώς με αποτέλεσμα να βασίζονται αναλογικά περισσότερο στον αερόβιο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας, που είναι λιγότερο επιρρεπής στην κόπωση. Έτσι, όσο πιο χαμηλής έντασης είναι η προσπάθεια, τόσο οι διαφορές μεταξύ ενηλίκων και παιδιών μειώνονται, με δεδομένο ότι χρησιμοποιούν και οι δύο ηλικιακές ομάδες κυρίως τον αερόβιο τους

3 Το θέμα χρήσης των ενεργειακών συστημάτων σε παιδιά και ενήλικες θα αναπτυχθεί αναλυτικότερα στο υποκεφάλαιο «Άσκηση υψηλής έντασης» (σελ. 8).

μηχανισμό για να παράγουν ενέργεια. Αντίθετα, όσο αυξάνεται η ένταση της προσπάθειας και απαιτείται να συμμετέχει περισσότερο ο αναερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας, τόσο θα περιμένουμε μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ παιδιών και ενηλίκων, αφού τα παιδιά δεν διαθέτουν τόσο καλή αναερόβια ικανότητα.

Άσκηση υψηλής έντασης

Όταν η άσκηση είναι μέγιστης έντασης όπως συμβαίνει για παράδειγμα σε ένα σπριντ, τα παιδιά φαίνεται να κουράζονται λιγότερο σε σχέση με τους ενήλικες. Στο Wingate-test (καταγραφή ισχύος στη διάρκεια μίας μέγιστης προσπάθειας σε εργοποδήλατο για 30 s) βρέθηκε ότι η ισχύς στα παιδιά μειώθηκε κατά 45,4%, ενώ η αντίστοιχη μείωση για τους ενήλικες ήταν 53,5% (Hebestreit et al., 1993). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα παιδιά έχουν μικρότερη ικανότητα αναερόβιας γλυκόλυσης σε σχέση με τους ενήλικες (Eriksson et al., 1973). Έτσι, από τη στιγμή που τα παιδιά διαθέτουν για παράδειγμα μικρότερα αποθέματα φωσφοκρεατίνης (PCr), θα έχουν (και έχουν) χαμηλότερη ικανότητα παραγωγής ισχύος, και ενδεχομένως γι' αυτόν τον λόγο παρουσιάζουν και χαμηλότερη ποσοστιαία εξάντληση των αποθεμάτων PCr σε σχέση με τους ενήλικες (Ratel et al., 2008).

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και άλλες υποθέσεις που έχουν εξετασθεί προκειμένου να ερμηνεύσουν τη μικρότερη μείωση στη μέγιστη ισχύ στα παιδιά. Έρευνες έχουν υποστηρίξει ότι τα παιδιά παράγουν μικρότερη μέγιστη ισχύ σε σχέση με τους ενήλικες, ενδεχομένως επειδή δεν έχουν τη δυνατότητα να ενεργοποιήσουν σε μέγιστο βαθμό μεγάλες μυϊκές ομάδες, όπως ο τετρακέφαλος (O'Brien et al., 2010). Αυτό παίζει σημαντικό ρόλο, αφού τα άτομα που δεν μπορούν να ενεργοποιούν μέγιστα τους μυς τους, έχουν ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με εκείνα που τους ενεργοποιούν περισσότερο, με αποτέλεσμα να κουράζονται λιγότερο τόσο σε μέγιστες όσο και σε υπομέγιστες ισομετρικές προσπάθειες (Nordlund et al., 2004; Yamada et al., 2002). Δηλαδή, είναι σαν να συγκρίνουμε έναν ενήλικα που παράγει δύναμη στο 100% του μέγιστου με ένα παιδί που μπορεί να παράγει μόνο το 90% του μέγιστού του. Σε μια τέτοια περίπτωση, είναι λογικό το παιδί να αντέχει περισσότερο, αφού το σημείο αφετηρίας τους είναι διαφορετικό.

Ωστόσο, σε μελέτες που έγιναν για τον πρόσθιο κνημιαίο μυ, βρέθηκε ότι η ενεργοποίηση μπορεί να είναι πλήρης και στα παιδιά, όταν η παρακίνηση και η εξοικείωση με την άσκηση είναι επαρκής. Για τους πελματιαίους καμπτήρες μυς, η ενεργοποίηση έχει την τάση να είναι χαμηλότερη σε σχέση με τους ενήλικες (Belanger and McComas, 1989), αλλά μετά την ηλικία των 9 ετών, η ενεργοποίηση δεν διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά σε σχέση με τους ενήλικες (Grosset et al., 2008). Σύμφωνα με μια μεταγενέστερη έρευνα, δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ παιδιών και ενηλίκων στην ενεργοποίηση των πελματιαίων καμπτήρων μυών, ούτε πριν, ούτε μετά την κόπωση που προκλήθηκε μετά από μία μέγιστη βουλητική σύσπαση (Hatzikotoulas et al., 2014). Αντίθετα, στον τετρακέφαλο μυ παρατηρήθηκε ότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη μείωση στην ενεργοποίηση σε σχέση με τους ενήλικες κατά την κόπωση (Streckis et al., 2007). Σύμφωνα με τα παραπάνω, φαίνεται, λοιπόν, ότι το θέμα της ενεργοποίησης μπορεί να εξαρτάται από τον μυ που εξετάζουμε και χρήζει διεξοδικότερης διερεύνησης προκειμένου να γίνουν κατανοητοί οι λόγοι αυτής της διαφοροποίησης. Έτσι, δεν είμαστε σε θέση να ισχυριστούμε ότι τα παιδιά κουράζονται λιγότερο σε σχέση με τους ενήλικες κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης εξαιτίας του διαφορετικού ποσοστού ενεργοποίησης των μυών τους. Εντούτοις, η διαφοροποίηση στην κόπωση υφίσταται.

Μία άλλη αιτία που μπορεί να ευνοεί την αντοχή στην κόπωση στα παιδιά και συνάδει με την αδυναμία παραγωγής μεγάλης ισχύος είναι η σύσταση των μυών σε μυϊκές ίνες τύπου I και II. Είναι γνωστό ότι οι μυϊκές ίνες τύπου I είναι βραχείας συστολής, παράγουν μικρότερη δύναμη και παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή στην κόπωση σε σχέση με της τύπου II μυϊκές ίνες, λόγω μεγαλύτερης περιεκτικότητάς τους σε οξειδωτικά ένζυμα (Edgerton et al., 1975). Ωστόσο, επειδή η διεξαγωγή μυϊκών βιοψιών σε υγιή παιδιά είναι δύσκολη, κυρίως για ηθικούς λόγους, υπάρχουν μόνο ορισμένες ενδείξεις από λίγες έρευνες, που δείχνουν ότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I (Lexell et al., 1992) και σταδιακά ένα ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I μετατρέπεται σε μυϊκές ίνες τύπου II (Glenmark et al., 1992).

Αν και αυτά τα ευρήματα έχουν αντικρουστεί από άλλες έρευνες (Bell et al., 1980; Brooke and Engel, 1969; Vogler and Bove, 1985), υπάρχουν και έμμεσες διαπιστώσεις ότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I. Πιο συγκεκριμένα, μετρώντας παραμέτρους, όπως ο λόγος της συγκέντρωσης της PCr

προς τις ελεύθερες φωσφορικές ρίζες (PCr/P_i), η οποία είναι χαμηλότερη στις μυϊκές ίνες τύπου I (Ratel et al., 2008), έχει βρεθεί ότι η συγκεκριμένη αναλογία είναι χαμηλότερη στα παιδιά σε σχέση με τους ενήλικες (Meyer et al., 1985). Επίσης, σε περίπτωση που τα παιδιά δεν είναι ικανά να ενεργοποιούν πλήρως τους μυς τους, τότε, σύμφωνα με την αρχή του μεγέθους κατά Henneman (Henneman et al., 1965; Mendell, 2005), οι κινητικές μονάδες που μένουν ανενεργές είναι αυτές που θα είναι τύπου II. Συνοψίζοντας, είτε τα παιδιά έχουν λιγότερες μυϊκές ίνες τύπου II, είτε έχουν τις ίδιες και δεν μπορούν να τις ενεργοποιήσουν, τα ερευνητικά δεδομένα συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι τα παιδιά κατά τη μέγιστη προσπάθεια βασίζονται λιγότερο στον γλυκολυτικό-αναερόβιο και περισσότερο στον οξειδωτικό-αερόβιο μεταβολισμό, και κατά συνέπεια κουράζονται λιγότερο.

Αποκατάσταση – ανάληψη

Η αποκατάσταση – ανάληψη μετά από άσκηση μπορεί να επηρεάζεται από το είδος, την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης, καθώς επίσης και από τον χρόνο μετά το τέλος της άσκησης. Η ηλικία φαίνεται πως είναι ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει το πόσο γρήγορα επανέρχεται ο οργανισμός στην αρχική (πριν την κόπωση/εξάντληση) κατάσταση. Ειδικότερα, μετά από Wingate-test διάρκειας 30 s, τα παιδιά επανήλθαν στην ισχύ που είχαν πριν την κόπωση, όταν τους δόθηκε διάλειμμα διάρκειας 2 λεπτών, ενώ οι ενήλικες χρειάστηκαν διάλειμμα 10 λεπτών για να έχουν το ίδιο επίπεδο αποκατάστασης (Hebestreit et al., 1993). Ομοίως, ταχύτερη επαναφορά στην κατάσταση πριν την κόπωση παρατηρήθηκε και σε άλλες παραμέτρους, όπως η καρδιακή συχνότητα και ο όγκος εκπνεόμενου αέρα και CO₂ στη μονάδα του χρόνου. Σε παρόμοιες εργασίες, η μέγιστη ισχύς κατά τη διάρκεια 10 επαναλαμβανόμενων σπριντ (διάρκειας 10 s και με διάλειμμα 30 s) σε εργοποδήλατο, διατηρήθηκε σταθερή στα παιδιά, όμως παρατηρήθηκε μείωση κατά 19% και 29% στους εφήβους και στους ενήλικες αντίστοιχα (Ratel et al., 2002). Τόσο οι έφηβοι όσο και οι ενήλικες χρειάστηκαν διάλειμμα μεγαλύτερο των 5 λεπτών μεταξύ των προσπαθειών, έτσι ώστε να μην παρατηρηθεί μείωση στην απόδοση. Το γεγονός ότι τα παιδιά αποκαθίστανται γρηγορότερα σε σχέση με τους ενήλικες επιβεβαιώθηκε και από μεταγενέστερες έρευνες που αφορούσαν επαναλαμβανόμενα δρομικά σπριντ (Ratel et al., 2006), και επαναλαμβανόμενες μέγιστες ισοκινητικές προσπάθειες (Paraschos et al., 2007; Zafeiridis et al., 2005).

Στον αθλητισμό, και κυρίως σε αθλήματα αθλοπαιδιών όπως το ποδόσφαιρο, τη χειροσφαίριση, την καλαθοσφαίριση και άλλα, παρατηρούνται συχνά επαναλαμβανόμενες μέγιστες προσπάθειες με ενδιάμεσα διαλείμματα. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω έρευνες, φαίνεται πως τα παιδιά, σε τέτοιου είδους δοκιμασίες, έχουν ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τους ενήλικες, αφού αποκαθίστανται γρηγορότερα.

Υπάρχουν διάφορες αιτίες οι οποίες ερμηνεύουν τις διαφορές στο ρυθμό αποκατάστασης μεταξύ παιδιών και ενηλίκων. Ένας λόγος μπορεί να είναι οι διαφορές στο μέγεθος του σώματος. Το μικρότερο μέγεθος του σώματος στα παιδιά σημαίνει εξορισμού και μικρότερη επιβάρυνση λόγω αδράνειας κατά την κίνηση. Επίσης, το μέγεθος των μυών, όντας μικρότερο στα παιδιά, δεν τους δίνει τη δυνατότητα να παράγουν το ίδιο έργο στη μονάδα του χρόνου, με αποτέλεσμα να κουράζονται λιγότερο όταν ασκούνται για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο και έτσι να αποκαθίστανται και γρηγορότερα. Αυτό υποστηρίζεται από ένα πείραμα που προκλήθηκε κόπωση σε παιδιά και ενήλικες έχοντας παράγει και τα δύο ηλικιακά γκρουπ το ίδιο συνολικό έργο σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Δηλαδή τα παιδιά ασκήθηκαν για περισσότερο χρόνο προκειμένου να παράγουν το ίδιο συνολικό έργο σε σχέση με τους ενήλικες, αφού τα παιδιά έχουν μικρότερη δύναμη και ισχύ. Έτσι, σε αυτήν την περίπτωση, οι διαφορές στον ρυθμό αποκατάστασης μεταξύ των ομάδων εξαλείφονται (Williams, 2007). Με άλλα λόγια, φαίνεται να ισχύει ότι τα παιδιά αποκαθίστανται γρηγορότερα μετά από έντονη δραστηριότητα, επειδή κουράζονται σε μικρότερο βαθμό και παράγουν λιγότερο έργο.

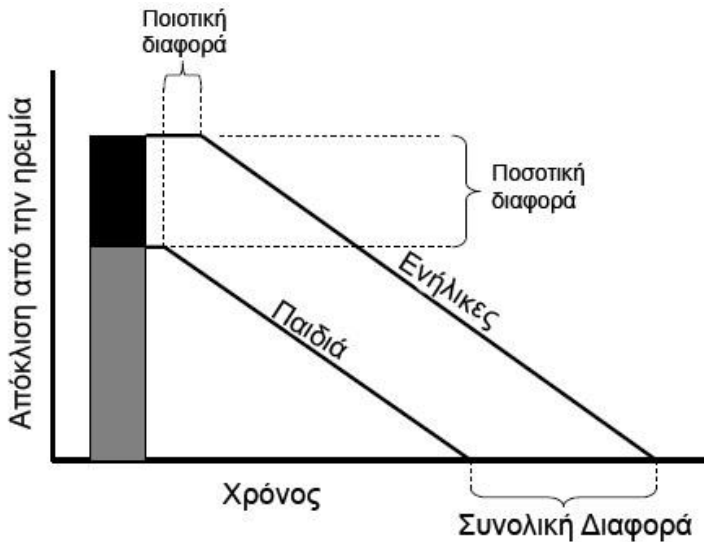
Ο ρυθμός με τον οποίον συγκεντρώνονται και απομακρύνονται ορισμένα μεταβολικά προϊόντα προς και από τον μυ μπορεί ενδεχομένως να δίνει κάποια απάντηση για τις διαφορές μεταξύ παιδιών και ενηλίκων αναφορικά με την αποκατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, η συγκέντρωση P_i , ιόντων υδρογόνου (H^+) και γαλακτικού οξέος είναι ανασταλτικοί παράγοντες, τόσο της μέγιστης όσο και της υπομέγιστης σύσπασης (Fitts, 2008). Σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες, στα παιδιά παρατηρείται μειωμένη δράση των ενζύμων που συμμετέχουν στη γλυκόλυση (π.χ. φωσφοφρουκτοκινάση και γαλακτική αφυδρογονάση) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την χαμηλότερη παραγωγή και συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στους μύς (Eriksson, 1980). Αυτά τα ευρήματα έχουν επιβεβαιωθεί και από νεότερες έρευνες (Taylor et al., 1997) και ενισχύονται από την υπόθεση, όπως προαναφέρ-

θηκε, ότι τα παιδιά έχουν πιθανά μικρότερο ποσοστό γρήγορων (τύπου II) μυϊκών ινών, οι οποίες ρέπουν στην αναερόβια παραγωγή ενέργειας και την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Υπάρχουν ωστόσο και περιπτώσεις όπου δεν παρατηρήθηκε διαφορά στο pH του μυός μεταξύ παιδιών και ενηλίκων (Ratel et al., 2008), και έτσι το ζήτημα χρήζει περισσότερης διερεύνησης, αν και τα πιο πολλά στοιχεία δείχνουν ότι τα παιδιά παράγουν λιγότερο γαλακτικό οξύ μετά από έντονη άσκηση μέχρι εξάντλησης.

Σε ό,τι αφορά στην απομάκρυνση των μεταβολικών στοιχείων από τους μυς και την αποκατάστασή τους, οι μικρότερες διαστάσεις των παιδιών τις ευνοούν, διότι η απόσταση που πρέπει να διανύσουν τα μεταβολικά προϊόντα μέχρι να διαχυθούν στο αίμα είναι μικρότερη (Brooke and Engel, 1969), όπως επίσης μικρότερος είναι και ο χρόνος (λόγω μικρότερης απόστασης) που χρειάζεται να ανακυκλωθεί το αίμα από την καρδιά και να εμπλουτισθεί σε οξυγόνο από τους πνεύμονες. Έχοντας να καλύψουν μικρότερη απόσταση τα μεταβολικά προϊόντα προκειμένου να βγουν στην αιματική κυκλοφορία, η αποκατάσταση ξεκινάει γρηγορότερα στα παιδιά, οπότε, ακόμα και αν ο ρυθμός αποκατάστασης (ανακύκλωση μεταβολικών προϊόντων) αργότερα είναι κοινός με τους ενήλικες, τα παιδιά θα ξεκουραστούν γρηγορότερα (Εικόνα 1).

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει τον ρυθμό αποκατάστασης είναι η ταχύτητα με την οποία ανακτώνται τα ενεργειακά υποστρώματα. Από ό,τι έχει μελετηθεί, έχει βρεθεί ότι η πλήρης και ημίσεια αποκατάσταση της PCr είναι γρηγορότερη στα παιδιά σε σχέση με τους ενήλικες (Taylor et al., 1997). Αυτό αποτελεί μία ένδειξη καλύτερης λειτουργίας του αναερόβιου οξειδωτικού μηχανισμού στα παιδιά.

Τέλος, έχει βρεθεί ότι και τα νευρομυϊκά χαρακτηριστικά των παιδιών, με βάση την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα, αποκαθίστανται γρηγορότερα σε σχέση με τους ενήλικες (Hatzikotoulas et al., 2009). Αυτό δείχνει ότι το κεντρικό νευρικό σύστημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση γρηγορότερα, ενώ οι πρωτογενείς αιτίες αυτής της διαφοροποίησης υπόκεινται μάλλον στη διαφορετική συγκέντρωση μεταβολικών προϊόντων.



Εικόνα 1: Η ταχύτερη αποκατάσταση στα παιδιά μπορεί να είναι απόρροια του διαφορετικού βαθμού κόπωσης σε σχέση με τους ενήλικες (ποσοτική διαφορά) και συντομότερης έναρξης της ανάληψης μετά το τέλος της άσκησης (ποιοτική διαφορά), ακόμα και όταν ο ρυθμός αποκατάστασης είναι ο ίδιος, όπως αναπαρίσταται από την κλίση των δύο γραμμών (προσαρμοσμένη αναπαράγωγή από Falk & Dotan (2006)).

Σύνοψη

Από τη στιγμή που τα παιδιά σε σχέση με τους ενήλικες βασίζονται περισσότερο στον αερόβιο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας, είναι ικανά να εκτελούν δραστηριότητες χωρίς να κουράζονται σωματικά, όσο θα κουραζόταν ένας ενήλικας. Κατ' επέκταση, τα παιδιά, μην έχοντας επαρκώς ώριμη αναερόβια ικανότητα, αλλά όντας ικανά και έχοντας την τάση από τη φύση τους να εκτελούν κινήσεις εκρηκτικές, υψηλής έντασης, και μικρής διάρκειας, φαίνεται να αντέχουν περισσότερο, αφού καταφέρνουν την εκτέλεση αυτών των δραστηριοτήτων με – κατ' ανάγκη – αερόβιους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας κατά κύριο λόγο. Η διαφοροποίηση αυτή παραμένει ακόμη και αν η εκτέλεση αυτών των δραστηριοτήτων από τα παιδιά είναι πολλές φορές πιο αντιοικονομική (αδέξια, ατελής νευρομυϊκός συντονισμός).

Οι διαφορές στην ανεκτικότητα στην κόπωση μεταξύ παιδιών και ενηλίκων περιμένουμε να γίνουν όλο και πιο εμφανείς σε ασκήσεις υψηλής έντασης, με τα παιδιά να έχουν πλεονέκτημα έναντι των ενηλίκων, λαμβάνοντας, όμως, υπόψη ότι σε ορισμένες κινήσεις αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα παιδιά δεν είναι σε θέση να ενεργοποιήσουν πλήρως τους μυς τους. Σε πρακτικό επίπεδο, σε περίπτωση που στόχος του προπονητή είναι να επιτύχει εξάντληση σε παιδιά στον ίδιο βαθμό με αυτό που επιτυγχάνεται σε ενήλικες, και έχοντας ως δεδομένο ότι τα παιδιά κουράζονται λιγότερο σε σχέση με τους ενήλικες, πρέπει η επιβάρυνση που εφαρμόζεται στα παιδιά να έχει τέτοια διάρκεια, ώστε να παράγεται συνολικά το ίδιο έργο με αυτό που παράγεται στους ενήλικες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί προσαρμόζοντας είτε τη διάρκεια της άσκησης, είτε την επιβάρυνση, είτε και τα δύο.

Αναφορικά με την αποκατάσταση, είναι εμφανές από τα ερευνητικά δεδομένα ότι τα παιδιά αποκαθίστανται γρηγορότερα, κάτι που υπαγορεύει τη χρήση συντομότερων διαλειμμάτων στην προπόνηση, εάν στόχος μας είναι να έχουμε ανάλογη επιβάρυνση σε σχέση με τους ενήλικες. Έτσι, ο προπονητής πρέπει να έχει υπόψη του ότι για την αποκατάσταση των παιδιών, αρκεί διάλειμμα μικρότερης διάρκειας σε σχέση με τους ενήλικες.

Κεντρικά σημεία κεφαλαίου

- Τα παιδιά βασίζονται περισσότερο στον αερόβιο μεταβολισμό για παραγωγή ενέργειας
- Σε άσκηση χαμηλής έντασης τα παιδιά κουράζονται στον ίδιο βαθμό με τους ενήλικες
- Σε άσκηση υψηλής έντασης τα παιδιά κουράζονται λιγότερο σε σχέση με τους ενήλικες
- Τα παιδιά αποκαθίστανται γρηγορότερα σε σχέση με τους ενήλικες και άρα στην προπόνηση χρειάζονται μικρότερα διαλείμματα

Βιβλιογραφία

- Belanger, A.Y., McComas, A.J., 1989. Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58, 563–567.
- Bell, R.D., MacDougall, J.D., Billeter, R., Howald, H., 1980. Muscle fiber types and morphometric analysis of skeletal muscle in six-year-old children. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12, 28–31.
- Bigland-Ritchie, B.R., Jones, D.A., Hosking, G.P., Edwards, R.H.T., 1978. Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clin. Sci. Mol. Med.* 54, 609–614.
- Boyas, S., Guével, A., 2011. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 54, 88–108.
- Brooke, M.H., Engel, W.K., 1969. The histographic analysis of human muscle biopsies with regard to fiber types. 4. Children's biopsies. *Neurology* 19, 591–605.
- Cohen, R., Mitchell, C., Dotan, R., Gabriel, D.A., Klentrou, P., Falk, B., 2010. Do neuromuscular adaptations occur in endurance-trained boys and men? *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35, 471–479. <https://doi.org/10.1139/H10-031>
- Edgerton, V.R., Smith, J.L., Simpson, D.R., 1975. Muscle fibre type populations of human leg muscles. *J. Histochem.* 7, 259–266.
- Edwards, R.H.T., 1983. Biochemical bases of fatigue in exercise performance: catastrophe theory of muscular fatigue, in: Knuttgen, H.T., Vogel, J.A., Poortmans, J.R. (Eds.), *Biochemistry of Exercise*. Human Kinetics Publishers, Champaign, IL, pp. 3–28.
- Enoka, R.M., Duchateau, J., 2016. Translating Fatigue to Human Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2228–2238. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Eriksson, B.O., 1980. Muscle metabolism in children: a review. *Acta Paediatr. Scand.* 283, S20-28.
- Eriksson, B.O., Gollnick, P.D., Saltin, B., 1973. Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. *Acta Physiol. Scand.* 87, 485–497.
- Falk, B., Dotan, R., 2006. Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 34, 107–112.

- Fitts, R.H., 2008. The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *J. Appl. Physiol.* 104, 551–558. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01200.2007>
- Frost, G., Bar-Or, O., Dowling, J.J., Dyson, K., 2002. Explaining differences in the metabolic cost and efficiency of treadmill locomotion in children. *J. Sports Sci.* 20, 451–461.
- Fuglevand, A.J., Zackoaski, M.M., Huey, K.A., Enoka, R.M., Zackowski, K.M., Huey, K.A., Enoka, R.M., 1993. Impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces. *J. Physiol.* 460, 549–572. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1993.sp019486>
- Glenmark, B.B., Hedberg, G., Jansson, E., 1992. Changes in muscle fibre type from adolescence to adulthood in women and men. *Acta Physiol. Scand.* 146, 251–259.
- Granata, K.P., Padua, D.A., Abel, M.F., 2005. Repeatability of surface EMG during gait in children. *Gait Posture* 22, 346–350.
- Grosset, J.-F., Mora, I., Lambertz, D., Pérot, C., 2008. Voluntary activation of the triceps surae in prepubertal children. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 18, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.11.002>
- Hatzikotoulas, K., Patikas, D.A., Bassa, E.I., Hadjileontiadis, L.J., Koutedakis, Y., Kotzamanidis, C.M., 2009. Submaximal fatigue and recovery in boys and men. *Int. J. Sports Med.* 30, 741–746. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224171>
- Hatzikotoulas, K., Patikas, D.A., Ratel, S., Bassa, E.I., Kotzamanidis, C.M., 2014. Central and peripheral fatigability in boys and men during maximal contraction. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46, 1326–1333. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000239>
- Hatzikotoulas, K., Siatras, T., Spyropoulou, E., Paraschos, I., Patikas, D.A., 2004. Muscle fatigue and electromyographic changes are not different in women and men matched for strength. *Eur. J. Appl. Physiol.* 92, 298–304. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1095-4>
- Hausdorff, J.M., Zeman, L., Peng, C., Goldberger, A.L., 1999. Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its temporal organization in children. *J. Appl. Physiol.* 86, 1040–1047.

- Hebestreit, H., Mimura, K., Bar-Or, O., 1993. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J. Appl. Physiol.* 74, 2875–2880.
- Henneman, E., Somjen, G., Carpenter, D.O., 1965. Excitability and inhibitability of motoneurons of different sizes. *J. Neurophysiol.* 28, 599–620.
- Kellis, E., 1999. The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyographic activity at different angles during dynamic knee extension efforts. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 9, 191–199.
- Kent-Braun, J.A., 1997. Noninvasive measures of central and peripheral activation in human muscle fatigue. *Muscle Nerve* 5, S98–S101.
- Kent-Braun, J.A., Ng, A. V, 1999. Specific strength and voluntary muscle activation in young and elderly women and men. *J. Appl. Physiol.* 87, 22–29.
- Lazaridis, S.N., Bassa, E.I., Patikas, D.A., Giakas, G., Gollhofer, A., Kotzamanidis, C.M., 2010. Neuromuscular differences between prepubescent boys and adult men during drop jump. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110, 67–74. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1452-4>
- Lazaridis, S.N., Bassa, E.I., Patikas, D.A., Hatzikotoulas, K., Lazaridis, F.K., Kotzamanidis, C.M., 2013. Biomechanical comparison in different jumping tasks between untrained boys and men. *Pediatr. Exerc. Sci.* 25, 101–113.
- Lexell, J., Sjöström, M., Nordlund, A.S., Taylor, C.C., 1992. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve* 15, 404–409.
- Löscher, W.N., Cresswell, A.G., Thorstensson, A., 1994. Electromyographic responses of the human triceps surae and force tremor during sustained submaximal isometric plantar flexion. *Acta Physiol. Scand.* 152, 73–82.
- Mendell, L.M., 2005. The size principle: a rule describing the recruitment of motoneurons. *J. Neurophysiol.* 93, 3024–3026. <https://doi.org/10.1152/classicessays.00025.2005>
- Meyer, R.A., Brown, T.R., Kushmerick, M.J., 1985. Phosphorus nuclear magnetic resonance of fast- and slow-twitch muscle. *Am. J. Med.* 248, C279–287.
- Nordlund, M.M., Thorstensson, A., Cresswell, A.G., 2004. Central and peripheral contributions to fatigue in relation to level of activation during repeated

- maximal voluntary isometric plantar flexions. *J. Appl. Physiol.* 96, 218–225. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00650.2003>
- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., Maganaris, C.N., 2010. In vivo measurements of muscle specific tension in adults and children. *Exp. Physiol.* 95, 202–210.
- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., Maganaris, C.N., 2009. The effects of agonist and antagonist muscle activation on the knee extension moment-angle relationship in adults and children. *Eur. J. Appl. Physiol.* 106, 849–856. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1088-4>
- Paraschos, I., Hassani, A., Bassa, E.I., Hatzikotoulas, K., Patikas, D.A., Kotzamanidis, C.M., 2007. Fatigue differences between adults and prepubertal males. *Int. J. Sports Med.* 28, 958–963. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964984>
- Patikas, D.A., Kansizoglou, A., Koutlianos, N., Williams, C.A., Hatzikotoulas, K., Bassa, E.I., Kotzamanidis, C.M., 2013. Fatigue and recovery in children and adults during sustained contractions at two different submaximal intensities. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 38, 953–959. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0469>
- Patikas, D.A., Williams, C.A., Ratel, S., 2018. Exercise-induced fatigue in young people: advances and future perspectives. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118, 899–910. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3823-1>
- Ratel, S., Bedu, M., Hennegrave, A., Doré, E., Duché, P., 2002. Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *Int. J. Sports Med.* 23, 397–402. <https://doi.org/10.1055/s-2002-33737>
- Ratel, S., Blazeovich, A.J., 2017. Are prepubertal children metabolically comparable to well-trained adult endurance athletes? *Sport. Med.* <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0671-1>
- Ratel, S., Tonson, A., Fur, Y. Le, Cozzone, P., Bendahan, D., 2008. Comparative analysis of skeletal muscle oxidative capacity in children and adults: a 31P-MRS study. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33, 720–727.
- Ratel, S., Williams, C.A., Oliver, J., Armstrong, N., 2006. Effects of age and recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. *Int. J. Sports Med.* 26, 1–8.

- Streckis, V., Skurvydas, A., Ratkevicius, A., 2007. Children are more susceptible to central fatigue than adults. *Muscle Nerve* 36, 357–363.
- Taylor, D.J., Kemp, G.J., Thompson, C.H., Radda, G.K., 1997. Ageing: effects on oxidative function of skeletal muscle in vivo. *Mol. Cell. Biochem.* 174, 321–324.
- van Praagh, E., Doré, E., 2002. Short-term muscle power during growth and maturation. *Sport. Med.* 32, 701–728.
- Vogler, C., Bove, K.E., 1985. Morphology of skeletal muscle in children. An assessment of normal growth and differentiation. *Arch. Pathol. Lab. Med.* 109, 238–242.
- Williams, C.A., 2007. Recovery from fatigue after two bouts of maximal 20-s cycling in boys and men. *J. Sports Sci.* 25, 283.
- Yamada, H., Kaneko, K., Masuda, T., 2002. Effects of voluntary activation on neuromuscular endurance analyzed by surface electromyography. *Percept. Mot. Skills* 95, 613–619.
- Zafeiridis, A., Dalamitros, A., Dipla, K., Manou, V., Galanis, N.N., Kellis, S., 2005. Recovery during high-intensity intermittent anaerobic exercise in boys, teens, and men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37, 505–512. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000155394.76722.01>

Κινητική Μάθηση – Ανάπτυξη & Ανατροφοδότηση

Γιώργος Τζέτζης

Περίληψη

Η ανάλυση των διαδικασιών και λειτουργιών της ανθρώπινης κίνησης είναι μια σύνθετη και πολυδιάστατη διαδικασία. Οι επαγγελματίες που ασχολούνται με την διδασκαλία των κινητικών δεξιοτήτων έχουν ως στόχο τη βελτίωση της εκτέλεσης των κινήσεων και της απόδοσης. Για το λόγο αυτό απαιτείται η ανάλυση της πολυπλοκότητας του φαινομένου της κίνησης και αυτό αποτελεί μια σημαντική πρόκληση. Η βοήθεια για την επίλυση του προβλήματος της συνθετότητας του φαινομένου βρίσκεται στην κατανόηση των διαδικασιών και των λειτουργιών της μάθησης αλλά και της κινητικής ανάπτυξης. Η ερμηνεία των φαινομένων της κινητικής και αθλητικής εκτέλεσης σε συνδυασμό με τις θεωρίες που προέκυψαν από τα επιστημονικά δεδομένα μπορεί να βοηθήσουν τους ανθρώπους που ασχολούνται με την κίνηση και την βελτίωση της μάθησης των κινήσεων (προπονητές, καθηγητές φυσικής αγωγής, κινησιολόγους, φυσικοθεραπευτές) να αποκτήσουν μια καλύτερη γνώση των φαινομένων που διέπουν τις διαδικασίες της μάθησης και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητά τους.

Η επιστημονική μέθοδος είναι ένα σίγουρο μέσο απόκτησης πληροφοριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μια σταθερή βάση για την λήψη διδακτικών αποφάσεων (Magill 1993).

Αποτελεσματική διδασκαλία

Αποτελεσματική διδασκαλία είναι η επίτευξη των σκοπούμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων, στο μέγιστο δυνατό βαθμό, σε ελάχιστο χρόνο. Η αποτελεσματική διδασκαλία εξαρτάται από το σωστό καθορισμό στόχων στο πλαίσιο των σκοπών του μαθήματος, αποτελεσματικής εφαρμογής της μεθόδου καθοδήγησης-διδασκαλίας και την αποτελεσματική αξιολόγηση στη βάση των μαθησιακών στόχων του μαθήματος, του προγράμματος διδασκαλίας, και των ευρύτερων σκο-

πών της εκπαίδευση παιδείας. Ο σχεδιασμός μιας αποτελεσματικής παρουσίασης του μαθήματος περιλαμβάνει τη σωστή προετοιμασία του πριν την υλοποίησή του (Tzetzis, Goudas, Kourtessis & Zisi 2002). Ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο επιβάλλεται ο καλός σχεδιασμός του προγράμματος εξάσκησης είναι επειδή έτσι διασφαλίζεται ο πιο σύντομος και αποτελεσματικός τρόπος για την απόκτηση και διατήρηση του προσδοκώμενου επιπέδου μάθησης των ασκούμενων. Εάν οι ασκούμενοι δεν καθοδηγούνται σωστά, επέρχεται μικρό ποσοστό μάθησης, ή το αποτέλεσμα της καθοδήγησης δεν είναι ικανοποιητικό. Ο σχεδιασμός του προγράμματος εξάσκησης για την εκμάθηση των κινητικών δεξιοτήτων δεν είναι μια απλή διαδικασία και πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Αρχικά, η αποτελεσματική καθοδήγηση προϋποθέτει την ανάλυση και κατανόηση της συνθήκης που προσπαθούμε να διαχειριστούμε και να τροποποιήσουμε (Anastasiadi, & Tzetzis, 2013). Ο διδάσκων καλείται να σχεδιάσει ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα καθοδήγησης διατηρώντας ένα θετικό μαθησιακό κλίμα:

- με προοδευτική δυσκολία,
- για άτομα διαφορετικής ηλικίας,
- για άτομα διαφορετικών ικανοτήτων,
- για άτομα διαφορετικών φύλων,
- για διαφορετικού τύπου δεξιότητες,
- για διαφορετικές αγωνιστικές συνθήκες εκτέλεσης,
- σε διαφορετικά περιβάλλοντα (σταθερά ή όχι).

Ο μεγάλος αριθμός των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψη φανερώνει ότι ο σχεδιασμός και η τελική εφαρμογή των προγραμμάτων εξάσκησης με επιτυχία δεν είναι μια εύκολη διαδικασία και για το λόγο αυτό απαιτείται ευρύτητα και βάθος γνώσεων σε διαφορετικά γνωστικά αντικείμενα που ερμηνεύουν την ανθρώπινη συμπεριφορά και λειτουργία. Το σύνολο των θεωριών που προέκυψαν από τα ερευνητικά δεδομένα και υποστηρίζουν τις διδακτικές δημιουργούν ένα πεδίο ειδικής επιστημονικής γνώσης. Φαίνεται όμως ότι η καθοδήγηση και η διδασκαλία αποτελεί και μια μορφή τέχνης επειδή συνδυάζει τις κατάλληλες θεωρητικές αρχές των επιστημών για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της μάθησης (Haworth, Vallabhajosula, Tzetzis & Stergiou 2013). Ο κυριότερος προβληματισμός των καθηγητών φυσικής αγωγής και των προπονητών αφορά στο πώς θα κάνουν αποτελεσματικότερα το έργο τους και τις διδακτικές τους προσπάθειες.

Δεξιότητες – Ικανότητες

Στην κινητική απόδοση συμμετέχουν όλα τα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού όπως το μυϊκό, το σκελετικό, το νευρικό, το καρδιαγγειακό, το αναπνευστικό, το σύστημα των αισθητηρίων οργάνων κλπ. Ο ανθρώπινος οργανισμός προσπαθεί να προσαρμοστεί στις συνθήκες του περιβάλλοντος, να ξεπεράσει τα διαφορετικά εμπόδια που του εμφανίζονται και να τα αντιμετωπίσει με τη βοήθεια των ικανοτήτων και των δεξιοτήτων του (Logan, Barnett, Goodway & Stodden, 2017; Kioumourtzoglou, Derri, Mertzanidou & Tzetzis (1997).

Δεξιότητα είναι η ικανότητα που έχει κάποιος ώστε να πετύχει ένα τελικό αποτέλεσμα με τη μεγαλύτερη δυνατή σιγουριά και τη λιγότερη κατανάλωση χρόνου και ενέργειας. Συγκεκριμένα:

- Η αναζήτηση και επεξεργασία των πληροφοριών γνώσης γίνονται στο γνωστικό τομέα από τις γνωστικές ικανότητες (Cognitive skills).
- Η αναζήτηση και επεξεργασία των πληροφοριών αντίληψης και αίσθησης γίνονται στον αντιληπτικό τομέα από τις αντιληπτικές ικανότητες (Affective, Perceptual skills).
- Η αναζήτηση και επεξεργασία των πληροφοριών κίνησης και του συνδυασμού της με τα άλλα συστήματα στον ψυχοκινητικό τομέα γίνονται από τις ψυχοκινητικές ή κινητικές ικανότητες (Psychomotor skills).
- Τέλος, η αναζήτηση και επεξεργασία των πληροφοριών που αφορούν τα συναισθήματα γίνονται στον ψυχολογικό τομέα από τις ψυχολογικές ικανότητες (Psychological skills).

Οι δεξιότητες περιλαμβάνουν την επίτευξη ενός καλά καθορισμένου σκοπού κατά περίσταση όπου μεγιστοποιείται η σιγουριά της επιτυχίας, ελαχιστοποιείται η φυσική και πνευματική κατανάλωση ενέργειας στην εκτέλεση και ελαχιστοποιείται ο χρόνος που απαιτείται. Οι δεξιότητες κατηγοριοποιούνται σε ανοικτές και κλειστές ανάλογα με το εάν το περιβάλλον παραμένει ασταθές και απρόβλεπτο ή σταθερό και προβλεπόμενο αντίστοιχα. Ένας άλλος τύπος κατηγοριοποίησης είναι σε διακεκομμένες (μικρής χρονικής διάρκειας), διαδοχικές (μεσαίας χρονικής διάρκειας) και συνεχείς (μεγάλης χρονικής διάρκειας), και ο τελευταίος διαχωρισμός είναι σε κινητικές και γνωστικές ανάλογα με την συμμετοχή των κινητικών ή γνωστικών ικανοτήτων αντίστοιχα.

Οι ικανότητες του ανθρώπου που είναι συγκεκριμένου τύπου και αριθμού για όλους τους ανθρώπους αλλά διαφορετικού επιπέδου ανάπτυξης και στηρίζουν την εκτέλεση των κινητικών δεξιοτήτων.

Χρόνος αντίδρασης, τύποι και μέτρηση

Από τα πρώτα στάδια της επιστημονικής μέτρησης των ανθρώπινων κινήσεων χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές μέτρησης για την ανάλυση των διαδικασιών που διενεργούνται από το νευρικό και μυϊκό σύστημα του ανθρώπου με σκοπό να μετρήσουν την εγκυρότητα των μοντέλων κινητικού ελέγχου (Badau, Baydil, & Badau 2018). Οι τύποι των μετρήσεων μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: α) τις μετρήσεις αποτελέσματος σύμφωνα με την αξιολόγηση του αποτελέσματος της κίνησης σε σχέση με κάποιο στόχο και β) τις μετρήσεις διαδικασίας δηλαδή τον τρόπο εκτέλεσης της κίνησης. Οι τεχνικές μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για να μετρήσουν τα αρχικά αντανακλαστικά μοντέλα του κινητικού ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για να μετρήσουν το αποτέλεσμα της εκτέλεσης που παρατηρήθηκε αφού επέδρασαν μια ή περισσότερες πειραματικές μεταβλητές. Η μέτρηση του χρόνου ή της διάρκειας των γνωστικών διαδικασιών που συμμετέχουν στον σχεδιασμό των μη αυτοματοποιημένων κινήσεων έχουν μελετηθεί εκτεταμένα από ένα μεγάλο αριθμό ερευνητών χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές μέτρησης του χρόνου αντίδρασης (RT). Σε αυτήν την απλή μορφή ως RT ορίστηκε ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της παρουσίας ενός ερεθίσματος (όπως ένα οπτικό ή ακουστικό ερέθισμα) και της έναρξης της απάντησης. Μπορεί να χρησιμεύσει σε ένα άθλημα και να καθορίσει πόσο γρήγορα ένας αθλητής για παράδειγμα ο σπρίντερ απαντά στον εναρκτήριο πυροβολισμό του αφέτη και ξεκινά την κίνησή του από τον βατήρα, ή το χρόνο που χρειάζεται ένας αθλητής της καλαθοσφαίρισης για να εντοπίσει έναν αμαρκάριστο συναθλητή του και να κάνει πάσα ή σουτ. Παρότι και οι δύο αυτές οι κινητικές εκτελέσεις εξαρτώνται από το χρόνο αντίδρασης, αποτελούν διαφορετικούς τύπους χρόνου αντίδρασης.

Χρόνος Αντίδρασης Απλός, Επιλογής και Διάκρισης. Το πρώτο παράδειγμα του σπρίντερ αποτελεί μια περίπτωση απλού χρόνου αντίδρασης αφού ο αθλητής αντιλαμβάνεται ένα ηχητικό ερέθισμα (ο εναρκτήριο πυροβολισμός του αφέτη) και έχει μια μόνο κινητική απάντηση (την εκκίνηση). Αντίθετα στο παράδειγμα του καλαθοσφαιριστή επειδή ο αθλητής έχει μια πληθώρα από πιθανές ενέργειες

και στην περίπτωση αυτή η απάντησή του επηρεάζεται από τον χρόνο αντίδρασης με επιλογή (της απάντησης). Η απόφασή του εξαρτάται από την εξέλιξη της φάσεως και μπορεί να αποφασίσει αν θα κάνει δώσει την μπάλα σε κάποιον από τους συναθλητές του (έχοντας πολλούς πιθανούς αποδέκτες) ή αν θα κάνει σουτ προς το καλάθι. Ένας τρίτος τύπος χρόνου αντίδρασης που επηρεάζει την εκτέλεση ονομάζεται χρόνος αντίδρασης διάκρισης κατά την οποία υπάρχουν διαφορετικά ερεθίσματα και διαφορετικές απαντήσεις στο κάθε ερέθισμα (Baisch, Cai, Li & Pinheiro 2017). Σε μια κατάσταση που απαιτείται ο χρόνος αντίδρασης διάκρισης αυτός που εκτελεί πρέπει να απαντήσει σε ένα μόνο από τα ερεθίσματα που παρουσιάζονται. (Ο προπονητής έχει καθοδηγήσει τον πασαδόρο να πασάρει σε ένα μόνο συγκεκριμένο παραλήπτη ακόμα και αν πολλοί άλλοι είναι ελεύθεροι). Η μέτρηση των λαθών της απόδοσης είναι μια τακτική που χρησιμοποιείται κυρίως από διδάσκοντες που θέλουν να αξιολογήσουν την ικανότητα κάποιου να εκτελέσει μια συγκεκριμένη δεξιότητα, ή πόσο γρήγορα βελτιώνεται στη μάθηση μιας νέας δεξιότητας. Έτσι μια γρήγορη μέτρηση του μέσου όρου των χαμένων χτυπημάτων της μπάλας μιας ομάδας baseball δίνει στον προπονητή σημαντικές πληροφορίες που θα τον βοηθήσουν στην οργάνωση της επόμενης προπόνησης. Οι ερευνητές επίσης χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους λάθους προκειμένου να καθορίσουν εάν ο στόχος της κίνησης έχει τελικά επιτευχθεί. Για παράδειγμα, ο αθλητής πέτυχε τον στόχο του με την μπάλα; ή εκτέλεσε την κινητική ακολουθία με την σωστή σειρά; Επίσης, για να εξηγήσουμε πώς μια συγκεκριμένη κίνηση εκτελέστηκε, τα σκορ λαθών με κατεύθυνση του λάθους μπορούν να μας βοηθήσουν να καταλάβουμε γιατί δεν εκτελέστηκε η κίνηση με πλήρη επιτυχία. Για παράδειγμα, συγκεκριμένα λάθη απόδοσης μας πληροφορούν εάν οι αθλητές υπερεκτίμησαν ή υποεκτίμησαν τον στόχο και πόση σταθερότητα παρουσίασαν σε συνεχόμενες προσπάθειες.

Η κινητική μάθηση και η μέτρησή της

Κινητική μάθηση είναι μια ομάδα από διαδικασίες που σχετίζονται με την πρακτική ή την εμπειρία και που οδηγούν σε σχετικά μόνιμες αλλαγές της ικανότητας για δεξιοτεχνική απόδοση (Magill 1998). Κάτι που θα πρέπει να τονιστεί είναι ότι όταν αναφερόμαστε στη μάθηση κυρίως αναφερόμαστε σε σχετικά μόνιμες αλλαγές της απόδοσης και όχι παροδικές. Η βελτιωμένη απόδοση θα πρέπει να διατηρείται για κάποιο χρονικό διάστημα ώστε να υπάρχει σταθερότητα της

απόδοσης μετά την εξάσκηση και μάλιστα με κάποια σταθερότητα δηλαδή η βελτιωμένη απόδοση να φαίνεται τις περισσότερες φορές. Η μέτρηση της μάθησης θα πρέπει να φαίνεται με τεστ διατήρησης (retention) της απόδοσης ή με τεστ μεταφοράς της (transfer) μετά από κάποιο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν οι επιδράσεις της εξάσκησης είναι σχετικά μόνιμες, γεγονός που καθορίζει και το ποσοστό της μάθησης. Η επιλογή του τεστ διατήρησης ή μεταφοράς γίνεται με κριτήριο τη μεταβλητότητα του περιβάλλοντος σε πραγματικές συνθήκες εκτέλεσης. Όταν η δεξιότητα είναι κλειστή και εκτελείται με τον ίδιο τρόπο σε σταθερό περιβάλλον (π.χ. ενόργανη γυμναστική) τότε πρέπει να γίνεται τεστ διατήρησης δηλαδή αξιολόγηση σε ίδιες παραμέτρους με αυτές τις εξάσκησης. Όταν η δεξιότητα εκτελείται σε μεταβαλλόμενο περιβάλλον και η δεξιότητα χρειάζεται να προσαρμόζεται σε αυτό (π.χ. σουτ στο μπάσκετ) τότε πρέπει να χρησιμοποιείται τεστ μεταφοράς της μάθησης δηλαδή αξιολόγηση σε διαφορετικές παραμέτρους από αυτές τις εξάσκησης (Tzetzis, & Lola 2015).

Μεταφορά μάθησης

Πολλές δεξιότητες μοιάζουν μεταξύ τους και η μεταφορά της μάθησης από μια δεξιότητα μπορεί να βοηθήσει στην μάθηση μιας άλλης δεξιότητας. Η μεταφορά μάθησης μπορεί να γίνει από δεξιότητα σε δεξιότητα, από μέλος σε μέλος από μια κατάσταση (π.χ. προπόνηση) σε μια άλλη (π.χ. στον αγώνα). Το σημαντικό όφελος από την μεταφορά μάθησης είναι ότι σώζεται χρόνος γιατί η ήδη μαθημένη δεξιότητα βοηθά στην μάθηση της νέας δεξιότητας (Levac, Huber & Sternad 2019). Η φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από την μεταφορά μάθησης είναι ότι η βελτιωμένη απόδοση κατά την εξάσκηση πρέπει να μεταφέρεται και στον αγώνα. Είναι γεγονός ότι όσο περισσότερο μοιάζει η προπόνηση με τον αγώνα τόσο θετικότερη είναι η μεταφορά. Άρα ένας κανόνας που θα πρέπει να υπάρχει είναι ότι η προπόνηση θα πρέπει να περιλαμβάνει ασκήσεις παιγνιώδους μορφής και άλλες καταστάσεις ακόμα και στις πιο σταθερές συνθήκες (π.χ. ελεύθερη βολή) μπορούν να αλλάξουν οι συνθήκες (π.χ. η κούραση, ο αριθμός των βολών) έτσι ώστε να προσομοιάζονται οι πραγματικές συνθήκες.

Οργάνωση εξάσκησης

Πολλές φορές η ανάγκη δημιουργίας ενός νέου κινητικού προτύπου (νέας κίνησης) και όχι η αυτοματοποιημένη επανάληψη μιας παλιάς επιφέρει μια σύνδεση

της σχέσης ερεθίσματος-απάντησης με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η μάθηση (Cooker 2017). Σε αυτό στηρίζεται η θεωρία της τυχαίας εξάσκησης (σε αντίθεση με την ομαδοποιημένη) κατά την οποία τα περιεχόμενα (ασκήσεις) παρουσιάζονται με τυχαία σειρά και η ανάγκη επαναδημιουργίας των απαντήσεων βοηθά στη μάθηση με νόημα. Η τυχαία εξάσκηση περιλαμβάνει την εκτέλεση διαφορετικών δεξιοτήτων με τυχαία σειρά (Moretto Marcori & Okazaki 2018). Πώς όμως δημιουργούνται οι νέες κινήσεις όταν αυτές δεν έχουν εκτελεστεί ποτέ με τις ίδιες παραμέτρους (απόσταση, ταχύτητα κλπ); Η θεωρία της σταθερής και μεταβαλλόμενης εξάσκησης προτείνει ότι όταν η εξάσκηση γίνεται με μεταβαλλόμενες παραμέτρους (μεταβαλλόμενη εξάσκηση σε αντίθεση με την σταθερή) τότε δημιουργείται ένα αποτελεσματικό σχήμα που συσχετίζει τις διάφορες παραμέτρους της κίνησης με τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους (Chua, et al. 2019). Η μεταβαλλόμενη εξάσκηση περιλαμβάνει εξάσκηση μιας δεξιότητας με μεταβαλλόμενες παραμέτρους εκδοχής μιας και μόνο κατηγορίας. Η τυχαία και η ομαδοποιημένη εξάσκηση περιλαμβάνουν και οι δύο αρκετές διαφορετικές δεξιότητες αλλά με διαφορετική σειρά παρουσίασης. Η μεταβαλλόμενη και η σταθερή εξάσκηση περιλαμβάνουν διαφορετικές εμπειρίες εξάσκησης μέσα στην ίδια κατηγορία κινήσεων. Η τυχαία εξάσκηση βελτιώνει την μάθηση δημιουργώντας νέες απαντήσεις ή κάνοντας ξεχωριστή και σημαντική την κάθε κίνηση ενώ η μεταβαλλόμενη εξάσκηση δημιουργεί πιο αποτελεσματικά σχήματα. Ίσως η χρήση της μιας ή της άλλης μεθόδου εξαρτάται από το στάδιο μάθησης των ασκούμενων. Δηλαδή, στα πρώτα στάδια η σταθερή και η ομαδοποιημένη εξάσκηση είναι πιο αποτελεσματικές ενώ στα πιο προχωρημένα στάδια ο συνδυασμός μεταβαλλόμενης και τυχαίας εξάσκησης βοηθά περισσότερο στη μάθηση και επίσης προσομοιάζει τις πραγματικές συνθήκες οι οποίες ποτέ δεν είναι επαναλαμβανόμενες σε μεταβαλλόμενο περιβάλλον (όπως στα ομαδικά αθλήματα).

Ανατροφοδότηση

Για να μι πιο αποτελεσματική εξάσκηση, παρουσιάστε ασκήσεις που να ταιριάζουν στο επίπεδο μάθησης των μαθητών. Παρέχετε τις σωστές οδηγίες, με το σωστό τρόπο, και χρησιμοποιήστε την επίδειξη μοντέλου για την αποτελεσματικότερη μάθηση νέων δεξιοτήτων. Προσεγγίστε την ιδέα της διδασκαλίας έχοντας υπόψη ότι πρέπει να είναι προσαρμόσιμη και εξατομικευμένη στις διαφορετικές ανάγκες των μαθητών μιας τάξης.

Η ανατροφοδότηση που παρέχεται στους ασκούμενους από μια εξωτερική πηγή (προπονητής, βίντεο) έχει σαν σκοπό να συμπληρώσει, ή να προσθέσει στις πληροφορίες που είναι ήδη διαθέσιμες στον ασκούμενο από τις εσωτερικές αισθητήριες πηγές του (Brown & Penhune 2018). Η πρόσθετη ανατροφοδότηση μπορεί να δοθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους (προφορικά, με γραφικές παραστάσεις κλπ) και μπορεί να δοθεί ταυτόχρονα με την κίνηση, αμέσως μετά, ή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (Abbas & Nort 2018).

Η γνώση του αποτελέσματος (KR) και της απόδοσης (KP)

Οι πληροφορίες που δίνονται σχετικά με το αποτέλεσμα της κίνησης είναι η γνώση του αποτελέσματος (KR) και οι πληροφορίες που δίνονται σχετικά με την ποιότητα εκτέλεσης της κίνησης είναι η γνώση της απόδοσης (KP). Το αν είναι προτιμότερο να δίνεται ένας τύπος πληροφοριών ή και οι δύο εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ασκούμενου (πχ. επίπεδο μάθησης, προηγούμενη εμπειρία κ.α.) και τη φύση της δεξιότητας που πρόκειται να μαθευτεί (πόσο σύνθετη είναι) (Tzetzis & Votsis 2006).

Πληροφορίες σχετικά με τα κινηματικά ή/και κινητικά χαρακτηριστικά της κίνησης είναι οι πληροφορίες εκτέλεσης ενώ η μέθοδος παροχής ανατροφοδότησης με τη μορφή γνώσης του αποτελέσματος KR είναι πληροφορίες για την επιτυχία σε σχέση με τον στόχο της εκτέλεσης.

Η βιοανατροφοδότηση

Η χρήση των πρόσθετων αισθητήριων πληροφοριών ή της βιοανατροφοδότησης αποδείχθηκε ότι είναι μια σημαντική τεχνική κυρίως στις κλινικές περιπτώσεις επειδή μεταφέρει πληροφορίες στους ασθενείς για γεγονότα ή συνθήκες που δεν μπορούν να παρατηρηθούν (μέγεθος της δραστηριοποίησης του μυός, ένταση της δύναμης, μετακίνηση του μέλους). Αυτός ο τύπος ανατροφοδότησης δίνει πληροφορίες που είναι αρκετά ακριβείς και μπορεί να χρησιμεύσουν τον ασκούμενο ώστε να ελέγχει αυτόνομα τις λειτουργίες του σώματος.

Η υπόθεση «καθοδήγησης»

Σε πρόσφατες έρευνες σχετικά με την ιδανική ποσότητα παροχής ανατροφοδότησης έχει βρεθεί ότι «η περισσότερη ανατροφοδότηση δεν είναι και το καλύτερο» (Coker 2017). Παρ' ότι όταν μετά από κάθε προσπάθεια ακολουθεί και ανατροφοδότηση φαίνεται ότι βελτιώνεται η απόδοση όταν η ανατροφοδότηση στα-

ματήσει να παρέχεται το αποτέλεσμα είναι ότι μειώνεται η βελτιωμένη απόδοση και η διατήρηση της μάθησης. Αυτό συμβαίνει γιατί σύμφωνα με την υπόθεση της καθοδήγησης η συχνή παροχή ανατροφοδότησης οδηγεί στην αυξημένη εξάρτηση από την εξωτερική πηγή πληροφόρησης και όταν αυτή σταματήσει να είναι διαθέσιμη όπως στην περίπτωση ενός αγώνα τότε η απόδοση μειώνεται. Αντίθετα, όταν η ανατροφοδότηση παρέχεται με χαμηλή συχνότητα ο ασκούμενος αναπτύσσει αυτόνομες διαδικασίες αναγνώρισης των ερεθισμάτων και των λαθών, επιλογή της σωστής απάντησης και αντίληψη της δυναμικής των κινήσεων και έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση της απόδοσης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η συχνότητα παροχής ανατροφοδότησης

Ιδιαίτερα χρήσιμα φαίνεται να είναι η χρήση των διαφορετικών προγραμμάτων ανατροφοδότησης που παρέχουν συχνότερα ανατροφοδότηση στα πρώτα στάδια της μάθησης και λιγότερο συχνά όσο προχωράει η μάθηση μιας δεξιότητας (Jackson & Farrow 2005). Παραδείγματα από τέτοια προγράμματα είναι η φθίνουσα συχνότητα ανατροφοδότησης και η ανατροφοδότηση ορισμένου εύρους. Σύμφωνα με την υπόθεση της σταθερότητας τέτοια προγράμματα αναπτύσσουν μια σταθερότητα στην κίνηση και αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτέλεση. Η ανατροφοδότηση ορισμένου εύρους λειτουργεί με δύο τρόπους: (1) η ανατροφοδότηση που παρακινεί ή/και ενθαρρύνει τον ασκούμενο για τις προσπάθειες που δεν παρέχεται (2) η ανατροφοδότηση που λειτουργεί ως εργαλείο διόρθωσης των λαθών όταν μια συγκεκριμένη εκτέλεση βρίσκεται έξω από τα προκαθορισμένα όρια λάθους.

Η περιληπτική ανατροφοδότηση και η ανατροφοδότηση ορισμένου εύρους επίσης βοηθούν στην μάθηση των κινήσεων (Lowe, & Buchwald 2017). Αντίθετα με τα άλλα χαμηλής συχνότητας προγράμματα ανατροφοδότησης που παρέχουν πληροφορίες μετά από μια σειρά προσπαθειών σχετικά με την τελευταία προσπάθεια, η περιληπτική ανατροφοδότηση προσφέρει πληροφορίες για κάθε προσπάθεια ενώ η ανατροφοδότηση μέσου όρου προσφέρει ως πληροφορία τον μέσο όρο του αποτελέσματος των προσπαθειών. Έρευνες έδειξαν ότι το καθένα από αυτά τα προγράμματα προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα και μικρότερη μεταβλητότητα στην εκτέλεση από την παροχή ανατροφοδότησης σε κάθε προσπάθεια.

Από έρευνες επίσης έχει φανεί ότι πολύ μικρά διαστήματα καθυστέρησης πριν την ανατροφοδότηση δεν παρέχουν στον ασκούμενο αρκετό χρόνο για να γίνουν κάποιες γνωστικές λειτουργίες που σχετίζονται με την αναγνώριση του λάθους και τη διόρθωσή του. Δίνοντας στον ασκούμενο περισσότερο χρόνο καθυστέρησης πριν την ανατροφοδότηση και ενθαρρύνοντάς τον να σκεφτεί τι λάθος έκανε κατά την εκτέλεση φαίνεται ότι είναι πολύ ευεργετικό για τη μάθηση.

Η χρήση μοντέλων ως μέσο ανατροφοδότησης

Οι περισσότεροι ασκούμενοι μαθαίνουν πολύ γρηγορότερα όταν παρακολουθούν την επίδειξη μιας κινητικής δεξιότητας από ένα μοντέλο το οποίο μπορεί να είναι ο προπονητής ή ένας καλός αθλητής (Post, Aiken, Laughlin & Fairbrother 2016). Η επίδειξη μιας δεξιότητας μπορεί να φανερώσει το βάθος ή την ποικιλία εκτέλεσής της, κάτι μοναδικό ή διαφορετικό, να αναδειξεί σημεία της τεχνικής, διαφορετικά στυλ και την τέλεια εκτέλεση (Zetou, Tzetzis, Vernadakis & Kιoumourtzoglou, 2002). Η επίδειξη θα πρέπει να βελτιώνει την κατανόηση των δεξιοτήτων και να ενθαρρύνει τους ασκούμενους να παρατηρούν, να αξιολογούν και να αναλύουν το τι είδαν (Potdevin, et al. 2018). Η επίδειξη θα πρέπει να ακολουθείται άμεσα και από μια περίοδο εξάσκησης. Εξαιτίας των φυσικών ή λειτουργικών περιορισμών, μερικοί διδάσκοντες ή προπονητές δεν μπορούν να εκτελέσουν και να επιδείξουν τέλεια τις κινητικές δεξιότητες. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού λίγοι διδάσκοντες μπορούν να εκτελέσουν όλες τις δεξιότητες πολύ καλά. Η μειωμένη ικανότητα επίδειξης δεν σημαίνει και μειωμένη ικανότητα διδασκαλίας. Η κατανόηση και η γνώση εκτέλεσης των δεξιοτήτων μπορεί να αναπτυχθεί με τη μελέτη, την ανάλυση των κινήσεων και τη χρήση βοηθητικών συσκευών αναπαραγωγής βίντεο (Tzetzis, Votsis, & Kourtessis 2008). Επιπρόσθετα, οπτικά βοηθήματα και μέσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσφέρουν μια νοηματική προσαρμογή.

Παροχή οδηγιών ανατροφοδότησης

Οι διδακτικές οδηγίες είναι προτάσεις που περιγράφουν γρήγορα και αποτελεσματικά τη σωστή τεχνική εκτέλεση μιας δεξιότητας. Κατά τη διαδικασία μάθησης των αθλητικών δεξιοτήτων οι ασκούμενοι θα πρέπει να καταλαβαίνουν τα σημαντικά σημεία της εκτέλεσης επειδή η γνωστική κατανόηση οδηγεί και στην κινητική μάθηση (Ong, & Hodges 2018). Σε πολλές περιπτώσεις, όταν οι διδάσκοντες σχεδιάζουν το πώς θα διδάξουν τις δεξιότητες δεν ορίζουν τις διδακτικές

οδηγίες που θα χρησιμοποιήσουν κατά την διάρκεια της παρουσίασης. Η ανατροφοδότηση βοηθά στη μάθηση των κινήσεων (Ingram et al. 2019). Οι οδηγίες πρέπει να είναι σύντομες, περιγραφικές και τονίζουν σημαντικά σημεία της τεχνικής. Οι οδηγίες μπορεί να είναι διορθωτικές δηλαδή να εντοπίζουν το λάθος και να προτείνουν τη διόρθωση της κινητικής εκτέλεσης. Για να είναι αποτελεσματική η χρήση τους από τους ασκούμενους θα πρέπει να είναι ακριβείς και να δίνονται με τον σωστό τρόπο. Θα πρέπει να καθοδηγούν τον μαθητή αλλά και να είναι μέρος της διαδικασίας που έχει ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητας στη διδασκαλία και να διευκολύνουν την προσαρμογή της κίνησης σε νέα πρότυπα. Οι οδηγίες δράσης θα πρέπει να είναι σύντομες και να περιγράφουν τα πιο σημαντικά σημεία. Αποφεύγετε να τα περιγράφετε πιο περιφραστικά. Για να αποφύγετε την υπερβολή ή τη σύγχυση επιλέξτε ένα μικρό αριθμό οδηγιών. Οι οδηγίες αυτές θα περιλαμβάνουν λέξεις κλειδιά, θα πρέπει να είναι σύντομες, θα πρέπει να ενθαρρύνουν τους ασκούμενους και να συγκεντρώνουν την προσοχή τους σε μια παράμετρο της εκτέλεσης κάθε φορά. Ένας τρόπος για να αξιολογηθεί η καταλληλότητα των οδηγιών είναι να διαπιστωθεί εάν περιλαμβάνουν πληροφορίες για τα βασικά σημεία της κίνησης. Οι οδηγίες θα πρέπει να επικεντρώνονται μόνο σε μια παράμετρο της κίνησης αφού οι αρχάριοι ασκούμενοι έχουν περιορισμένη ικανότητα συγκέντρωσης της προσοχής (Smeeton, Williams, Hodges & Ward 2005).

Σύνοψη

Είναι κατανοητό ότι υπάρχουν πολλές μεταβλητές και μέθοδοι που θα πρέπει να συνδυαστούν έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της διδασκαλίας και της εξάσκησης. Με τον καλό σχεδιασμό, προετοιμασία και οργάνωση του μαθήματος θα επιτευχθούν τα επιδιωκόμενα μαθησιακά αποτελέσματα.

Πρακτικές εφαρμογές ή πρακτικές συμβουλές ή κεντρικά σημεία κεφαλαίου

- Για να οργανωθεί σωστά η εξάσκηση ή το μαθησιακό περιβάλλον ο διδάσκων θα πρέπει να λάβει υπόψη του όλους τους παράγοντες και να κατορθώσει να συνδυάσει τις μεθόδους εξάσκησης με ποιότητα συνδυάζοντας την κατάλληλη μέθοδο

εξάσκησης,

- για το κάθε τύπο κινητικής δεξιότητας
- για τα διαφορετικά στάδια μάθησης του ασκούμενου,
- για τα διαφορετικά περιβάλλοντα εκτέλεσης των δεξιοτήτων
- διατηρώντας ένα ιδανικό μαθησιακό περιβάλλον με έντονα τα στοιχεία του ενδιαφέροντος και της προσοχής των ασκούμενων.

Βιβλιογραφία

- Abbas, Z. A., & North, J. S. (2018). Good-vs. poor-trial feedback in motor learning: The role of self-efficacy and intrinsic motivation across levels of task difficulty. *Learning and Instruction*, 55, 105-112.
- Anastasiadi, I., & Tzetzis, G. (2013). Construct validation of the Greek version of the children's assessment of participation and enjoyment (CAPE) and preferences for activities of children (PAC). *Journal of Physical Activity and Health*, 10(4), 523-532.
- Badau, D., Baydil, B., & Badau, A. (2018). Differences among three measures of reaction time based on hand laterality in individual sports. *Sports*, 6(2), 45.
- Baisch, B., Cai, S., Li, Z., & Pinheiro, V. (2017). Reaction time of children with and without autistic spectrum disorders. *Open Journal of Medical Psychology*, 6(02), 166.
- Brown, R. M., & Penhune, V. B. (2018). Efficacy of auditory versus motor learning for skilled and novice performers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(11), 1657-1682.
- Chua, L. K., Dimapilis, M. K., Iwatsuki, T., Abdollahipour, R., Lewthwaite, R., & Wulf, G. (2019). Practice variability promotes an external focus of attention and enhances motor skill learning. *Human Movement Science*, 64, 307-319.
- Coker, C. A. (2017). *Motor learning and control for practitioners*. Routledge.
- Haworth, J. L., Vallabhajosula, S., Tzetzis, G., & Stergiou, N. (2013). Optimal variability and complexity: a novel approach for management principles. In *Chaos and Complexity Theory for Management: Nonlinear Dynamics* (pp. 328-351). IGI Global.

- Ingram, T. G., Solomon, J. P., Westwood, D. A., & Boe, S. G. (2019). Movement related sensory feedback is not necessary for learning to execute a motor skill. *Behavioural brain research*, 359, 135-142.
- Jackson, R. C., & Farrow, D. (2005). Implicit training: How, when and why? *Human Movement Science*, 24, 308-325.
- Kioumourtzoglou, E., Derri, V., Mertzanidou, O., & Tzetzis, G. (1997). Experience with perceptual and motor skills in rhythmic gymnastics. *Perceptual and Motor Skills*, 84(3_suppl), 1363-1372.
- Levac, D. E., Huber, M. E., & Sternad, D. (2019). Learning and transfer of complex motor skills in virtual reality: a perspective review. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, 16(1), 121.
- Logan, S. W., Barnett, L. M., Goodway, J. D., & Stodden, D. F. (2017). Comparison of performance on process-and product-oriented assessments of fundamental motor skills across childhood. *Journal of Sports Sciences*, 35(7), 634-641.
- Lowe, M. S., & Buchwald, A. (2017). The impact of feedback frequency on performance in a novel speech motor learning task. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(6S), 1712-1725.
- Magill, R. A. (1998). *Motor learning: Concepts and applications* (5th eds.), W.C.B: McGraw-Hill, Macison.
- Moretto, N. A., Marcori, A. J., & Okazaki, V. H. A. (2018). Contextual interference effects on motor skill acquisition, retention and transfer in sport rifle shooting. *Human Movement*, 19(2), 99-104.
- Ong, N. T., & Hodges, N. J. (2018). Balancing our perceptions of the efficacy of success-based feedback manipulations on motor learning. *Journal of motor behavior*, 50(6), 614-630.
- Post, P. G., Aiken, C. A., Laughlin, D. D., & Fairbrother, J. T. (2016). Self-control over combined video feedback and modelling facilitates motor learning. *Human Movement Science*, 47, 49-59.
- Potdevin, F., Vors, O., Huchez, A., Lamour, M., Davids, K., & Schnitzler, C. (2018). How can video feedback be used in physical education to support novice learning in gymnastics? Effects on motor learning, self-assessment and motivation. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 23(6), 559-574.

- Raab, M. (2003). Implicit and explicit learning of decision making in sports is effected by complexity of situation. *International Journal of Sport Psychology*, 34, 273-288.
- Smeeton, J. N., Williams, M. A., Hodges, J. N., & Ward, P. (2005). The relative effectiveness of various instructional approaches in developing anticipation skill in a 'real world' task. *Journal of Experimental Psychology*, 11, 98-110.
- Tzetzis, G., Goudas, M., Kourtessis, T., & Zisi, V. (2002). The relation of goal orientations to physical activity in physical education. *European Physical Education Review*, 8(2), 177-188.
- Tzetzis, G., & Lola, A. C. (2015). The effect of analogy, implicit, and explicit learning on anticipation in volleyball serving. *International Journal of Sport Psychology*, 46(2), 152-166.
- Tzetzis, G., & Votsis, E. (2006). The effect of different feedback methods on badminton skills acquisition and retention. *Perceptual and Motor Skills*, 102, 275-284.
- Tzetzis, G., Votsis, E., & Kourtessis, T. (2008). The effect of different corrective feedback methods on the outcome and self-confidence of young athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(3), 371.
- Zetou, E., Tzetzis, G., Vernadakis, N., & Kioumourtzoglou, E. (2002). Modeling in learning two volleyball skills. *Perceptual and Motor Skills*, 94(3_suppl), 1131-1142.

Προπόνηση φυσικής κατάστασης

Προπόνηση δύναμης

Μπάσσα Ελένη

Περίληψη

Το θέμα της προπόνησης δύναμης στα παιδιά έχει απασχολήσει ιδιαίτερα ερευνητές, προπονητές και καθηγητές φυσικής αγωγής και αποδείχθηκε ότι απαιτούνται κατάλληλα σχεδιασμένα προγράμματα δύναμης για να προκαλέσουν στα παιδιά προσαρμογές μεγαλύτερες από τη φυσιολογική με την ωρίμανση ανάπτυξη της δύναμης. Ποικίλα προπονητικά μέσα έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά για τη βελτίωση της δύναμης των παιδιών και οι βελτιώσεις αποδόθηκαν κύρια σε νευρομυϊκές και όχι σε μορφολογικές προσαρμογές παρότι ερευνητικά δεδομένα αφήνουν ανοιχτό αυτό το ενδεχόμενο. Η προπόνηση δύναμης ακόμα και με εξωτερικές αντιστάσεις είναι ασφαλής για τα παιδιά εάν εκτελείται με τη σωστή τεχνική, υπό συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση ενώ αποτελεί μέσο πρόληψης τραυματισμών. Ακολουθώντας τις τάσεις των τελευταίων ερευνητικών δεδομένων, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τρέχουσες πληροφορίες σχετικά με την προπόνηση δύναμης των παιδιών με σκοπό να εμπλουτίσουν τη θεωρητική γνώση και να κατευθύνουν την εφαρμογή της στην πράξη.

Εισαγωγή

Η κατανόηση της ανταπόκρισης των παιδιών στα προπονητικά ερεθίσματα δύναμης θα πρέπει να βασίζεται σε ερευνητικά δεδομένα και όχι σε υποθέσεις ή μύθους. Η εμπειρισταωμένη γνώση προτείνεται να θέτει τα όρια άσκησης των παιδιών και να βρίσκει εφαρμογή στην πράξη αποτελώντας τον γνώμονα σύμφωνα με τον οποίο οι προπονητές και οι καθηγητές φυσικής αγωγής θα σχεδιάζουν προγράμματα δύναμης κατάλληλα και ασφαλή για τα παιδιά, που βιώνουν έντονες αλλαγές κατά τη διάρκεια της πορείας τους προς την ενηλικίωση.

Ορολογία

Πριν την παράθεση της πληροφορίας σχετικά με την προπόνηση της δύναμης κατά την αναπτυξιακή περίοδο κρίνεται σκόπιμο να διευκρινιστούν οι όροι που θα χρησιμοποιηθούν.

- **Παιδική ηλικία:** η αναπτυξιακή περίοδος μέχρι την είσοδο στην εφηβεία.
- **Παιδιά:** κορίτσια και αγόρια ηλικίας έως 11 και 13 ετών, αντίστοιχα.
- **Κορύφωση του ύψους ή εφηβικό άλμα:** η χρονική στιγμή που παρατηρείται ο μέγιστος ετήσιος ρυθμός αύξησης του ύψους και χρησιμοποιείται ως ορόσημο για την είσοδο στην εφηβεία. Σύμφωνα με αυτήν γίνεται διάκριση σε:
 - **προέφηβα παιδιά:** τουλάχιστον 1 χρόνο πριν την κορύφωση του ύψους
 - **παιδιά στην αρχή της εφηβείας:** 1 χρόνο πριν ή μετά την κορύφωση του ύψους
 - **έφηβα:** τουλάχιστον 1 χρόνο μετά την κορύφωση του ύψους

Καταλληλότητα - Αποτελεσματικότητα της προπόνησης δύναμης

Παλαιότερα, η καταλληλότητα της προπόνησης δύναμης κατά την ανάπτυξη αποτέλεσε αντικείμενο αντιπαραθέσεων. Τις τελευταίες δεκαετίες, ωστόσο, έχει αναγνωρισθεί ως απαραίτητο προπονητικό μέσο τόσο στον αγωνιστικό αθλητισμό όσο και στη σχολική φυσική αγωγή (Faigenbaum et al., 2013). Τελευταία, η Διεθνής Ολυμπιακή Επιτροπή τόνισε ότι οι νεαροί αθλητές/αθλήτριες που δεν συμμετέχουν σε προπονητικά προγράμματα δύναμης κατά την αναπτυξιακή περίοδο θα παρουσιάσουν αναπόφευκτα, αργότερα στη ζωή τους, ελλείματα δύναμης (Bergeron et al., 2015) καθώς οι διαφορές δύναμης μεταξύ προπονημένων στη δύναμη και μη παιδιών εντείνονται όλο και περισσότερο με την πρόοδο της ηλικίας. Την ανάγκη ενδυνάμωσης στην παιδική ηλικία αναδεικνύουν και έρευνες οι οποίες συσχετίζουν τη μυϊκή ενδυνάμωση με τη βελτίωση της στάσης του σώματος, της σύστασης του σώματος καθώς και της οστικής πυκνότητας (Collins et al., 2018; Torres-Costoso et al., 2020). Αντίθετα, παιδιά με χαμηλά επίπεδα δύναμης είναι πιθανότερο να παρουσιάσουν προβλήματα όπως σκολίωση, παχυσαρκία (Tomlinson et al., 2016) καθώς και χαμηλή αυτοπεποίθηση σχετικά με τις φυσικές τους ικανότητες με αποτέλεσμα την περιορισμένη συμμετοχή τους σε αθλητικές δραστηριότητες (Fransen et al., 2014), στάση που μπορεί να οδηγήσει στη διά

βίου αποχή από την άθληση με σοβαρές επιπτώσεις για την υγεία (Telama et al., 2014).

Οι προσαρμογές της ενδυνάμωσης στην παιδική ηλικία πολλές φορές επισκιάζονται από την αναπόφευκτη βελτίωση της δύναμης κατά την αναπτυξιακή περίοδο. Προγράμματα, για παράδειγμα, χαμηλού όγκου και μικρής χρονικής διάρκειας φαίνεται ότι δεν μπορούν να δημιουργήσουν προσαρμογές που να μπορούν να διακριθούν από αυτές της φυσιολογικής ανάπτυξης (Tanner, 1962). Διαπιστώνεται λοιπόν ότι απαιτούνται κατάλληλα σχεδιασμένα για τα παιδιά προγράμματα ενδυνάμωσης για να προκαλέσουν προσαρμογές μεγαλύτερες της αναμενόμενης φυσιολογικής ανάπτυξης της δύναμης προοδευτικά με την ηλικία.

Συνήθως η δύναμη διαφοροποιείται ανάλογα με το επίπεδο συγκέντρωσης των ορμονών. Παρόλα αυτά, μετα-ανάλυση που έλεγξε τις προσαρμογές της προπόνησης δύναμης σε παιδιά και εφήβους διαπίστωσε μια γραμμική αύξηση της προπονησιμότητας με την ηλικία χωρίς αύξηση του ρυθμού της με την είσοδο στην εφηβεία (Behringer et al., 2010), αφήνοντας ανοιχτό το ενδεχόμενο οι ηλικιακές διαφορές των προσαρμογών να μην εξαρτώνται μόνο από τα επίπεδα της ωρίμανσης. Πάντως τα παιδιά και των δύο φύλων είναι ικανά να αυξήσουν τη δύναμή τους ήδη από την παιδική ηλικία (Falk and Tenenbaum, 1996; Granacher et al., 2011; Payne et al., 1997; Waugh et al., 2014). Τα κέρδη δύναμης σε σχέση με τις τιμές πριν την προπόνηση στα παιδιά φαίνεται να είναι παρόμοια (Lillegard et al., 1997; Pfeiffer and Francis, 1986) ή και μεγαλύτερα από αυτά των εφήβων (Lesinski et al., 2020; 2016; Sander et al., 2013), εύρημα που αποδόθηκε στη μεγαλύτερη πλαστικότητα του νευρικού συστήματος των παιδιών (Ramsay et al., 1990). Οφέλη δύναμης παρατηρήθηκαν μετά από διαφορετικά προπονητικά προγράμματα που χρησιμοποίησαν διαφορετικά μέσα προπόνησης όπως ελεύθερα βάρη (Faigenbaum and McFarland, 2007), μηχανήματα (Granacher et al., 2011; Meylan et al., 2014), ιατρικές μπάλες (Szymanski et al., 2007), λάστιχα (Annesi et al., 2005) κ.λ.π. ή απλά το σωματικό βάρος του ασκούμενου (Falk and Mor, 1996).

Μηχανισμοί βελτίωσης της δύναμης

Τα οφέλη δύναμης που παρατηρούνται μετά από την προπόνηση κατά τη παιδική-προεφηβική περίοδο έχουν αποδοθεί σε νευρομυϊκές και όχι σε μορφολογικές προσαρμογές (Granacher et al., 2011; Ramsay et al., 1990) καθώς τα χαμηλά

επίπεδα συγκέντρωσης των ανδρογόνων δεν ευνοούν τη μυϊκή υπερτροφία (Vingren et al., 2010). Παρόλα αυτά το γεγονός της μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας προγραμμάτων με τα ίδια χαρακτηριστικά επιβάρυνσης αλλά μεγαλύτερης διάρκειας υποδεικνύουν ότι τα κέρδη δύναμης δεν οφείλονται μόνο σε νευρομυϊκές προσαρμογές που, ως γνωστό, λαμβάνουν χώρα τις πρώτες εβδομάδες της προπόνησης (Behringer et al., 2010). Παραμένει λοιπόν να διερευνηθεί αν καλά δομημένα μακρόχρονα προγράμματα δύναμης μπορούν να προκαλέσουν και μορφολογικές διαφοροποιήσεις όπως είχε προταθεί από προηγούμενες έρευνες (Fukunaga et al., 1992; McNee et al., 2009; Stenevi-Lundgren et al., 2009)

Μέχρι αποδείξεως των πιθανών μορφολογικών προσαρμογών, οι όποιες αυξήσεις δύναμης με την προπόνηση στα παιδιά αποδίδονται σε νευρομυϊκές προσαρμογές όπως η αύξηση της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων (Legerlotz et al., 2016; Ozmun and Mikesky, 1994) και η βελτίωση του συσταλτού μηχανισμού (όπως διαπιστώθηκε από την αύξηση της προκλητής ροπής) (Ramsay et al., 1990).

Το ενδιαφέρον των ερευνητών στράφηκε και στις ηλικιακές διαφορές στην εκρηκτική δύναμη που αξιολογείται με τον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης/ροπής (ΡΑΔ/ΡΑΡ) (Falk et al., 2009a, 2009b) και στους πιθανούς παράγοντες που τον διαφοροποιούν. Ο ΡΑΔ σχετίζεται υψηλά με τον αριθμό των κινητικών μονάδων που ενεργοποιούνται αλλά και με το ρυθμό αύξησης της ενεργοποίησής τους καθώς και με άλλους παράγοντες όπως η σκληρότητα του μυοτενόντιου συμπλέγματος (Waugh et al., 2013). Η αύξηση της σκληρότητας με την ηλικία μικραίνει τον χρόνο μεταξύ της μυϊκής ενεργοποίησης και της παραγωγής της δύναμης (δηλαδή την ηλεκτρομηχανική καθυστέρηση) και αυξάνει τον ρυθμό ανάπτυξής της. Προπόνηση 10 εβδομάδων με εξωτερικές αντιστάσεις με συχνότητα εφαρμογής 2 φορές/εβδομάδα αύξησε τη σκληρότητα του αχίλλειου τένοντα, μείωσε την ηλεκτρομηχανική καθυστέρηση αλλά δεν αύξησε τον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης λόγω πιθανά της αργής εκτέλεσης που είχε επιλεγεί (Waugh et al., 2014). Αποδείχθηκε όμως ότι η προπόνηση δύναμης προκαλεί και προσαρμογές στον τένοντα ήδη από την παιδική ηλικία που πιθανά μπορούν να δικαιολογήσουν εν μέρει και βελτιώσεις σε κινήσεις ισχύος των παιδιών μετά από προπόνηση δύναμης (Granacher et al., 2011).

Ηλικία έναρξης της προπόνησης δύναμης

Ένα ερώτημα που έχει απασχολήσει όσους ασχολούνται με την προπόνηση των παιδιών είναι η ηλικία που μπορεί ένα αγόρι ή κορίτσι να αρχίσει την προπόνηση δύναμης. Ερευνητικά δεδομένα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ήδη από την ηλικία των 6 ετών (Falk and Mor, 1996) τα παιδιά μπορούν να συμμετέχουν σε κατάλληλα σχεδιασμένα προγράμματα (Medicine, 2018) με την προϋπόθεση της προηγούμενης εκπαίδευσής τους στη σωστή τεχνική εκτέλεση και της συνεχούς επίβλεψης (Faigenbaum and Myer, 2010). Θεωρείται επίσης αναγκαίο τα παιδιά να έχουν φτάσει σε επίπεδο ωρίμανσης, φυσικής και νοητικής, τέτοιο ώστε να μπορούν να συμμετέχουν σε αθλητικές δραστηριότητες αλλά και να αντιλαμβάνονται και να ακολουθούν με ευκολία τις εντολές εκτέλεσης των ασκήσεων (Faigenbaum, 2002).

Κίνδυνος τραυματισμού και αναστολής της ανάπτυξης

Παλιότερα είχε εκφραστεί η ανησυχία ότι η έντονη άσκηση μπορεί να αλλάξει τους ρυθμούς ανάπτυξης των παιδιών, ωστόσο τα αποτελέσματα αρκετών ερευνών απέδειξαν ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει (Malina et al., 2004). Επίσης, υπήρχε και υπάρχει ακόμα η αντίληψη ότι η χρήση εξωτερικών αντιστάσεων ενέχει τον κίνδυνο τραυματισμών και πιθανής χρόνιας βλάβης του αναπτυσσόμενου σκελετού των παιδιών και κύρια των αναπτυξιακών τους χόνδρων (Myer and Wall, 2006). Σχετικές έρευνες δεν επιβεβαίωσαν ότι αυτό ισχύει αλλά αντίθετα απέδειξαν ότι η μηχανική επιβάρυνση που δέχεται το αναπτυσσόμενο οστό με την προπόνηση δύναμης είναι ευεργετική για την ανάπτυξη και τη μορφοποίησή του καθώς αυξάνει την οστική πυκνότητα (Faigenbaum and Myer, 2010; Falk and Eliakim, 2003; Malina, 2006; Virvidakis et al., 1990).

Παρότι η προπόνηση με εξωτερικές αντιστάσεις ενέχει μια κάποια πιθανότητα τραυματισμού, αυτή έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι μεγαλύτερη από όταν τα παιδιά συμμετέχουν σε οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα, αθλητική ή αναψυχής (Hamil, 1994). Τα παιδιά παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά τραυματισμών λόγω ατυχήματος (π.χ. πτώσης κάποιου βάρους), λανθασμένης τεχνικής ή απότομης αύξησης της αντίστασης. Επομένως, η προπόνηση με εξωτερικές αντιστάσεις μπορεί να είναι ασφαλής εάν εκτελείται με τη σωστή τεχνική υπό τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγηση έμπειρου ενήλικα (Myer et al., 2009).

Διερευνήθηκε επίσης και η πιθανότητα τραυματισμού νεαρών αθλητών άρσης βαρών και διαπιστώθηκε ότι η άρση βαρών είναι ένα σχετικά ασφαλές άθλημα για παιδιά και εφήβους. Παρότι απαιτεί υψηλό συντονισμό, τα παιδιά είναι ικανά να εκτελούν σωστά τις άρσεις (Faigenbaum and Westcott, 2009) με χαμηλή αντίσταση, μετά από πολύωρη εξάσκηση της τεχνικής και προτείνεται να εκτελούν τις αγωνιστικές άρσεις αφού μάθουν πρώτα άρτια τις βασικές ασκήσεις (π.χ. ημικάθισμα).

Η ενδυνάμωση με εξωτερικές αντιστάσεις, εκτός του ότι αποτελεί έναν ασφαλή και αποτελεσματικό τρόπο άσκησης, φαίνεται ότι μπορεί να μειώσει και τη συχνότητα εμφάνισης τραυματισμών σε παιδιά και εφήβους (Faigenbaum and McFarland, 2007; Faude et al., 2017) καθώς προκαλεί ευεργετικές προσαρμογές στους συνδέσμους και στα οστά (Behringer et al., 2014; Micheli and Nielson, 2008). Η προσθήκη ασκήσεων ενδυνάμωσης με εξωτερικές αντιστάσεις μείωσε τους τραυματισμούς σε νέους ποδοσφαιριστές (Cahill and Griffith, 1978) και βοήθησε να αναρρώσουν γρηγορότερα μετά από τραυματισμό σε σύγκριση με συνομηλίκους τους αθλητές που έκαναν μόνο προπόνηση ποδοσφαίρου (Hejna et al., 1982). Θετική αποδείχθηκε επίσης η προπόνηση με βάρη και στην πρόληψη τραυματισμών πρόσθιου χιαστού σε κορίτσια που παρουσιάζουν γενικότερα επιρρέπεια σε αυτόν τον τραυματισμό κατά την εφηβεία (Hewett et al., 2005) λόγω πιθανά της αύξησης της γωνίας Q (Hewett et al., 2006).

Τα τελευταία χρόνια οι προηγούμενες ανησυχίες σχετικά με το αν πρέπει το παιδί να σηκώνει βάρη μετατράπηκαν στην ανησυχία του τι θα συμβεί αν το παιδί δεν σηκώνει βάρη. Τέθηκε το πρόβλημα της παιδικής «δυναπενίας» (δανειζόμενη από τα ελληνικά φράση «φτωχή δύναμη») (Faigenbaum and Bruno, 2017), των ελλειμμάτων δηλαδή δύναμης στα παιδιά που δεν σχετίζονται με νευρολογική ή μυϊκή νόσο και είναι αναστρέψιμη με την προπόνηση δύναμης. Για την προαγωγή της υγείας έχει προταθεί η συμμετοχή των παιδιών καθημερινά σε προγράμματα άσκησης, τουλάχιστον 60 λεπτών (Myer et al., 2015). Εάν δεν καλυφθούν ελλείμματα δύναμης και δεν δημιουργηθούν αποθέματα δύναμης νωρίς στην παιδική ηλικία, τα παιδιά δεν θα αναπτύξουν σωστά βασικές κινητικές δεξιότητες, θα υπολείπονται επιδόσεων τόσο στα σπορ όσο και στα παιχνίδια αναψυχής από τους συνομηλίκους τους, γεγονός που πιθανά να τους αποθαρρύνει να εμπλακούν αργότερα σε μορφές άσκησης/άθλησης ακόμα και της απλής καθημερινής άσκησης.

σης των 60 λεπτών που προτείνεται ως σημαντική για την υγεία (Stricker et al., 2020).

Προτεινόμενα πρωτόκολλα ενδυνάμωσης

Είναι σημαντική η επιλογή των ασκήσεων δύναμης να γίνεται ανάλογα με το επίπεδο ωρίμανσης και το επίπεδο φυσικής κατάστασης αλλά και τεχνικής κατάρτισης των παιδιών (Faigenbaum et al., 2011).

Προτείνεται να προηγούνται ασκήσεις που διεγείρουν κύρια τις μεγάλες μυϊκές ομάδες (Fleck et al., 1997) χρησιμοποιώντας το βάρος του σώματος όπως μμήσεις ζώων αλλά και έλξεις, ωθήσεις, κάμψεις, καθίσματα και ισομετρικού τύπου ασκήσεις αλλά και συνασκήσεις με παιγνιώδη μορφή (π.χ. το ένα παιδί έλκει το άλλο ενώ εκείνο αντιστέκεται), με κύρια επιδίωξη την ποιότητα και τον απόλυτο έλεγχο των κινήσεων και στη συνέχεια μπορεί να αυξάνεται ο βαθμός δυσκολίας των ασκήσεων (Faigenbaum and Bruno, 2017). Αυτός ο τρόπος ενδυνάμωσης, συνδυαστικά με ασκήσεις επιδεξιότητας, ισορροπίας και δρομικής αντοχής, προτείνεται ως το αρχικό στάδιο προετοιμασίας των παιδιών πριν ξεκινήσουν την κανονική προπόνηση δύναμης ώστε να μπορεί το αναπτυσσόμενο μυοσκελετικό τους σύστημα να διαχειριστεί τις μετέπειτα επιβαρύνσεις (Παράσχος και Κοτζαμανίδης, 2015).

Η εξάσκηση της δύναμης με το βάρος του σώματος γνωστή ως «καλλισθениκή» αποτελεί μορφή άσκησης που ενσωματώθηκε με επιτυχία στα προγράμματα φυσικής αγωγής σε χώρες όπως η Κίνα και η Ιαπωνία με στόχο να αντιμετωπισθεί η υποκινητικότητα των παιδιών (Cui et al., 2011). Θεωρείται μια πρακτική, χαμηλού κόστους (χωρίς ανάγκη για εξοπλισμό) μορφή ενδυνάμωσης, που μπορεί με ευκολία να ενσωματωθεί στα προγράμματα φυσικής αγωγής και άλλων χωρών, με θετικά αποτελέσματα στη βελτίωση της δύναμης όταν εφαρμόζεται 2 φορές την εβδομάδα (Santos et al., 2015)

Στο πλαίσιο της ενδυνάμωσης με το βάρος του σώματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η συνεχόμενη κυκλική προπόνηση όπου σε κάθε άσκηση εκτελείται το 50% των μέγιστων επαναλήψεων που μπορεί να πραγματοποιήσει ο ασκούμενος σε 30'' ή 1' (Παράσχος και Κοτζαμανίδης, 2015). Τα χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά συνεχόμενης κυκλικής προπόνησης

Ένταση	50% του ΜΑΕ σε χρονική διάρκεια εκτέλεσης 30" ή 1'
Αριθμός ασκήσεων	8-12
Αριθμός Περιφορών	3-6
Αριθμός κύκλων	1-2
Διάλειμμα	Δεν δίνεται διάλειμμα μεταξύ των περιφορών παρά μόνο μεταξύ των κύκλων 2-3 min.

Στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην κυκλική προπόνηση και μικρές αντιστάσεις (αληθράκια, λάστιχα, ιατρικές μπάλες κ.λ.π.)

Πρόσφατη έρευνα επιβεβαίωσε την αποτελεσματικότητα της συστηματικής κυκλικής προπόνησης ακόμα και όταν εφαρμόζεται μόνο για λίγα λεπτά (7-9 λεπτά) ως συμπληρωματική της προπόνησης σε αθλήτριες της «γυμναστικής για όλους» (Karagianni et al., 2020) και θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί αν είναι το ίδιο αποτελεσματική η εφαρμογή της και σε άλλα αθλήματα/αγωνίσματα.

Προτείνεται η προπόνηση των παιδιών με εξωτερικές αντιστάσεις να ξεκινάει με μηχανήματα προσαρμοσμένα στο μέγεθός τους, ενώ ταυτόχρονα θα διδάσκονται την τεχνική εκτέλεσης των αντίστοιχων ασκήσεων δύναμης με ελεύθερα βάρη. Τα μηχανήματα θεωρούνται κατάλληλα για αρχάριους στην προπόνηση δύναμης γιατί περιορίζεται ο κίνδυνος τραυματισμού.

Καθώς η ενδυνάμωση σε μηχανήματα, παρότι παρέχει ασφάλεια, θεωρείται ένα «φτωχό» ιδιοδεκτικά ερέθισμα (French et al., 2014), προτείνεται αφού τα παιδιά αποκτήσουν ένα προαπαιτούμενο επίπεδο δύναμης και τεχνικής κατάρτισης να προχωρήσουν στην προπόνηση με ελεύθερα βάρη πάντοτε υπό συνεχή καθοδήγηση και επίβλεψη. Τα ελεύθερα βάρη επιτρέπουν πολυ-επίπεδες κινήσεις σε ποικιλία ταχυτήτων. Οι βαθμοί ελευθερίας της κίνησης απαιτούν και έτσι αναπτύσσουν όχι μόνο τη δύναμη αλλά και μεγαλύτερη ισορροπία και σταθερότητα (Nathan and Scobell, 2012).

Οι παράμετροι ενός προγράμματος με εξωτερικές αντιστάσεις σύμφωνα με τις οδηγίες εθνικών φορέων σχετικά με την προπόνηση δύναμης στα παιδιά (Behm et al., 2008; Faigenbaum et al., 2009; Lloyd et al., 2014; Stricker et al., 2020) συνοψίζονται παρακάτω:

Προθέρμανση

Ενδείκνυται να προηγείται της προπόνησης δύναμης δυναμική προθέρμανση που θα περιλαμβάνει τρέξιμο συνεχές ή σε παιγνιώδη μορφή και δυναμικές διατάξεις και ασκήσεις όπως χαμηλής-μέτριας έντασης αναπηδήσεις, άλματα, προβολές κ.λ.π. (Faigenbaum and McFarland, 2007).

Επιλογή ασκήσεων - σειρά εκτέλεσης

Είναι σημαντικό να επιλέγονται ασκήσεις εξατομικευμένες που να ταιριάζουν στο μέγεθος σώματος και στην τεχνική κατάρτιση του παιδιού. Αν έχουν ολοκληρωθεί τα προαναφερθέντα στάδια εξάσκησης της δύναμης μπορεί το παιδί να ξεκινήσει την προπόνηση με ελεύθερα βάρη, με απλές ασκήσεις και χαμηλές εντάσεις που να εκτελούνται σε όλο το εύρος της κίνησης και σταδιακά να περάσει σε δυσκολότερες, όσο αποκτά εμπειρία και αυτοπεποίθηση. Οι πολυαρθρικές κινήσεις, όπως οι ασκήσεις της άρσης βαρών και παράγωγά τους, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν (Channell and Barfield, 2008) υπό την προϋπόθεση της ποιοτικής καθοδήγησης (Lloyd et al., 2014). Οι πολυαρθρικές ασκήσεις, προτείνεται να προηγούνται των μονοαρθρικών. Με αυτόν τον τρόπο εκτελούνται οι πιο απαιτητικές ασκήσεις πριν επέλθει η κόπωση (Balsamo et al., 2013).

Ένταση

Πριν την επιλογή της έντασης θα πρέπει να προσδιοριστεί η μία μέγιστη προσπάθεια του ασκούμενου (1 repetition maximum-RM) δηλαδή η αντίσταση που μπορεί να σηκώσει μόνο μία φορά. Προηγούμενες έρευνες επιβεβαίωσαν ότι η αξιολόγηση της μίας μέγιστης προσπάθειας είναι ασφαλής τόσο στους εφήβους (Faigenbaum et al., 2012) όσο και στα παιδιά (Faigenbaum et al., 2003) αν τηρούνται προκαθορισμένα πρωτόκολλα αξιολόγησής της. Παρόλα αυτά μπορεί να αξιολογηθεί και έμμεσα με εξισώσεις που υπολογίζουν, με μικρότερη βέβαια ακρίβεια, το 1 RM για να αποφευχθούν οι μέγιστες επιβαρύνσεις (Kraivit et al., 2003; Mayhew et al., 2004). Επίσης μπορεί επικουρικά να χρησιμοποιούνται κλίμακες υποκειμενικής κόπωσης (Robertson et al., 2005) όπου τα παιδιά να επιδεικνύουν το επίπεδο της κόπωσης που αισθάνονται κατά την αξιολόγηση, για να γίνεται αντιληπτό αν πλησιάζουν στη μέγιστη προσπάθεια.

Κατά την προπόνηση με ελεύθερα βάρη, όπως στους αρχάριους έτσι και στα παιδιά, δεν έχει νόημα να αξιολογηθεί η μία μέγιστη προσπάθεια και για αυτό

προτείνεται να ξεκινούν με πολύ χαμηλές εντάσεις που να μπορούν να διαχειριστούν και όταν αναπτύξουν ένα προαπαιτούμενο επίπεδο τεχνικής και δύναμης να προχωρήσουν σε μεγαλύτερες εντάσεις. Όμοια, όταν χρησιμοποιούνται ολυμπιακές άρσεις προτείνεται να εκτελούνται λίγες επαναλήψεις σε όλο το εύρος της κίνησης με σχετικά χαμηλή ένταση και να δίνεται έμφαση στην άρτια τεχνική εκτέλεση για την ανάπτυξη του καλύτερου κινητικού ελέγχου. Συνεχής ανατροφολόγηση κρίνεται αναγκαία λόγω της υψηλής τεχνικής απαίτησης.

Γενικά διαφορετικοί συνδυασμοί σετ και επαναλήψεων φαίνεται ότι είναι αποτελεσματικοί. Σε παιδιά με προηγούμενη εμπειρία προτείνεται να εκτελούν 1-2 σετ των 8-12 επαναλήψεων με χαμηλή ένταση (<60% 1RM) σε μια ποικιλία ασκήσεων. Στη συνέχεια μπορεί να αυξηθεί η ένταση κατά 5-10% με μείωση των επαναλήψεων.

Καθώς έχει βρεθεί υψηλή συσχέτιση της μέσης έντασης με τα κέρδη απόδοσης (Behringer et al., 2011) προτείνεται οι πιο έμπειροι και ώριμοι ασκούμενοι αφού τελειοποιήσουν την τεχνική και οικειοποιηθούν τις μέτριες εντάσεις να χρησιμοποιούν και υψηλές (<6 επαναλήψεις, >80%RM). Επίσης προοδευτικά προτείνεται να εναλλάσσονται στους εφήβους χαμηλές, μέτριες και υψηλές εντάσεις για ακόμα καλύτερες προσαρμογές (Moraes et al., 2013).

Διάλειμμα

Καθώς τα παιδιά κοπώνονται λιγότερο από τους ενήλικες και αναλαμβάνουν γρηγορότερα από αυτούς σε ασκήσεις υψηλής έντασης, θεωρείται ότι αρκεί να μεσολαβεί διάλειμμα 1 λεπτού μεταξύ των σετ για να αναλάβουν και μπορεί να φτάσει τα 3 λεπτά όταν εκτελούνται ασκήσεις υψηλότερης έντασης (Faigenbaum et al., 2008).

Συχνότητα προπόνησης

Έχει προταθεί ότι η προπόνηση δύναμης στα παιδιά θα πρέπει να πραγματοποιείται 2-3 φορές την εβδομάδα σε μη συνεχόμενες ημέρες. Παρότι διαπιστώθηκε ότι υπάρχει θετική συσχέτιση της συχνότητας προπόνησης και των κερδών απόδοσης (Behringer et al., 2010) δεν προτείνεται περαιτέρω αύξηση της συχνότητας προπόνησης δύναμης για να κερδίζει ο αναπτυσσόμενος οργανισμός των παιδιών τους τους απαραίτητους χρόνους ξεκούρασης.

Ταχύτητα εκτέλεσης

Προτείνεται η προπόνηση δύναμης να ξεκινήσει με μέτριες ταχύτητες και με την απόκτηση της εμπειρίας να χρησιμοποιούνται υψηλές ταχύτητες οι οποίες βελτιώνουν τον ρυθμό ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων (Lloyd et al., 2014). Επίσης όταν η υψηλή ταχύτητα εκτέλεσης δεν είναι εφικτή, λόγω πιθανά της αντίστασης που χρησιμοποιείται, θα πρέπει να ενθαρρύνονται οι ασκούμενοι να εκτελούν την άσκηση με την πρόθεση εκρηκτικής εκτέλεσης για καλύτερα νευρομυϊκά αποτελέσματα (Kawamori and Newton, 2006).

Μορφές προπόνησης - συνδυαστικά προγράμματα

Στις μικρές ηλικίες θεωρείται ως καταλληλότερη για την προαγωγή της υγείας και την πρόληψη των τραυματισμών η **νευρομυϊκή προπόνηση** (Myer et al., 2011a, 2011b; Steib et al., 2017) που περιλαμβάνει ποικίλα ερεθίσματα όπως ασκήσεις δυναμικής ισορροπίας, δύναμης κορμού, πλειομετρικές, επιδεξιότητας και ασκήσεις με εξωτερικές αντιστάσεις. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η προπόνηση δύναμης θα πρέπει να συνδυάζεται με άλλους τύπους προπόνησης για να είναι ακόμα πιο ολοκληρωμένη η εκγύμναση των παιδιών.

Η προπόνηση με ελεύθερα βάρη, που προαναφέρθηκε, θεωρείται η πιο αποτελεσματική για την ανάπτυξη της δύναμης (Lesinski et al., 2016) γιατί προαπαιτεί τη σταθεροποίηση του κορμού και των αρθρώσεων των άνω και κάτω άκρων για να μπορέσουν τα παιδιά να ελέγξουν τους βαθμούς ελευθερίας των κινήσεων (Behm et al., 2010) και μιμείται αθλητικές κινήσεις (Faigenbaum and Westcott, 2009). Για αυτό τον λόγο προτείνεται η **προπόνηση ισορροπίας** να προηγείται της προπόνησης δύναμης ή ισχύος ώστε να είναι μεγαλύτερα τα οφέλη και να μειωθεί στο ελάχιστο η πιθανότητα τραυματισμού (McGuine and Keene, 2006).

Η **πλειομετρική προπόνηση** βελτιώνει τη δύναμη (Moran et al., 2019; Ramirez-Campillo et al., 2020) αλλά θεωρείται κατάλληλη και για τη βελτίωση της ισχύος (Behm et al., 2017) καθώς χαρακτηρίζεται από τον ευνοϊκότερο συνδυασμό δύναμης και ταχύτητας (Black, 2014) και στοιχεία από έρευνες σε παιδιά τεκμηρίωσαν την αποτελεσματικότητά της στο άλμα και στην ταχύτητα (Collins et al., 2019; Meylan and Malatesta, 2009). Διαπιστώθηκε ότι όταν προηγείται η προπόνηση ισορροπίας της πλειομετρικής προπόνησης έχει καλύτερα αποτελέσματα από ότι αν συνέβαινε το αντίθετο (Hammami et al., 2016). Επίσης όταν

συνδυάζεται η πλειομετρική προπόνηση με την προπόνηση ισορροπίας χρειάζεται ο μισός όγκος πλειομετρικών ασκήσεων για να έχει τα ίδια αποτελέσματα με τη μεμονωμένη πλειομετρική προπόνηση (Murphy et al., 2014).

Η προπόνηση δύναμης έχει επίσης θετική επίδραση στην ισχύ των παιδιών (Behringer et al., 2010; Collins et al., 2019; Lesinski et al., 2016) επηρεάζοντας αποτελεσματικά το άλμα, την ταχύτητα, την αλλαγή κατεύθυνσης, τη ρίψη αλλά και την αγωνιστική απόδοση (Lesinski et al., 2020). Ο **συνδυασμός προπόνησης με εξωτερικές αντιστάσεις και πλειομετρικής** στην ίδια προπονητική μονάδα θεωρείται ο καλύτερος για τη βελτίωση των εκρηκτικών κινήσεων (Ingle et al., 2006; Peitz et al., 2018; Yáñez-García et al., 2019; Zghal et al., 2019) με μεγαλύτερα οφέλη στην εφηβεία, όπου βελτιώνεται και η διαχείριση του κύκλου διάτασης βράχυνσης. Προτάθηκε όμως να προηγείται η προπόνηση δύναμης της πλειομετρικής και του συνδυασμού τους (Behm et al., 2017; Pichardo et al., 2019a) καθώς χρειάζονται προαπαιτούμενα επίπεδα δύναμης για να αυξηθεί η ισχύς. Επίσης ο συνδυασμός αυτός βελτιώνει σημαντικά την τεχνική των προσγειώσεων μετά από άλμα (Pichardo et al., 2019b) και μπορεί να συμπεριληφθεί στις μεθόδους πρόληψης τραυματισμών των παιδιών.

Η προπόνηση με **εξωτερικές αντιστάσεις** μπορεί να συνδυαστεί και με **προπόνηση ταχύτητας** σε έφηβα όμως παιδιά. Ένα πρόγραμμα ενδυνάμωσης 10 εβδομάδων όπου μεταξύ των 5 σετ δύναμης (ένταση: 8-5 RM) εκτελούνταν ένα σπριντ, επέφερε βελτιώσεις στους χρόνους δρομικής ταχύτητας σε έφηβους καλαθοσφαιριστές (Tsimahidis et al., 2010) και τους κατέστησε ικανούς να μπορούν να βελτιώνουν άμεσα τη δρομική τους ταχύτητα μετά από ένα έντονο ερέθισμα δύναμης (Tsimahidis et al., 2013). Παρόμοια έρευνα δεν έχει διεξαχθεί σε αθλητές παιδικής ηλικίας για να γνωρίζουμε τη δυνατότητα εφαρμογής του σε μικρότερες ηλικίες.

Ένας άλλος τύπος ενδυνάμωσης είναι η **προπόνηση με ιμάντες TRX** που χρησιμοποιεί την αστάθεια για να προπονήσει τη δύναμη, τον συντονισμό, την ισχύ και την ισορροπία. Σε αυτήν τη προπόνηση χρησιμοποιούνται ένας ή δύο σταθεροποιημένοι ιμάντες και ο ασκούμενος κρέμεται ή στηρίζεται σε αυτούς με τα χέρια ή τα πόδια ενώ τα ελεύθερα μέλη βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος (Dudgeon et al., 2015). Πρόγραμμα ενδυνάμωσης με TRX 8 εβδομάδων αύξησε την εκρηκτική δύναμη προέφηβων αγοριών παρόμοια με ένα πρόγραμμα δύναμης (Marta et al., 2019). Τα ενιαία αποτελέσματα των δύο μεθόδων συνάδουν με πα-

ρόμοιες βελτιώσεις που παρατηρήθηκαν σε προέφηβους ποδοσφαιριστές μετά από πλειομετρική προπόνηση σε σταθερές και ασταθείς επιφάνειες, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα χρήσης της προπόνησης ενδυνάμωσης σε ασταθείς επιφάνειες, ήδη από την προεφηβική ηλικία, με θετικά αποτελέσματα (Negra et al., 2017).

Έκκεντρη προπόνηση

Μία μορφή προπόνησης με πολλαπλά οφέλη είναι η **έκκεντρη προπόνηση δύναμης** που έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά της στη δύναμη, σε κινήσεις ισχύος και στην πρόληψη τραυματισμών στους ενήλικες, αθλητές και μη (Douglas et al., 2018; Franchi et al., 2014; Núñez et al., 2018; Papadopoulos et al., 2014). Ωστόσο δεν υπάρχει αρκετή πληροφορία για την αποτελεσματικότητά της σε δείκτες απόδοσης στα παιδιά. Η έκκεντρη προπόνηση δημιουργεί μυϊκές βλάβες που γίνονται έμμεσα αντιληπτές από τη μείωση της απόδοσης σε δύναμη και ισχύ αλλά και από την εμφάνιση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου που διαρκεί ακόμα και αρκετές ημέρες μετά την άσκηση (Proske and Morgan, 2001). Σχετικές πληροφορίες για τα παιδιά έδειξαν μικρότερες μειώσεις απόδοσης, λιγότερο και μικρότερης χρονικής διάρκειας μυϊκό πόνο (48 vs. 96 ώρες) σε σύγκριση με τους ενήλικες (Deli et al., 2017; Dos Santos et al., 2012; Lazaridis et al., 2018). Φαίνεται λοιπόν ότι η χρήση της έκκεντρης προπόνησης δύναμης στα παιδιά, παρά τα λίγα ερευνητικά δεδομένα, δεν θα πρέπει να δημιουργεί ανησυχίες αν ληφθεί υπόψη ότι τα αθλούμενα παιδιά πραγματοποιούν ήδη μεγάλο αριθμό προσγειώσεων, επιβραδύνσεων και αλλαγών κατεύθυνσης που ενέχουν κύρια έκκεντρες συσπάσεις.

Ανασκόπηση της σχετική βιβλιογραφίας στα παιδιά (Drury et al., 2019) πρότεινε τρεις βασικές ασκήσεις για την προσθήκη της έκκεντρης άσκησης στην προπόνηση των παιδιών: τις προσγειώσεις, την έκκεντρη ενδυνάμωση των καμπτήρων μυών του γόνατος και τη χρήση ισοαδρανειακής συσκευής (Flywheel). Οδηγίες σχετικά με την εφαρμογή τους παρέχονται στη συνέχεια.

Προσγειώσεις

Προτείνονται να διαφοροποιούνται τα ερεθίσματα ανάλογα με το στάδιο ωρίμανσης.

1. Στα προέφηβα παιδιά προτείνεται να διδάσκεται κατά την προσγειώση, μέσα από ποικίλες αλτικές ασκήσεις (οριζόντιες, κατακόρυφες κ.λπ..) χαμηλής έντασης (π.χ. αναπηδήσεις, λαγουδάκια), η απορρόφηση των δυνάμεων κρού-

σης με λύγισμα των ποδιών στο τέλος της έκκεντρης φάσης και σταθεροποίηση με στόχο την τεχνική τελειοποίηση.

2. Στα παιδιά στην αρχή της εφηβείας, όπου λόγω της αύξησης της γωνίας Q και των ασυμμετριών δύναμης, σε κορίτσια και αγόρια αντίστοιχα, πρέπει να δοθεί έμφαση στον έλεγχο της βλαισότητας των γονάτων κατά την προσγείωση και στην ισόρροπη εκγύμναση και των δύο ποδιών για να μειωθεί η πιθανότητα τραυματισμών. Έτσι όσο βελτιώνεται η τεχνική μπορούν να εκτελούνται μονοποδικές προσγειώσεις και σταδιακά να αυξηθεί η ταχύτητα εκτέλεσης των αλμάτων.
3. Μετά την κορύφωση του ύψους των παιδιών (στο μέσο της εφηβείας) προτείνεται και η ενσωμάτωση ολυμπιακών άρσεων και των παραγώγων τους με έμφαση στη διαχείριση της έκκεντρης φάσης τους.

Επίσης θεωρείται απαραίτητη η ανατροφοδότηση από έμπειρο ενήλικα, η ποικιλία των ασκήσεων και συχνότητα εφαρμογής 2-3 φορές/εβδομάδα.

Έκκεντρη ενδυνάμωση των καμπτήρων μυών του γόνατος

Η ανάπτυξη της έκκεντρης δύναμης των καμπτήρων του γόνατος θεωρείται απαραίτητη για την πρόληψη τραυματισμών των οπισθίων μηριαίων μυών. Η συνηθέστερη άσκηση είναι η Nordic, όπου ο ασκούμενος ενώ είναι σε γονάτιση χαμηλώνει προς τα μπροστά το σώμα ενώ αντιστέκεται σε αυτή την κίνηση συσπώντας τους οπίσθιους μηριαίους. Η Nordic επιδρά θετικά στο άλμα, στη δρομική ταχύτητα και στην αλλαγή κατεύθυνσης (Chaabene et al., 2020). Η εφαρμογή της για 6 εβδομάδες (2 φορές/εβδομάδα, χαμηλός όγκος/εβδομάδα: 10-42 προσπάθειες) επέφερε αύξηση της έκκεντρης δύναμης των οπισθίων μηριαίων σε ποδοσφαιριστές με καλύτερα αποτελέσματα για τους προέφηβους σε σύγκριση με τους έφηβους (Drury et al., 2020). Προτείνεται όμως να εφαρμόζονται και άλλες ασκήσεις για να εξασφαλίζεται η εναλλαγή των ερεθισμάτων και η πληρέστερη ενδυνάμωση των οπισθίων μηριαίων (Bourne et al., 2017).

Οδηγίες εφαρμογής:

1. Η προπόνηση με Nordic μπορεί να ξεκινήσει στα προέφηβα παιδιά με εκτέλεση υποβοηθούμενη σε όλο το εύρος της κίνησης.
2. Στα παιδιά στην αρχή της εφηβείας, εφόσον έχει προηγουμένως ολοκληρωθεί η εκμάθηση της άσκησης και αποκτηθεί ένα απαραίτητο επίπεδο δύναμης, μπορεί να γίνεται αυτόνομα και να δοκιμάζεται και η μονοποδική παραλλαγή.

3. Στα παιδιά μετά την κορύφωσή του ύψους (στα μέσα της εφηβείας) προτείνεται να χρησιμοποιείται και κάποια εξωτερική αντίσταση.

Ισοαδρανειακή συσκευή

Ένας άλλος τρόπος έκκεντρης ενδυνάμωσης είναι προπόνηση με ισοαδρανειακή συσκευή (Flywheel) που προσφέρει πρόσθετη αντίσταση σε όλο το εύρος της κίνησης μέσω της αδράνειας ενός περιστρεφόμενου τροχού.

1. Για τα προέφηβα παιδιά προτείνεται η ενδυνάμωση στο flywheel να γίνεται 1 φορά/εβδομάδα, με 1-2 σετ των 6-8 επαναλήψεων αμφίπλευρα με ροπή αδράνειας 0,010-0,025 kg/m² και διάλειμμα 1-2 λεπτά.
2. Για τα παιδιά στην αρχή της εφηβείας προτείνονται 1-2 φορές/εβδομάδα, 2-3 σετ των 6-8 επαναλήψεων, αμφίπλευρα και μονόπλευρα με ροπή αδράνειας 0,025-0,05 kg/m² και διάλειμμα 2-3 λεπτά.
3. Τέλος, για τα έφηβα παιδιά προτείνονται 2 φορές/εβδομάδα, 3-5 σετ των 8-10 επαναλήψεων, αμφίπλευρα και μονόπλευρα με ροπή αδράνειας 0,05-0,10 kg/m² και διάλειμμα 3-4 λεπτά.

Σύνοψη

Συνοψίζοντας, κατά την ενδυνάμωση των παιδιών προτείνεται η χρήση του βάρους του σώματος, των ισομετρικών ασκήσεων, της ενδυνάμωσης με χαμηλές ως μέτριες εντάσεις με μηχανήματα στην αρχή και με ελεύθερα βάρη και ολυμπιακές άρσεις στη συνέχεια, με την προϋπόθεση της προηγούμενης εκπαίδευσης στη σωστή τεχνική εκτέλεση των ασκήσεων. Έκκεντρου τύπου ασκήσεις καθώς και συνδυαστικά προγράμματα μπορούν να χρησιμοποιούνται υπό καθοδήγηση όσο το παιδί μεγαλώνει και ωριμάζει, ενώ κατά την εφηβική ηλικία ενδείκνυται η χρήση υψηλών εντάσεων.

Κεντρικά σημεία κεφαλαίου

- Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο πρόγραμμα ενδυνάμωσης μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερες προσαρμογές από αυτές της φυσιολογικής ανάπτυξης της δύναμης.
- Η βελτίωση της δύναμης με την προπόνηση στα παιδιά οφείλεται κυρίως σε νευρομυϊκές προσαρμογές.
- Η ενδυνάμωση στην παιδική ηλικία μπορεί να μειώσει τη συχνότητα εμφάνισης τραυματισμών και να προκαλέσει ευεργετικές προσαρμογές στους συνδέσμους και στα οστά.
- Η επιλογή των ασκήσεων καθώς και η αξιολόγηση της δύναμης θα πρέπει να γίνεται με βάση το επίπεδο ωρίμανσης των παιδιών.
- Η ενδυνάμωση με το βάρος του σώματος συνδυαστικά με ασκήσεις επιδεξιότητας, ισορροπίας και δρομικής αντοχής προτείνεται ως το αρχικό στάδιο προετοιμασίας των παιδιών.
- Η ενδυνάμωση με μηχανήματα και η εκμάθηση της τεχνικής εκτέλεσης των ασκήσεων θα πρέπει να προηγείται της ενδυνάμωσης με ελεύθερα βάρη.
- Η χρήση υψηλών εντάσεων προτείνεται για έμπειρους έφηβους ασκούμενους.
- Προτείνεται η προοδευτική χρήση συνδυαστικών προγραμμάτων ενδυνάμωσης για ακόμα καλύτερες προσαρμογές.

Βιβλιογραφία

- Annesi, J.J., Westcott, W.L., Faigenbaum, A.D., Unruh, J.L., 2005. Effects of a 12-week physical activity protocol delivered by ymca after-school counselors (youth fit for life) on fitness and self-efficacy changes in 5–12-year-old boys and girls. *Res. Q. Exerc. Sport* 76, 468–476. <https://doi.org/10.1080/02701367.2005.10599320>
- Balsamo, S., Tibana, R.A., Nascimento, D.D.C., Franz, C.B., Lyons, S., Faigenbaum, A.D., Prestes, J., 2013. Exercise order influences number of repetitions and lactate levels but not perceived exertion during resistance

- exercise in adolescents. *Res. Sport. Med.* 21, 293–304. <https://doi.org/10.1080/15438627.2013.825794>
- Behm, D.G., Drinkwater, E.J., Willardson, J.M., Cowley, P.M., 2010. The use of instability to train the core musculature. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* <https://doi.org/10.1139/H09-127>
- Behm, D.G., Faigenbaum, A.D., Falk, B., Klentrou, P., 2008. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: Resistance training in children and adolescents. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* <https://doi.org/10.1139/H08-020>
- Behm, D.G., Young, J.D., Whitten, J.H.D., Reid, J.C., Quigley, P.J., Low, J., Li, Y., Lima, C.D., Hodgson, D.D., Chaouachi, A., Prieske, O., Granacher, U., 2017. Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: A systematic review and meta-analysis. *Front. Physiol.* <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00423>
- Behringer, M., Gruetzner, S., McCourt, M., Mester, J., 2014. Effects of weight-bearing activities on bone mineral content and density in children and adolescents: A meta-analysis. *J. Bone Miner. Res.* 29, 467–478. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2036>
- Behringer, M., Heede, A. Vom, Matthews, M., Mester, J., 2011. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatr. Exerc. Sci.* 23, 186–206. <https://doi.org/10.1123/pes.23.2.186>
- Behringer, M., Vom Heede, A., Yue, Z., Mester, J., 2010. Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics.* <https://doi.org/10.1542/peds.2010-0445>
- Bergeron, M.F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C.A., Faigenbaum, A., Hall, G., Kriemler, S., Léglise, M., Malina, R.M., Pensgaard, A.M., Sanchez, A., Soligard, T., Sundgot-Borgen, J., Van Mechelen, W., Weissensteiner, J.R., Engebretsen, L., 2015. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br. J. Sports Med.* 49, 843–851. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094962>
- Black, D.S., 2014. Mindfulness Training for Children and Adolescents [WWW Document]. *Handb. mindfulness.* URL https://goamra.org/wp-content/uploads/2014/06/Black_2015_state-of-science.pdf

- Bourne, M.N., Williams, M.D., Opar, D.A., Al Najjar, A., Kerr, G.K., Shield, A.J., 2017. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br. J. Sports Med.* 51, 1021–1028. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095739>
- Cahill, B.R., Griffith, E.H., 1978. Effect of preseason conditioning on the incidence and severity of high school football knee injuries. *Am. J. Sports Med.* 6, 180–184. <https://doi.org/10.1177/036354657800600406>
- Chaabene, H., Negra, Y., Moran, J., Prieske, O., Sammoud, S., Ramirez-Campillo, R., Granacher, U., 2020. Effects of an eccentric hamstrings training on components of physical performance in young female handball players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 15, 91–97. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0005>
- Channell, B.T., Barfield, J.P., 2008. Effect of olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *J. Strength Cond. Res.* 22, 1522–1527. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318181a3d0>
- Collins, H., Booth, J.N., Duncan, A., Fawcner, S., 2019. The effect of resistance training interventions on fundamental movement skills in youth: a meta-analysis. *Sport. Med. - Open.* <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0188-x>
- Cui, Y., Liu, Xiaoyan, Liu, Xiaoran, Wu, J., Zhao, M., Ren, J., Yang, J., Gu, F., Wang, C., 2011. Evaluation of the exercise workload of broadcast calisthenics for children and adolescents aged 11-17 years. *J. Sports Sci.* 29, 363–371. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.533688>
- Deli, C.K., Fatouros, I.G., Paschalis, V., Georgakouli, K., Zalavras, A., Avloniti, A., Koutedakis, Y., Jamurtas, A.Z., 2017. A comparison of exercise-induced muscle damage following maximal eccentric contractions in men and boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 29, 316–325. <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0185>
- Dos Santos, R., Rossi, R., Rose, E., 2012. Abstracts from the Canadian Athletic Therapists Association: May 23–26, 2012, Quebec City, Quebec, Canada. *Athl. Train. Sport. Heal. Care* 4, 141–144. <https://doi.org/10.3928/19425864-20120427-03>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., McGuigan, M., 2018. Effects of accentuated eccentric loading on muscle properties, strength, power, and speed in resistance-trained rugby players. *J. Strength Cond. Res.* 32, 2750–2761. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002772>

- Drury, B., Green, T., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., 2020. Influence of Maturation Status on Eccentric Hamstring Strength Improvements in Youth Male Soccer Players After the Nordic Hamstring Exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 1–7. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2019-0184>
- Drury, B., Ratel, S., Clark, C.C.T., Fernandes, J.F.T., Moran, J., Behm, D.G., 2019. Eccentric resistance training in youth: Perspectives for long-term athletic development. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 4. <https://doi.org/10.3390/jfmk4040070>
- Dudgeon, W.D., Herron, J.M., Aartun, J.A., Thomas, D.D., Kelley, E.P., Scheett, T.P., 2015. Physiologic and Metabolic Effects of a Suspension Training Workout. *Int. J. Sport. Sci.* 5, 65–72. <https://doi.org/10.5923/j.sports.20150502.04>
- Faigenbaum, A.D., 2002. Resistance training for adolescent athletes. *Athl. Ther. Today.* <https://doi.org/10.1123/att.7.6.30>
- Faigenbaum, A.D., Bruno, L.E., 2017. a Fundamental Approach for Treating Pediatric Dynapenia in Kids. *ACSM's Heal. Fit. J.* 21, 18–24. <https://doi.org/10.1249/fit.0000000000000312>
- Faigenbaum, A.D., Farrell, A., Fabiano, M., Radler, T., Naclerio, F., Ratamess, N.A., Kang, J., Myer, G.D., 2011. Effects of integrative neuromuscular training on fitness performance in children. *Pediatr. Exerc. Sci.* 23, 573–584. <https://doi.org/10.1123/pes.23.4.573>
- Faigenbaum, A.D., Kraemer, W., Blimkie, C.J.R., Jeffreys, I., Micheli, L.J., Nitka, M., Rowland, T.W., 2009. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J. Strength Cond. Res.* <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819df407>
- Faigenbaum, A.D., Lloyd, R.S., Myer, G.D., 2013. Youth resistance training: Past practices, new perspectives, and future directions. *Pediatr. Exerc. Sci.* 25, 591–604. <https://doi.org/10.1123/pes.25.4.591>
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., 2007. Guidelines for Implementing a Dynamic Warm-up for Physical Education. *J. Phys. Educ. Recreat. Danc.* 78, 25–28. <https://doi.org/10.1080/07303084.2007.10597985>
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Herman, R.E., Naclerio, F., Ratamess, N.A., Kang, J., Myer, G.D., 2012. Reliability of the one-repetition-maximum

- power clean test in adolescent athletes. *J. Strength Cond. Res.* 26, 432–437. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220db2c>
- Faigenbaum, A.D., Milliken, L.A., Westcott, W.L., 2003. Maximal strength testing in healthy children. *J. Strength Cond. Res.* 17, 162–166. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0162:MSTIHC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0162:MSTIHC>2.0.CO;2)
- Faigenbaum, A.D., Myer, G.D., 2010. Resistance training among young athletes: Safety, efficacy and injury prevention effects. *Br. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.068098>
- Faigenbaum, A.D., Ratamess, N.A., McFarland, J., Kaczmarek, J., Coraggio, M.J., Kang, J., Hoffman, J.R., 2008. Effect of rest interval length on bench press performance in boys, teens, and men. *Pediatr. Exerc. Sci.* 20, 457–469. <https://doi.org/10.1123/pes.20.4.457>
- Faigenbaum, A.D., Westcott, W.L., 2009. Youth strength training, in: *Human Kinetics*. pp. 25–30.
- Falk, B., Brunton, L., Dotan, R., Usselman, C., Klentrou, P., Gabriel, D., 2009a. Muscle strength and contractile kinetics of isometric elbow flexion in girls and women. *Pediatr. Exerc. Sci.* 21, 354–364. <https://doi.org/10.1123/pes.21.3.354>
- Falk, B., Eliakim, A., 2003. Resistance training, skeletal muscle and growth. *Pediatr. Endocrinol. Rev.*
- Falk, B., Mor, G., 1996. The effects of resistance and martial arts training in 6- to 8-year-old boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 8, 48–56. <https://doi.org/10.1123/pes.8.1.48>
- Falk, B., Tenenbaum, G., 1996. The effectiveness of resistance training in children. A meta-analysis. *Sport. Med.* <https://doi.org/10.2165/00007256-199622030-00004>
- Falk, B., Usselman, C., Dotan, R., Brunton, L., Klentrou, P., Shaw, J., Gabriel, D., 2009b. Child-adult differences in muscle strength and activation pattern during isometric elbow flexion and extension. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 34, 609–615. <https://doi.org/10.1139/H09-020>
- Faude, O., Rössler, R., Petushek, E.J., Roth, R., Zahner, L., Donath, L., 2017. Neuromuscular adaptations to multimodal injury prevention programs in youth sports: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Front. Physiol.* <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00791>

- Fleck, S.J., Steven, J., Kraemer, W., 1997. Designing Resistance Training Programs, *Journal of Athletic Training*.
- Franchi, M. V., Atherton, P.J., Reeves, N.D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W.K., Selby, A., Beltran Valls, R.M., Narici, M. V., 2014. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol.* 210, 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Fransen, J., Deprez, D., Pion, J., Tallir, I.B., D’Hondt, E., Vaeyens, R., Lenoir, M., Philippaerts, R.M., 2014. Changes in physical fitness and sports participation among children with different levels of motor competence: A 2-year longitudinal study. *Pediatr. Exerc. Sci.* 26, 11–21. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0005>
- French, D., Jones, T., Kraemer, W., 2014. Strength and conditioning for young athletes: science and application, *Choice Reviews Online*. <https://doi.org/10.5860/choice.51-4506>
- Fukunaga, T., Funato, K., Ikegawa, S., 1992. The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubescent age. *Ann. Physiol. Anthropol.* 11, 357–364. <https://doi.org/10.2114/ahs1983.11.357>
- Granacher, U., Goesele, A., Roggo, K., Wischer, T., Fischer, S., Zuerny, C., Gollhofer, A., Kriemler, S., 2011. Effects and mechanisms of strength training in children. *Int. J. Sports Med.* 32, 357–364. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271677>
- Hamil, B.P., 1994. Relative safety of weightlifting and weight training. *J. Strength Cond. Res.* 8, 53–57. <https://doi.org/10.1519/00124278-199402000-00008>
- Hammami, R., Granacher, U., Makhlof, I., Behm, D.G., Chaouachi, A., 2016. Sequencing Effects of Balance and Plyometric Training on Physical Performance in Youth Soccer Athletes. *J. Strength Cond. Res.* 30, 3278–3289. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001425>
- Hejna, W.F., Rosenberg, A., Buturusis, D.J., Krieger, A., 1982. The prevention of sports injuries in high school students through strength training. *Natl. Strength Coach. Assoc. J.* 4, 28–31. [https://doi.org/10.1519/0199-610X\(1982\)004<0028:TPOSII>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/0199-610X(1982)004<0028:TPOSII>2.3.CO;2)

- Hewett, T.E., Myer, G.D., Ford, K.R., 2006. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1177/0363546505284183>
- Hewett, T.E., Myer, G.D., Ford, K.R., Heidt, R.S., Colosimo, A.J., McLean, S.G., Van Den Bogert, A.J., Paterno, M. V., Succop, P., 2005. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *Am. J. Sports Med.* 33, 492–501. <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>
- Ingle, L., Sleep, M., Tolfrey, K., 2006. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J. Sports Sci.* 24, 987–997. <https://doi.org/10.1080/02640410500457117>
- Karagianni, K., Donti, O., Katsikas, C., Bogdanis, G.C., 2020. Effects of Supplementary Strength–Power Training on Neuromuscular Performance in Young Female Athletes. *Sports* 8, 104. <https://doi.org/10.3390/sports8080104>
- Kawamori, N., Newton, R.U., 2006. Velocity specificity of resistance training: Actual movement velocity versus intention to move explosively. *Strength Cond. J.* [https://doi.org/10.1519/1533-4295\(2006\)028\[0086:VSORTA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4295(2006)028[0086:VSORTA]2.0.CO;2)
- Kravitz, L., Akalan, C., Nowicki, K., Kinzey, S.J., 2003. Prediction of 1 repetition maximum in high-school power lifters. *J. Strength Cond. Res.* 17, 167–172. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0167:PORMIH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0167:PORMIH>2.0.CO;2)
- Lazaridis, S., Patikas, D.A., Bassa, E.I., Tsatalas, T., Hatzikotoulas, K., Ftikas, C., Kotzamanidis, C., 2018. The acute effects of an intense stretch-shortening cycle fatigue protocol on the neuromechanical parameters of lower limbs in men and prepubescent boys. *J. Sports Sci.* 36, 131–139. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1287932>
- Legerlotz, K., Marzilger, R., Bohm, S., Arampatzis, A., 2016. Physiological adaptations following resistance training in youth athletes—a narrative review. *Pediatr. Exerc. Sci.* <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0023>
- Lesinski, M., Herz, M., Schmelcher, A., Granacher, U., 2020. Effects of Resistance Training on Physical Fitness in Healthy Children and

- Adolescents: An Umbrella Review. *Sport. Med.* <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01327-3>
- Lesinski, M., Prieske, O., Granacher, U., 2016. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095497>
- Lillegard, W.A., Brown, E.W., Wilson, D.J., Henderson, R., Lewis, E., 1997. Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Dev. Neurorehabil.* 1, 147–157. <https://doi.org/10.3109/17518429709167353>
- Lloyd, R.S., Faigenbaum, A.D., Stone, M.H., Oliver, J.L., Jeffreys, I., Moody, J.A., Brewer, C., Pierce, K.C., McCambridge, T.M., Howard, R., Herrington, L., Hainline, B., Micheli, L.J., Jaques, R., Kraemer, W., McBride, M.G., Best, T.M., Ramirez, R., Chu, D.A., Alvar, B.A., Esteve-Lanao, J., Alonso, J.M., Myer, G.D., 2014. Posicionamiento sobre el entrenamiento de fuerza en jóvenes. Consensu International de 2014. *Arch. Med. del Deport.* 31, 111–124.
- Malina, R.M., 2006. Weight training in youth-growth, maturation, and safety: An evidence-based review. *Clin. J. Sport Med.* 16, 478–487. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000248843.31874.be>
- Malina, R.M., Bouchard, C., Bar-Or, O., 2004. Growth, Maturation, and Physical Activity, Growth, Maturation, and Physical Activity. <https://doi.org/10.5040/9781492596837>
- Marta, C., Alves, A.R., Esteves, P.T., Casanova, N., Marinho, D., Neiva, H.P., Aguado-Jimenez, R., Alonso-Martínez, A.M., Izquierdo, M., Marques, M.C., 2019. Effects of suspension versus traditional resistance training on explosive strength in elementary school-aged boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 31, 473–479. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0287>
- Mayhew, J.L., Kerksick, C.D., Lentz, D., Ware, J.S., Mayhew, D.L., 2004. Using repetitions to fatigue to predict one-repetition maximum bench press in male high school athletes. *Pediatr. Exerc. Sci.* 16, 265–276. <https://doi.org/10.1123/pes.16.3.265>

- McGuine, T.A., Keene, J.S., 2006. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *Am. J. Sports Med.* 34, 1103–1111. <https://doi.org/10.1177/0363546505284191>
- McNee, A.E., Gough, M., Morrissey, M.C., Shortland, A.P., 2009. Increases in muscle volume after plantarflexor strength training in children with spastic cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol.* 51, 429–435. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.03230.x>
- Medicine, A.C. of S., 2018. *Acsm Guidelines for Exercise Testing and Prescription*, 10th Ed. + ACSM'. *Am. Coll. Sport. Med.*
- Meylan, C., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Hopkins, W.G., Contreras, B., 2014. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* 24. <https://doi.org/10.1111/sms.12128>
- Meylan, C., Malatesta, D., 2009. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J. Strength Cond. Res.* 23, 2605–2613. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b1f330>
- Micheli, L.J., Nielson, J.H., 2008. Overuse injuries in the young athlete: Stress fractures, in: *The Young Athlete*. pp. 151–163. <https://doi.org/10.1002/9780470696255.ch12>
- Moraes, E., Fleck, S.J., Dias, M.R., Simão, R., 2013. Effects on strength, power, and flexibility in adolescents of nonperiodized vs. daily nonlinear periodized weight training. *J. Strength Cond. Res.* 27, 3310–3321. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828de8c3>
- Moran, J., Clark, C.C.T., Ramirez-Campillo, R., Davies, M.J., Drury, B., 2019. A Meta-Analysis of Plyometric Training in Female Youth: Its Efficacy and Shortcomings in the Literature. *J. strength Cond. Res.* 33, 1996–2008. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002768>
- Murphy, J.R., Button, D.C., Chaouachi, A., Behm, D.G., 2014. Prepubescent males are less susceptible to neuromuscular fatigue following resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 114, 825–835. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2809-2>
- Myer, G.D., Faigenbaum, A.D., Chu, D.A., Falkel, J., Ford, K.R., Best, T.M., Hewett, T.E., 2011a. *Integrative Training for Children and Adolescents: Techniques and Practices for Reducing Sports-Related Injuries and*

- Enhancing Athletic Performance. *Phys. Sportsmed.* 39, 74–84. <https://doi.org/10.3810/psm.2011.02.1854>
- Myer, G.D., Faigenbaum, A.D., Edwards, N.M., Clark, J.F., Best, T.M., Sallis, R.E., 2015. Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach. *Br. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093661>
- Myer, G.D., Faigenbaum, A.D., Ford, K.R., Best, T.M., Bergeron, M.F., Hewett, T.E., 2011b. When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Curr. Sports Med. Rep.* <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442>
- Myer, G.D., Quatman, C.E., Khoury, J., Wall, E.J., Hewett, T.E., 2009. Youth versus adult “weightlifting” injuries presenting to united states emergency rooms: Accidental versus nonaccidental injury mechanisms. *J. Strength Cond. Res.* 23, 2054–2060. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b86712>
- Myer, G.D., Wall, E.J., 2006. Resistance Training in the Young Athlete. *Oper. Tech. Sports Med.* 14, 218–230. <https://doi.org/10.1053/j.otsm.2006.04.004>
- Nathan, A.J., Scobell, A., 2012. How China sees America, *Foreign Affairs.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Negra, Y., Chaabene, H., Sammoud, S., Bougezzi, R., Mkaouer, B., Hachana, Y., Granacher, U., 2017. Effects of plyometric training on components of physical fitness in prepuberal male soccer athletes: The role of surface instability. *J. Strength Cond. Res.* 31, 3295–3304. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002262>
- Núñez, F.J., Santalla, A., Carrasquilla, I., Asian, J.A., Reina, J.I., Suarez-Arrones, L.J., 2018. The effects of unilateral and bilateral eccentric overload training on hypertrophy, muscle power and COD performance, and its determinants, in team sport players. *PLoS One* 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193841>
- Ozmun, J.C., Mikesky, A.E., 1994. Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, 510–514. <https://doi.org/10.1249/00005768-199404000-00017>
- Papadopoulos, C., Theodosiou, K., Bogdanis, G.C., Gkantiraga, E., Gissis, I., Sambanis, M., Souglis, A., Sotiropoulos, A., 2014. Multiarticular isokinetic high-load eccentric training induces large increases in eccentric and

- concentric strength and jumping performance. *J. Strength Cond. Res.* 28, 2680–2688. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000456>
- Payne, V.G., Morrow, J.R., Johnson, L., Dalton, S.N., 1997. Resistance training in children and youth: A meta-analysis. *Res. Q. Exerc. Sport* 68, 80–88. <https://doi.org/10.1080/02701367.1997.10608869>
- Peitz, M., Behringer, M., Granacher, U., 2018. A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth- What do comparative studies tell us? *PLoS One* 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205525>
- Pfeiffer, R.D., Francis, R.S., 1986. Effects of Strength Training on Muscle Development in Prepubescent, Pubescent, and Postpubescent Males. *Phys. Sportsmed.* 14, 134–143. <https://doi.org/10.1080/00913847.1986.11709173>
- Pichardo, A.W., Oliver, J.L., Harrison, C.B., Maulder, P.S., Lloyd, R.S., Kandoi, R., 2019a. Effects of Combined Resistance Training and Weightlifting on Injury Risk Factors and Resistance Training Skill of Adolescent Males. *J. Strength Cond. Res. Publish Ah.* <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003341>
- Pichardo, A.W., Oliver, J.L., Harrison, C.B., Maulder, P.S., Lloyd, R.S., Kandoi, R., 2019b. Effects of combined resistance training and weightlifting on motor skill performance of adolescent male athletes. *J. Strength Cond. Res.* 33, 3226–3235. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003108>
- Proske, U., Morgan, D.L., 2001. Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J. Physiol.* <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x>
- Ramirez-Campillo, R., Moran, J., Chaabene, H., Granacher, U., Behm, D.G., García-Hermoso, A., Izquierdo, M., 2020. Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: A scoping review update. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* <https://doi.org/10.1111/sms.13633>
- Ramsay, J.A., Blimkie, C.J.R., Smith, K., Garner, S., MacDougall, J.D., Sale, D.G., 1990. Strength training effects in prepubescent boys. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22, 605–614. <https://doi.org/10.1249/00005768-199010000-00011>
- Robertson, R.J., Goss, F.L., Andreacci, J.L., Dubé, J.J., Rutkowski, J.J., Frazee, K.M., Aaron, D.J., Metz, K.F., Kowallis, R.A., Snee, B.M., 2005. Validation of the children's OMNI-resistance exercise scale of perceived

- exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37, 819–826. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000162619.33236.F1>
- Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., Schmidtbleicher, D., 2013. Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *Eur. J. Sport Sci.* 13, 445–451. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.742572>
- Santos, D. de S., de Oliveira, T.E., Pereira, C.A., Evangelista, A.L., Bocalini, D.S., Rica, R.L., Rhea, M.R., Simão, R., La Scala Teixeira, C. V., 2015. Does a calisthenics-based exercise program applied in school improve morphofunctional parameters in youth? *J. Exerc. Physiol. Online* 18, 52–61.
- Steib, S., Rahlf, A.L., Pfeifer, K., Zech, A., 2017. Dose-response relationship of Neuromuscular training for injury prevention in youth athletes: A meta-analysis. *Front. Physiol.* <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00920>
- Stenevi-Lundgren, S., Daly, R.M., Lindén, C., Gärdsell, P., Karlsson, M.K., 2009. Effects of a daily school based physical activity intervention program on muscle development in prepubertal girls. *Eur. J. Appl. Physiol.* 105, 533–541. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0932-2>
- Stricker, P.R., Faigenbaum, A.D., McCambridge, T.M., 2020. Resistance training for children and adolescents. *Pediatrics* 145. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1011>
- Szymanski, D.J., Szymanski, J.M., Bradford, T.J., Schade, E.L., Pascoe, D.D., 2007. Effect of twelve weeks of medicine ball training on high school baseball players. *J. Strength Cond. Res.* 21, 894–901. <https://doi.org/10.1519/R-18415.1>
- Tanner, J.M., 1962. *Growth at adolescence*. Great Britain: Blackwell Scientific Publications. <https://doi.org/10.1001/archpedi.1987.04460070079030>
- Telama, R., Yang, X., Leskinen, E., Kankaanpää, A., Hirvensalo, M., Tammelin, T., Viikari, J.S.A., Raitakari, O.T., 2014. Tracking of physical activity from early childhood through youth into adulthood. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46, 955–962. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000181>
- Tomlinson, D.J., Erskine, R.M., Morse, C.I., Winwood, K., Onambélé-Pearson, G., 2016. The impact of obesity on skeletal muscle strength and structure through adolescence to old age. *Biogerontology*. <https://doi.org/10.1007/s10522-015-9626-4>

- Torres-Costoso, A., Purificación López-Muñoz, ·, Martínez-Vizcaíno, V., Álvarez-Bueno, C., Cavero-Redondo, I., Mancha, C.-L., Cano, E./ M., Santa, C./, Jornet, T., 2020. Association Between Muscular Strength and Bone Health from Children to Young Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sport. Med.* 50, 1163–1190. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01267-y>
- Tsimahidis, K., Galazoulas, C., Skoufas, D., Papaiakevou, G., Bassa, E.I., Patikas, D.A., Kotzamanidis, C.M., 2010. The effect of sprinting after each set of heavy resistance training on the running speed and jumping performance of young basketball players. *J. Strength Cond. Res.* 24, 2102–2108. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e2e1ed>
- Tsimahidis, K., Patikas, D.A., Galazoulas, C., Bassa, E.I., Kotzamanidis, C.M., 2013. The post-activation potentiation effect on sprint performance after combined resistance/sprint training in junior basketball players. *J. Sports Sci.* 31, 1117–1124. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.771817>
- Vingren, J.L., Kraemer, W., Ratamess, N.A., Anderson, J.M., Volek, J.S., Maresh, C.M., 2010. Testosterone physiology in resistance exercise and training: The up-stream regulatory elements. *Sport. Med.* 40, 1037–1053. <https://doi.org/10.2165/11536910-000000000-00000>
- Virvidakis, K., Georgiou, E., Korkotsidis, A., Ntalles, K., Proukakakis, C., 1990. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *Int. J. Sports Med.* 11, 244–246. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024800>
- Waugh, C.M., Korff, T., Fath, F., Blazevich, A.J., 2014. Effects of resistance training on tendon mechanical properties and rapid force production in prepubertal children. *J. Appl. Physiol.* <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00325.2014>
- Waugh, C.M., Korff, T., Fath, F., Blazevich, A.J., 2013. Rapid force production in children and adults: Mechanical and neural contributions. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45, 762–771. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827a67ba>
- Yáñez-García, J.M., Rodríguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., González-Badillo, J.J., 2019. Changes in Muscle Strength, Jump, and Sprint Performance in Young Elite Basketball Players. *J. Strength Cond. Res. Publish Ah.* <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003472>

- Zghal, F., Colson, S.S., Blain, G., Behm, D.G., Granacher, U., Chaouachi, A., 2019. Combined resistance and plyometric training is more effective than plyometric training alone for improving physical fitness of pubertal soccer players. *Front. Physiol.* 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01026>
- Παράσχος, Η., Κοτζαμανίδης, Χ., 2015. Προπόνηση δύναμης : Σημειώσεις για το μάθημα Προπονητική στις αναπτυξιακές ηλικίες.

Ανάπτυξη και Προπόνηση Δρομικής Ταχύτητας⁴

Βασίλειος Πανουτσακόπουλος

Περίληψη

Η ταχύτητα, με την μορφή της ταχύτητας κίνησης, αποτελεί βασική ικανότητα φυσικής κατάστασης. Η συνηθέστερη έκφασή της είναι η δρομική ταχύτητα (ΔT), δηλαδή η κάλυψη μιας ορισμένης απόστασης στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ ενηλίκων και ατόμων αναπτυξιακής ηλικίας, εκτός από τη μικρότερη μέγιστη τιμή επίτευξης ΔT από τους ανήλικους, είναι η διάρκεια και η απόσταση της φάσης επιτάχυνσης (ιδίως της δευτερεύουσας φάσης επιτάχυνσης). Βασικό αίτιο της διαφοροποίησης αυτής είναι οι περιορισμοί στους παράγοντες που προκαλούν την ανάπτυξη της μυϊκής ισχύος στα άτομα αναπτυξιακής ηλικίας. Επίσης, διαφορές παρατηρούνται στους εμβιομηχανικούς παράγοντες που καθορίζουν τη βελτιστοποίηση της δρομικής τεχνικής στη φάση διατήρησης της μέγιστης ΔT . Για το λόγο αυτό, η εκμάθηση της δρομικής τεχνικής είναι καθοριστική αναφορικά με την ανάπτυξη της ΔT και την προπόνησή της στις αναπτυξιακές ηλικίες. Κομβικό σημείο για την εξέλιξη της ΔT κατά την ανάπτυξη είναι η περίοδος όπου παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του αναστήματος, καθώς τότε δε βελτιώνεται σημαντικά η επίδοση στους δρόμους ταχύτητας. Μετά τον μέγιστο ρυθμό αύξησης του αναστήματος, τα αγόρια είναι σημαντικά πιο γρήγορα από τα κορίτσια. Έμφαση στην προπόνηση, πέρα από την εκμάθηση του ιδανικού εξατομικευμένου συνδυασμού μήκους και συχνότητας διασκελισμού στη φάση μέγιστης ΔT , θα πρέπει να δίνεται στην επιμήκυνση της φάσης της μέγιστης ΔT . Η βελτίωση της ΔT είναι αποτελεσματικότερη με συνδυαστική προπόνηση πλυομετρικής προπόνησης και δρομικών επιβαρύνσεων, παρά με προπόνηση ΔT που περιέχει μόνο ερεθίσματα δρομικής επιβάρυνσης. Σημαντικό είναι τα προπονητικά ερεθίσματα και τα προπο-

4. Το περιεχόμενο του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί ενημερωμένη και εμπλουτισμένη έκδοση του κειμένου που είχε δοθεί υπό μορφή σημειώσεων το 2015 στους/στις φοιτητές/τριες του Τ.Ε.Φ.Α.Α. Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ.

νητικά μέσα να προσαρμόζονται στο επίπεδο της ωρίμανσης, της τεχνικής δεξιοτήτας και της φυσικής κατάστασης του αναπτυσσόμενου ατόμου. Σε κάθε περίπτωση, η προπόνηση ΔΤ στις αναπτυξιακές ηλικίες θα πρέπει να διέπεται από παιδαγωγικό χαρακτήρα και να περιέχει ποικίλες δρομικές παιγνιώδεις δραστηριότητες, όπου βασικός στόχος είναι η σωστή εκτέλεση της δρομικής τεχνικής.

Εισαγωγή

Η ικανότητα ανάπτυξης της μέγιστης δρομικής ταχύτητας αποτελεί ένα διαχρονικό αθλητικό φαινόμενο με καίριο αντίκτυπο, όπως αποτυπώνεται από την ονομασία της εκάστοτε διοργάνωσης των Αρχαίων Ολυμπιακών Αγώνων από το νικητή του σταδίου δρόμου και στους σύγχρονους Ολυμπιακούς Αγώνες από τη δημοφιλία του τελικού του δρόμου των 100 μ. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρατεθούν:

- τα βασικά χαρακτηριστικά της δρομικής ταχύτητας, δηλαδή η δρομική τεχνική και η τυπική δομή ενός δρόμου ταχύτητας,
- οι προϋποθέσεις και οι παράγοντες που καθορίζουν την επίδοση σε ένα δρόμο ταχύτητας,
- οι ιδιαιτερότητες που παρατηρούνται στις αναπτυξιακές ηλικίες στους δρόμους ταχύτητας.

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με αναφορά στις βασικές μεθόδους προπόνησης της δρομικής ταχύτητας και με προτάσεις για πρακτική εφαρμογή στις αναπτυξιακές ηλικίες.

Η ικανότητα της ταχύτητας

Ταχύτητα είναι η ικανότητα φυσικής κατάστασης, η οποία έγκειται στην ικανότητα του ατόμου να εκτελεί, με τη μέγιστη δυνατή ενεργοποίηση, σύντομες μεμονωμένες ή επαναλαμβανόμενες κινητικές ενέργειες, έπειτα από γρήγορη αντίδραση σε ένα ερέθισμα. Διακρίνονται διάφορες μορφές ταχύτητας (Ομάδα Συγγραφέων, 2019), από τις οποίες οι καθοριστικότερες για τους δρόμους ταχύτητας αναλύονται παρακάτω.

Μορφές ταχύτητας

Ταχύτητα αντίδρασης

Αφορά την εκκίνηση της ενέργειας έπειτα από γρήγορη αντίδραση σε ένα ερέθισμα. Την ταχύτητα αντίδρασης καθορίζουν ο χρόνος αντίδρασης και ο χρόνος ηλεκτρομηχανικής καθυστέρησης.

Ταχύτητα κίνησης

Η ταχύτητα κίνησης διακρίνεται στη συχνότητα της κίνησης (κυκλική ταχύτητα, όταν η κίνηση είναι επαναλαμβανόμενη) και στην ταχύτητα ενέργειας (όταν εκτελείται μια άκυκλη ή μεμονωμένη κινητική δραστηριότητα). Η ταχύτητα κίνησης επηρεάζεται από επιμέρους παράγοντες, όπως το περιβάλλον όπου εκτελείται η κίνηση (αέρας, νερό), το είδος (κλειστή ή ανοικτή κινητική αλυσίδα), την απόσταση της τροχιάς (μικρή, μεγάλη) και τη διάρκεια (σύντομη, παρατεταμένη) της κίνησης, την εξωτερική αντίσταση (μεγάλη, μικρή), την ύπαρξη και τον χειρισμό αγωνιστικών οργάνων (π.χ. ριπτικό όργανο, ποδήλατο, λέμβος), καθώς και από τους μηχανικούς παράγοντες του περιβάλλοντος (επίδραση της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην κίνηση, της τριβής των σχετικά κινούμενων επιφανειών, της αεροδυναμικής/υδροδυναμικής αντίστασης, κλπ.).

Η δρομική ταχύτητα

Στην περίπτωση των δρόμων ταχύτητας, η δρομική ταχύτητα (ΔT) αναφέρεται στην κάλυψη μιας ορισμένης απόστασης στο συντομότερο χρονικό διάστημα. Η παρατήρηση μιας τυπικής καμπύλης διαμόρφωσης της ΔT μετά την εκκίνηση σε ένα δρομικό αγώνισμα αποκαλύπτει την ύπαρξη της φάσης επιτάχυνσης, της φάσης της μέγιστης ή σταθερής ταχύτητας και τη φάση της επιβράδυνσης. Η λεπτομερέστερη ανάλυση στο δρόμο 100 μ. σε ενήλικες δρομείς επιτρέπει τη διάκριση των ακόλουθων φάσεων (Mackala, 2007): της αρχικής (0-20 μ.) και δευτερεύουσας («επιμηκυμένης») επιτάχυνσης (20-40 μ.), της αρχικής μέγιστης ΔT (40-50 μ.), της ρύθμισης της ΔT (50-70 μ.), της σταθερής μέγιστης ΔT (70-80 μ.) και, τέλος, της διατήρησης ή της πτώσης της ΔT (80-100 μ.).

Η ΔT αποτελεί το γινόμενο του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού. Η επίτευξη της μέγιστης ΔT είναι αποτέλεσμα της βέλτιστης σχέσης μεταξύ του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού (Hay, 2002). Καθώς η ΔT μεταβάλλεται σε ένα δρόμο ταχύτητας, ομοίως και το μήκος και η συχνότητα διασκελισμού με-

ταβάλλεται στις διάφορες επιμέρους φάσεις της δρομικής δοκιμασίας (Gajer et al., 1999). Κατά τη φάση της σταθερής μέγιστης ΔΤ, η προσπάθεια για μεγιστοποίηση της ΔΤ μέσω της μεγιστοποίησης τόσο του μήκους, όσο και της συχνότητας διασκελισμού, δεν επιφέρει βελτίωση της ΔΤ, καθώς υπάρχει αρνητική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε αυτές τις παραμέτρους του διασκελισμού (Hunter et al., 2004). Δεν έχει εξακριβωθεί εάν το μήκος ή η συχνότητα διασκελισμού είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την επίτευξη της μέγιστης ΔΤ. Έχει πάντως υποστηριχθεί ότι η επίτευξη της μέγιστης ΔΤ είναι αποτέλεσμα της αλληλοεξαρτώμενης, αντισταθμιστικά συνδυαστικής επίδρασης του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού στην ταχύτητα ή της εξατομικευμένης προδιάθεσης του κάθε ατόμου να επιλέγει την ανάπτυξη της ΔΤ με έμφαση σε έναν από τους δύο αυτούς παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διασκελισμού (Donati, 1995; Exell et al., 2017; Salo et al., 2011).

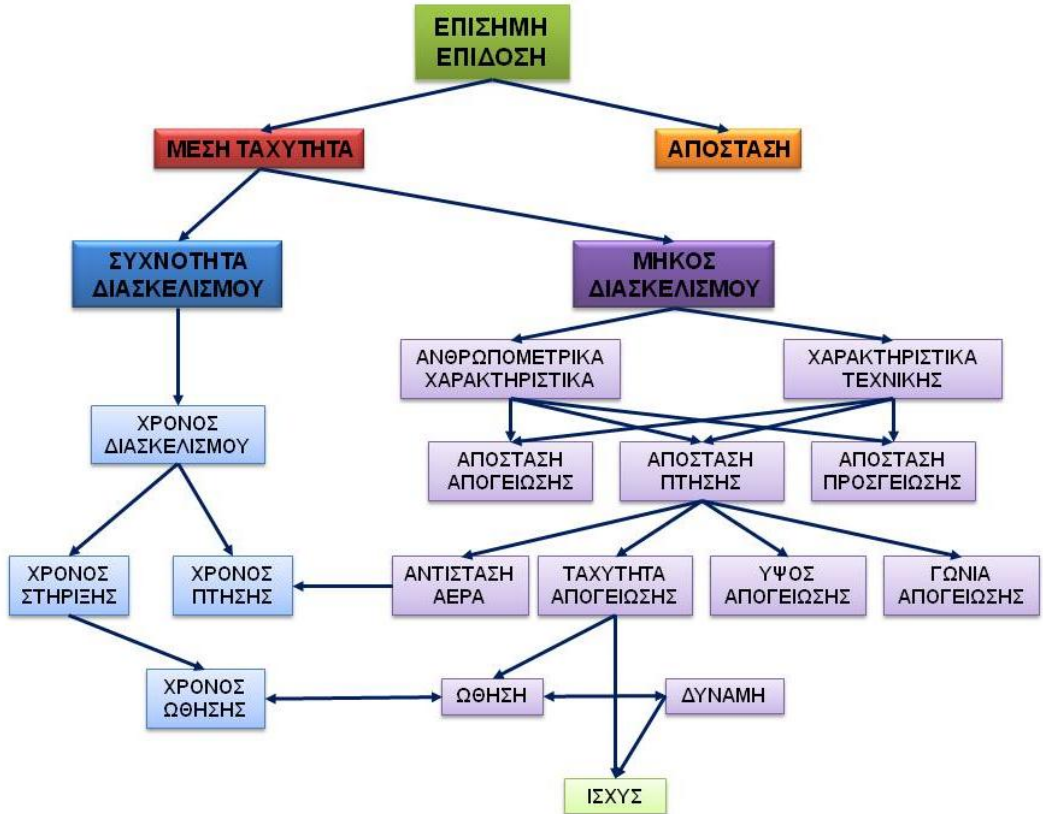
Διαφοροποίηση της δομής των δρόμων ταχύτητας στις αναπτυξιακές ηλικίες

Η κυρίαρχη διαφορά μεταξύ ενηλίκων και εφήβων αθλητών ταχύτητας, εκτός από τη μικρότερη μέγιστη τιμή επίτευξης ΔΤ από τους εφήβους, συνίσταται στη διάρκεια και τη συνολική απόσταση της φάσης επιτάχυνσης (ιδίως της δευτερεύουσας φάσης επιτάχυνσης), τα οποία είναι μεγαλύτερα στους ενήλικες (Letzelter, 2006). Έρευνες έχουν δείξει ότι τα παιδιά δεν μπορούν να διατηρήσουν τη μέγιστή τους ΔΤ μετά τα 40 μ. περίπου (Babic et al., 2010; Chatzilazaridis et al., 2012b; Letzelter, 2006). Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι η φάση της δευτερεύουσας επιτάχυνσης ολοκληρώνεται περίπου στα 20-30 μ. (Chatzilazaridis et al., 2012b; Dal Pupo et al., 2008; Kotzamanidis, 2003).

Προϋποθέσεις και παράγοντες επίδοσης στους δρόμους ταχύτητας

Καθοριστικός παράγοντας για την εμφάνιση της μέγιστης ΔΤ αποτελεί η βελτιστοποίηση της σχέσης μήκους και συχνότητας διασκελισμού. Στο προσδιοριστικό μοντέλο της Εικόνας 5 παρουσιάζονται οι παράγοντες που συντελούν στην επίτευξη της ΔΤ. Από το προσδιοριστικό μοντέλο διαπιστώνεται ότι ο συνδυασμός μικρού χρόνου στήριξης και εφαρμογής μεγάλης δύναμης κατά την ώθηση, δηλαδή η ικανότητα ανάπτυξης της ισχύος, είναι καθοριστική για την επίδοση στους δρόμους ταχύτητας (Smirniotou et al., 2008). Στα προέφηβα παιδιά, η ΔΤ

συσχετίστηκε με το μήκος διασκελισμού στα αγόρια και τη συχνότητα διασκελισμού στα κορίτσια (Χατζηλαζαρίδης και συν., 2012α).



Εικόνα 4: Προσδιοριστικό μοντέλο της επίδοσης στους δρόμους ταχύτητας χωρίς εμπόδια (δημιουργημένο σύμφωνα με Hay, 1985; Κόλλια, 2016).

Παράγοντες που καθορίζουν τη δρομική ταχύτητα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ΔΤ είναι:

- η ηλικία: η ΔΤ αυξάνεται διαρκώς κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής ηλικίας, με τη βιολογική ωρίμανση να αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα για την ανάπτυξή της (Ratzef, 1991),
- το φύλο: τα αγόρια είναι πιο γρήγορα από συνομήλικα κορίτσια, ιδίως μετά την εφηβεία (Thomas and French, 1985),

- τα *ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά*: είναι σύνηθες το γεγονός ότι τα υψηλότερα άτομα εκτελούν τις δρομικές δοκιμασίες με μεγαλύτερο μήκος και μικρότερη συχνότητα διασκελισμού (Babic et al., 2007),
- η *ευλυγισία*: η ΔΤ βελτιώνεται μετά την εφαρμογή πρωτοκόλλων διατακτικών ασκήσεων πριν την εκτέλεση δρομικών δοκιμασιών (Fletcher and Anness, 2007),
- η *συναρμογή*: η εκτέλεση της δρομικής τεχνικής απαιτεί την κατάλληλη ενεργοποίηση και ρύθμιση της ανταγωνιστικής δραστηριότητας των μυών των κάτω άκρων (Mero et al., 1992),
- η *νευρομυϊκή λειτουργία*: ο καλύτερος χρονισμός της μυϊκής ενεργοποίησης, η βέλτιστη επιλεκτική επιστράτευση των κινητικών μονάδων και η αυξημένη ταχύτητα αγωγής στους νευράξονες επιδρούν θετικά στην απόδοση στους δρόμους ταχύτητας (Ross et al., 2001),
- η *κατανομή μυϊκών ινών*: η ύπαρξη μεγάλου ποσοστού γρήγορων (τύπου II) μυϊκών ινών στους εκτεινόντες μύες της άρθρωσης του γόνατος έχει συσχετισθεί με τη ΔΤ στις φάσεις επιτάχυνσης και μέγιστης ταχύτητας (Mero et al., 1981),
- η *μυϊκή δύναμη*: η μυϊκή δύναμη στις διάφορες μορφές της (Delecluse, 1997) είναι απαραίτητη προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της τεχνικής στη φάση απόσβεσης (πρόσθια φάση στήριξης) και ώθησης (οπίσθια φάση στήριξης), με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ΔΤ (Seitz et al., 2014; von Lieres Und Wilkau et al., 2020),
- η *ικανότητα ανάπτυξης ισχύος*: η ανάπτυξη της ικανότητας της ισχύος επιτρέπει την εφαρμογή μεγάλης ποσότητας δύναμης όταν το σώμα κινείται με μεγάλη ταχύτητα, με συνέπεια την βελτιστοποίηση της ώθησης (Triplett et al., 2012),
- η *μυϊκή σκληρότητα*: είναι απαραίτητη για τη σταθεροποίηση του ποδιού στήριξης, έτσι ώστε το παραγόμενο έργο από τους εκτεινόντες μύες του κάτω άκρου να μεταφέρεται χωρίς απώλειες και να συντελεί την αποτελεσματικότερη προώθηση του σώματος (Kuitunen et al., 2002),
- οι *προπονητικές προσαρμογές*: η συμμετοχή σε συστηματικό, εξειδικευμένο προπονητικό πρόγραμμα επιφέρει βελτίωση της ΔΤ (Young et al., 2001),
- διάφοροι *μεταβολικοί παράγοντες*: ο μεταβολισμός του μυϊκού γλυκογόνου και των φωσφαγόνων είναι σημαντικές για την επίδοση σε δρόμους ταχύτητας (Cheetham et al., 1986),

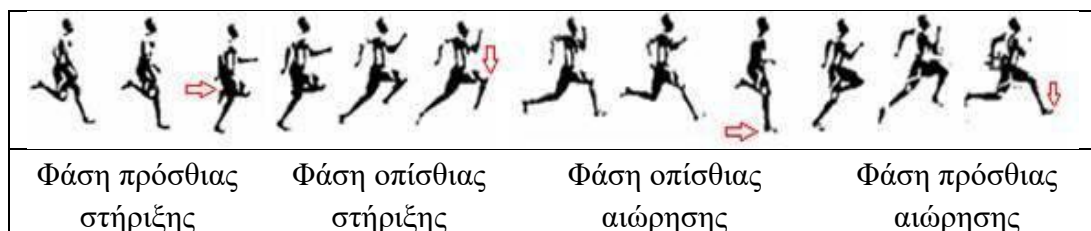
- διάφοροι *ψυχολογικοί παράγοντες*: η θέληση του ατόμου για μεγιστοποίηση της απόδοσης, η συγκέντρωσή του κλπ. (Hess and Gundlach, 1993).

Η μέγιστη ΔΤ έχει φανεί ότι συσχετίζεται με την ικανότητα ανάπτυξης της μυϊκής ισχύος (Bissas and Havenetidis, 2008), η οποία με τη σειρά της συμβάλει σε μεγαλύτερο μήκος διασκελισμού (Schmolinski, 1983). Η σχέση αυτή όμως δεν έχει παρατηρηθεί σε προέφηβα αγόρια (Berg et al., 1986). Γενικά, η εξέλιξη της ΔΤ κατά την αναπτυξιακή ηλικία έχει αποδοθεί σε πλειάδα παραγόντων όπως η αύξηση του μεγέθους του σώματος, η αύξηση της σωματικής μάζας, η μετατροπή των αργών σε γρήγορες μυϊκές ίνες, η αυξημένη μυϊκή ενεργοποίηση, η αύξηση της επίδρασης των ορμονών, η αύξηση της ποσότητας των φωσφαγόνων, η μειωμένη συνενεργοποίηση αγωνιστών-ανταγωνιστών μυών, η βελτίωση της συναρμογής και η βελτιστοποίηση της σκληρότητας του μυοτενόντιου συμπλέγματος (Dotan et al., 2012; Κοτζαμανίδης, 2007; Letzelter, 2006; Martin et al., 2000; Mero, 1998; Mero et al., 1992; Rumpf et al., 2011; van Praagh and Dore, 2002). Οι παραπάνω παράγοντες συντελούν στη βελτίωση της ικανότητας ανάπτυξης της μυϊκής ισχύος, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, είναι καθοριστική για την ανάπτυξη της ΔΤ (Lockie et al., 2014, Rumpf et al., 2013).

Κριτήρια αξιολόγησης της δρομικής τεχνικής

Τα κυρίαρχα στοιχεία τεχνικής στη φάση της μέγιστης ΔΤ, λαμβάνοντας υπόψη την απόσταση και την ένταση του τρεξίματος, αποτελούν: α) ο κορμός είναι σε μικρή κάμψη εμπρός και σε σταθερή θέση ως προς τη δρομική κατεύθυνση, β) η αμφίπλευρη κίνηση των άνω άκρων στη δρομική κατεύθυνση, με τους αγκώνες σε κάμψη 90°, γ) η αιώρηση των άνω άκρων πραγματοποιείται με χαλαρή κίνηση από τους ώμους, δ) η ενεργητική τοποθέτηση (δηλαδή με δυναμική έκταση της ποδοκνημικής άρθρωσης τη στιγμή της προσγείωσης) του κάτω άκρου κοντά στην προβολή του κέντρου μάζας σώματος, ε) η τοποθέτηση του κάτω άκρου στο μπροστινό μέρος του πέλματος, με την πτέρνα να μην έχει επαφή με το έδαφος, στ) η ελάχιστη κάμψη της άρθρωσης του γόνατος του ποδιού ώθησης κατά τη στήριξη, ζ) ο συντομότερος δυνατός χρόνος επαφής με το έδαφος, η) ο μηρός, κατά την αιώρηση, να φθάνει σε κλίση 15°-25° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, και θ) κατά την αιώρηση, η πτέρνα να φέρεται κοντά στο γλουτό (Πανουτσακόπουλος και Κόλλιας, 2008). Τα κρίσιμα σημεία για την αξιολόγηση της συναρμογής κατά την εκτέλεση της δρομικής τεχνικής είναι (Σαρασλανίδης, 2010):

1. στην οπίσθια φάση στήριξης, η άρση του γόνατος του ποδιού αιώρησης φθάνει στο μέγιστο ύψος τη στιγμή της απογείωσης του ποδιού στήριξης,
2. στην φάση οπίσθιας αιώρησης, η πτέρνα του ποδιού αιώρησης προσεγγίζει το γλουτό τη στιγμή της προσγείωσης του ποδιού στήριξης,
3. η τοποθέτηση του ποδιού στήριξης πραγματοποιείται ενεργητικά κοντά στην κατακόρυφη προβολή του κέντρου βάρους του σώματος (Εικόνα 6).

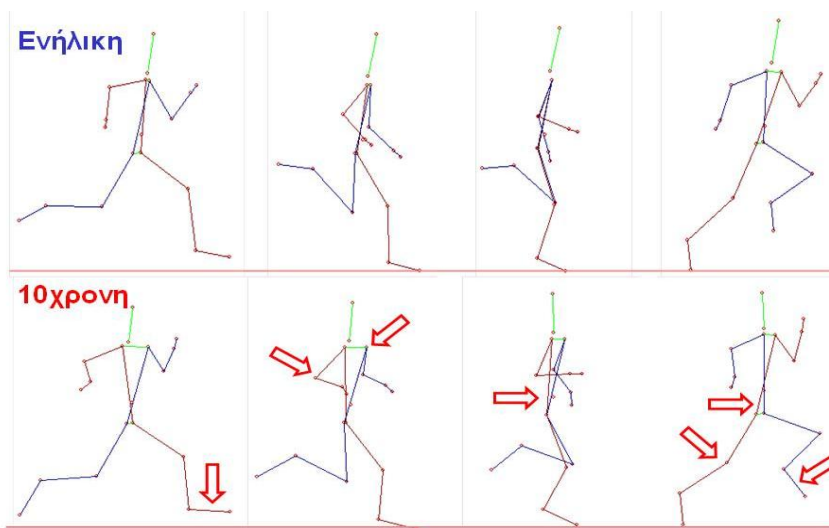


Εικόνα 5: Φάσεις και κριτήρια αξιολόγησης της συναρμογής (σημειώνονται με τα βέλη \Rightarrow , \Downarrow) κατά την εκτέλεση της δρομικής τεχνικής (τροποποιημένο από Πανουτσακόπουλο και Κόλλια, 2008).

Διαφοροποίηση της δρομικής τεχνικής στις αναπτυξιακές ηλικίες

Παρά τις διαφοροποιήσεις στο μήκος και τη συχνότητα διασκελισμού (αμφότερα μικρότερα στα παιδιά), η πλειοψηφία των κινηματικών παραμέτρων του ποδιού στήριξης δε βρέθηκε να διαφοροποιούνται ανάμεσα σε ενήλικους και προέφηβους στη φάση διατήρησης της μέγιστης ΔT (Chatzilazaridis et al., 2012a). Παρόλα αυτά, η δρομική τεχνική προέφηβων παιδιών στη φάση της μέγιστης ΔT (Εικόνα 3) χαρακτηρίζεται από την απουσία ενεργητικής τοποθέτησης, την τοποθέτηση του πέλματος σε μεγαλύτερη απόσταση από την κατακόρυφη προβολή του κέντρου μάζας του σώματος, την περιορισμένη κλίση προς τα εμπρός του κορμού, τις στροφές του κορμού εξαιτίας της αδυναμίας αιώρησης των άνω άκρων στη δρομική κατεύθυνση, τη στήριξη με επαφή του μεγαλύτερου μέρους του πέλματος, την απουσία δυναμικής έκτασης του ποδιού στήριξης, καθώς και τον περιορισμένο φτερισμό στην οπίσθια φάση αιώρησης εξαιτίας της αργής περιστροφικής κίνησης του ποδιού αιώρησης (Chatzilazaridis et al., 2012a; Χατζηλαζαρίδης και συν., 2012β). Στα προέφηβα παιδιά, η αρχική επαφή με την φτέρνα κατά το διασκελισμό σε δρόμους ταχύτητας συντελεί σε μειωμένη ΔT εξαιτίας της μικρότερης συχνότητας διασκελισμού σε σχέση με την επαφή στο μπροστινό

μέρος του πέλματος (Miyamoto et al., 2018). Η πλειοψηφία των παραπάνω χαρακτηριστικών αποτελεί ένδειξη κακής μηχανικής λειτουργίας του κάτω άκρου κατά το τρέξιμο (Saraslanidis et al., 2011). Έχει τονισθεί πάντως στη βιβλιογραφία ότι υπάρχει περιορισμένη επιστημονική τεκμηρίωση αναφορικά με τις εμβιομηχανικές παραμέτρους που καθορίζουν τη ΔΤ στις αναπτυξιακές ηλικίες (Rumpf et al., 2011).



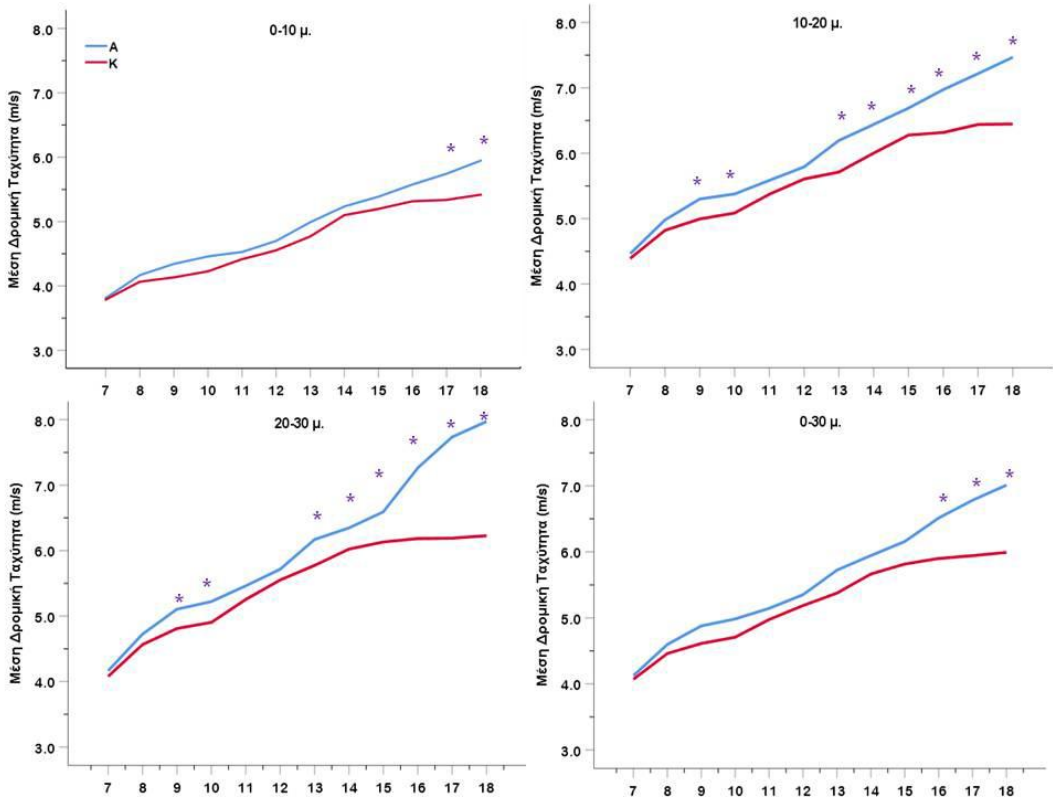
Εικόνα 6: Ενδεικτικά κινησιογράμματα ενήλικης (πάνω) και προέφηβης (κάτω) αθλήτριας δρόμων ταχύτητας στη φάση μέγιστης ΔΤ σε δρομική δοκιμασία (δημιουργημένο από δεδομένα Χατζηλαζαρίδη και συν., 2012β). Παρατηρείται ότι η προέφηβη αθλήτρια δεν πραγματοποιεί ενεργητική τοποθέτηση, παρουσιάζει στροφές του κορμού, ο οποίος είναι σχεδόν κατακόρυφος, η αιώρηση των άνω άκρων δεν εκτελείται προς τη δρομική κατεύθυνση, ενώ η ώθηση πραγματοποιείται χωρίς δυναμική έκταση του ποδιού ώθησης (σημειώνονται με τα βέλη ⇨).

Εξέλιξη της δρομικής ταχύτητας κατά την αναπτυξιακή ηλικία

Όπως φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 8, η ΔΤ αυξάνεται συνεχώς κατά την παιδική και εφηβική ηλικία (Babic et al., 2010; Kumar, 2006; Loko et al., 2003; Milanese et al., 2010; Papaiakovou et al., 2009; Rumpf et al., 2011; Sokolowski and Chrzanowska, 2012). Όμως, στο διάστημα περίπου δύο χρόνων πριν την εμ-

φάνιση του μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (*peak height velocity*-PHV), δεν υπάρχει σημαντική βελτίωση της ΔΤ (Colyer et al., 2020). Γενικά, κομβική ηλικία για την ανάπτυξη της ΔΤ στις αναπτυξιακές ηλικίες έχει βρεθεί πως είναι τα 12-13 έτη στα αγόρια, καθώς υπάρχει μεγαλύτερος ετήσιος ρυθμός βελτίωσης της ΔΤ, ενώ στα κορίτσια είναι τα 15 έτη, αφού η ΔΤ φαίνεται να μη βελτιώνεται στα επόμενα χρόνια (Papaiakonou et al., 2009). Η μεγαλύτερη πρόοδος της ΔΤ, όπως παρατηρείται σε δρομικές δοκιμασίες 30-50 μ., πραγματοποιείται στα παιδιά ηλικίας 7-11 ετών (Babic et al., 2010; Branta et al., 1984; Loko et al., 1994; Shephard and Lavallee, 1994; Viru et al., 1999). Η εξέλιξη της ΔΤ, του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού κατά την εκτέλεση μιας δρομικής δοκιμασίας 40 μ. δε διαφοροποιείται ανάμεσα σε προέφηβα αγόρια και κορίτσια (Χατζηλαζαρίδης και συν., 2012α). Μετά την εμφάνιση της εφηβείας, τα αγόρια είναι πιο γρήγορα από συνομήλικα κορίτσια (Thomas and French, 1985). Μάλιστα, η επίδοση βελτιώνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό σε έφηβους δρομείς ταχύτητας 14 έως 18 ετών σε σχέση με συνομήλικους αθλητές και αθλήτριες στίβου άλλων αγωνισμάτων (Πανουτσακόπουλος και συν., 1998). Τέλος, στα κορίτσια δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή των φάσεων της ΔΤ μετά τα 12 έτη (Καλοπίσης και συν., 2006), σε αντίθεση με τα αγόρια.

Κατά την αναπτυξιακή περίοδο, η αύξηση της ΔΤ έχει αποδοθεί κυρίως στην αύξηση του μήκους διασκελισμού (Kampmiller et al., 2011), ενώ η συχνότητα διασκελισμού θεωρείται ότι παραμένει ανεξάρτητη από την ηλικία (Vanderka and Kampmiller, 2012). Ωστόσο, μετά την ηλικία των 11 ετών, συντελούνται σημαντικές μεταβολές στους παράγοντες που καθορίζουν την επίδοση στους δρόμους ταχύτητας (Coh et al., 1995; Kampmiller et al., 2011; Kumar, 2006; Rumpf et al., 2015b; Sokolowski and Chrzanowska, 2012; Vanderka and Kampmiller, 2012, Whithall, 2003). Η ιδανική αναλογία μεταξύ του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού που είχε καθιερωθεί στην παιδική ηλικία διαταράσσεται στην ηλικία ανάμεσα στα 11-15 έτη (Coh et al., 1995; Kampmiller et al., 2011; Kumar, 2006; Vanderka and Kampmiller, 2012). Το γεγονός αυτό παρατηρείται καθώς κατά την περίοδο αυτή συντελείται ο PHV. Η ΔΤ επηρεάζεται κατά τον PHV, καθώς η εμφάνιση του PHV επιφέρει μεταβολή στους παράγοντες της ΔΤ: η επίδραση του μήκους διασκελισμού στην μέγιστη ΔΤ αυξάνεται, ενώ της συχνότητας διασκελισμού μειώνεται (Meyers et al., 2017).



Εικόνα 7: Εξέλιξη της μέσης δρομικής ταχύτητας στις αποστάσεις 0-10 μ., 10-20 μ., 20-30 μ. και 0-30 μ. σε μαθητές και μαθήτριες ανά ηλικία σε δρομική δοκιμασία 30 μ. (επεξεργασία δεδομένων από Παραιακονου et al., 2009). Σημ.: * = $p < .05$ μεταξύ αγοριών (A) και κοριτσιών (K).

Έχει υποστηριχθεί ότι αυτό συμβαίνει εξαιτίας της αύξησης του μεγέθους του σώματος (ύψος, μάζα, μήκος των μελών του σώματος, μέγεθος των μυών), και, κατά συνέπεια, της ικανότητας εφαρμογής δύναμης που προκαλεί η ωρίμανση (Branta et al., 1984; Meyers et al., 2015; Nagahara et al., 2019; Takai et al., 2019). Αντίθετα, στην προεφηβεία, το μέγεθος των μυών έχει συσχετιστεί με τη συχνότητα διασκελισμού (Tottori et al., 2018). Επίσης, η λειτουργία του κύκλου διάτασης-βράχυνσης γίνεται αποτελεσματικότερη, με αποτέλεσμα την εφαρμογή μεγαλύτερων προωθητικών δυνάμεων κατά τη φάση στήριξης (Nagahara et al., 2018), ιδίως στα αγόρια (Colyer et al., 2020). Σε γενικές γραμμές, έως την εμφάνιση του PHV, η βελτίωση της ΔΤ αποδίδεται στην ωρίμανση του νευρικού συστήματος,

ενώ η εφηβεία συμβάλλει στην αύξηση των επιπέδων εφαρμογής δύναμης λόγω των ορμονικών μεταβολών.

Μέθοδοι προπόνησης της δρομικής ταχύτητας στην αναπτυξιακή ηλικία

Κατά την ανάπτυξη, η βελτίωση της δρομικής επίδοσης είναι αποτέλεσμα μάθησης (Branta et al., 1984). Κατά συνέπεια, είναι ουσιαστικής σημασίας η εκμάθηση της τεχνικής τρεξίματος με ειδικές ασκήσεις συναρμογής και επιδεξιότητας (ABC ταχύτητας, βλ. Gozzoli et al., 2002; Καντζίδης και Παπαϊακώβου, 2006; Κέλλης και συν., 2009; Pettersen and Mathisen, 2012), όπου έμφαση δίνεται στην συχνότητα κίνησης (Κέλλης και συν., 1995). Η δρομική τεχνική εξασκείται με εκτέλεση δρόμων αρχικά με υπομέγιστη ταχύτητα (Σαρασλανίδης, 1987) και έπειτα με προοδευτικά αυξανόμενη ή/και μεταβαλλόμενη ένταση (Κέλλης και συν., 1995). Μεθοδολογικά (Bauersfeld and Schroeter, 1992), οι στόχοι εκμάθησης της δρομικής τεχνικής ξεκινούν από το τρέξιμο σε ευθεία και με επαφή στο μπροστινό μέρος του πέλματος, με χαλαρή κίνηση των μελών του σώματος. Έπειτα, έμφαση δίνεται στον συγχρονισμό του φτερνισμού με την μέγιστη άρση του γόνατος. Η μεθοδολογία εκμάθησης ολοκληρώνεται με την ενεργητική κίνηση του πέλματος κατά την τοποθέτησή του και την ελαχιστοποίηση του χρόνου επαφής (Bauersfeld and Schroeter, 1992).

Η προπόνηση ΔΤ συνίσταται να πραγματοποιείται σε ψυχαγωγική μορφή, καθώς και να συντελείται με παιγνιώδεις συναγωνιστικές δραστηριότητες και με χρήση σκυταλοδρομιών, παρά με απλό ευθύγραμμο τρέξιμο (Gozzoli et al., 2002; Katzenbogner, 2004; Martin, 1994; Σαρασλανίδης, 2010). Παρά την φυσιολογική βελτίωση της ΔΤ με την ηλικία, η συμμετοχή σε προπονητικά προγράμματα κατά την ανάπτυξη, ακόμα και σε ηλικίες κάτω των 11 ετών, επιφέρει περαιτέρω βελτίωση της ΔΤ (Paruzel-Dyja et al., 2007; Ratzef, 1991). Αξίζει να τονισθεί ότι για την ύπαρξη των ευνοϊκών περιόδων βελτίωσης της ΔΤ («ευαίσθητη φάση») φαίνεται να μην υπάρχει συμφωνία στη βιβλιογραφία, ιδίως στα κορίτσια (Viru et al., 1999). Ωστόσο, έχει υποστηριχθεί ότι δεν είναι δυνατή η επιστημονική τεκμηρίωση της ύπαρξης των ευαίσθητων φάσεων (Oliver et al., 2013), καθώς δε λαμβάνεται υπόψη η βιολογική ηλικία.

Προπόνηση με δρομικές επιβαρύνσεις

Η επαναληπτική μέθοδος με εφαρμογή δρομικών επιβαρύνσεων (δρομική προπόνηση ταχύτητας) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος ανάπτυξης της ΔΤ. Χρησιμοποιούνται δρόμοι σε απόσταση που αντιστοιχούν στη φάση της αρχικής μέγιστης ΔΤ, οι οποίοι εκτελούνται με μέγιστη ένταση και με διάλειμμα πλήρους αποκατάστασης (Grosser and Stariscka, 2000). Όμως, έχει φανεί ότι η υποβολή παιδιών σε προπονητικό πρόγραμμα που περιέχει μόνο δρομικές επιβαρύνσεις επέφερε βελτίωση της ΔΤ μόνο στη φάση επιτάχυνσης (Kotzamanidis, 2003) και όχι στη φάση της σταθερής μέγιστης ΔΤ (Rumpf et al., 2012). Έχει παρατηρηθεί επίσης ότι η εφαρμογή ενός προπονητικού προγράμματος δρομικών επιβαρύνσεων επιφέρει προσαρμογές μόνο ως προς τα ερεθίσματα που περιλαμβάνει, π.χ. ως προς την τροχιά μετακίνησης (Young et al., 2001). Για αθλητές αναπτυξιακής ηλικίας συστήνεται (Oliver et al., 2020) προπονητικό πρόγραμμα 2-3 φορές εβδομαδιαία για 8-10 εβδομάδες, όπου εκτελούνται έως 16 επαναλήψεις δρόμων ταχύτητας 10-30 μ. με μέγιστη ένταση, με ενδιάμεσο διάλειμμα άνω του 1.5 λεπτού και με συνολική ποσότητα στην προπονητική μονάδα 240-480 μ.

Άλλη μορφή δρομικής επιβάρυνσης είναι οι δρομικές επιβαρύνσεις με τρέξιμο προς τα πίσω (Petraakis et al., 2020). Έχει βρεθεί ότι, με αυτό το είδος ερεθίσματος, προκύπτουν προσαρμογές στη ΔΤ σε εφήβους (Uthoff et al., 2020), καθώς το τρέξιμο προς τα πίσω βελτιώνει την συναρμογή και την εφαρμογή δύναμης κατά την εκτέλεση της δρομικής τεχνικής (Uthoff et al., 2018).

Η ΔΤ φαίνεται πως βελτιώνεται και με επαναλαμβανόμενη-διαλειμματική προπόνηση σε προπονημένους ενήλικες αθλητές (Helland et al., 2019). Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενες μέγιστες δρομικές δοκιμασίες μικρής ή/και μεγάλης απόστασης (Jimenez-Reyes et al., 2016) που συναντώνται κυρίως στα ομαδικά αθλήματα, με κύριο χαρακτηριστικό την απουσία διαλείμματος πλήρους αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων (Bishop et al., 2011; Pyne et al., 2008). Η εφαρμογή της μεθόδου σε έφηβους αθλητές χειροσφαίρισης δε βελτίωσε τη ΔΤ στη φάση επιτάχυνσης (Buchheit et al., 2010). Αντίθετα, σε έφηβους ποδοσφαιριστές, βελτιώθηκε τόσο η ΔΤ σε δρομική δοκιμασία 40 μ., όσο και η ΔΤ στη φάση επιτάχυνσης (Shalfawi et al., 2012). Στην προαναφερθείσα μελέτη, η επαναλαμβανόμενη-διαλειμματική προπόνηση δρομικής ταχύτητας εφαρμόστηκε για οκτώ εβδομάδες (δύο φορές εβδομαδιαία) και υλοποιήθηκε με 4 σειρές των 5

επαναλήψεων δρόμων ταχύτητας 40 μ., με διάλειμμα 1.5 λεπτό ανάμεσα στους δρόμους και 10 λεπτών ανάμεσα στις σειρές.

Η εφαρμογή των δρομικών επιβαρύνσεων σε ανωφέρεια και κατωφέρεια έχει δείξει ότι βελτιώνει καλύτερα τη ΔΤ σε σχέση με το τρέξιμο σε επίπεδο σε ενήλικες (Paradisis et al., 2013). Δεν έχει βρεθεί στη βιβλιογραφία μελέτη αναφορικά με την επίδραση αυτών των προπονητικών ερεθισμάτων στην ΔΤ αναπτυσσόμενων αθλητών. Γενικά, συστήνεται (Αντόνωφ και συν., 1989) η αποφυγή πρόκλησης «υπερταχύτητας», την οποία προκαλούν το τρέξιμο σε κατωφέρεια και η χρήση ελκτικών μηχανισμών (βλ. την επόμενη ενότητα), καθώς η χρησιμοποίηση αυτών των προπονητικών μέσων διαταράσσει τη δόμηση του ορθού κινητικού προτύπου της δρομικής τεχνικής σε αθλητές αναπτυξιακής ηλικίας.

Ολοκληρώνοντας, έχει επικρατήσει ότι η σκάλας επιδεξιότητας αποτελεί αποτελεσματικό μέσο για τη βελτίωση της ΔΤ (Afonso et al., 2020). Όμως, προπονητικό πρόγραμμα με χρήση σκάλας επιδεξιότητας για 6 εβδομάδες δε βελτίωσε τη ΔΤ σε δοκιμασίες 10 μ. και 20 μ. σε 13χρονους ποδοσφαιριστές συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (Padrón-Cabo et al., 2020).

Δρομικές επιβαρύνσεις με εξωτερικές αντιστάσεις

Παρότι τα προγράμματα ενδυνάμωσης με εξωτερικές αντιστάσεις, με τις τυπικές ασκήσεις που χρησιμοποιούνται ευρέως (Bolger et al., 2015), βελτιώνουν τις μορφές δύναμης που απαιτούνται για τη μεγιστοποίηση της ΔΤ, οι πιο αποτελεσματικές, ως προς τη μεταφορά των προσαρμογών στους δρόμους ταχύτητας, είναι οι ειδικές ασκήσεις ενδυνάμωσης σε δρομική δοκιμασία (Moir et al., 2018). Οι πιο διαδεδομένες είναι οι δρομικές επιβαρύνσεις με υπερνίκηση εξωτερικών αντιστάσεων (Saraslanidis, 2000), όπως τρέξιμο με γιλέκο, έλξη έλκηθρου, χρήση λάστιχου ή αλεξίπτωτου, τρέξιμο ενάντια σε αντίσταση, κλπ. (Levya et al., 2017). Τα βραχυπρόθεσμα αποτελέσματα προπόνησης τριών δρόμων 30 μ. με τράβηγμα αντίστασης 2.5-10% της σωματικής μάζας έδειξαν ότι δεν επήλθε βελτίωση σε προέφηβα παιδιά, ενώ σε μετέφηβα παιδιά επέφερε οριακή βελτίωση της ΔΤ (Rumpf et al., 2015a). Η ίδια μελέτη πάντως έδειξε μία σχετικά καλύτερη βελτίωση της ΔΤ στα παιδιά που βρίσκονταν περί του PHV. Σε παιδιά αυτής της ηλικίας έχει φανεί ότι η έλξη έλκηθρου με τρέξιμο προς τα πίσω αποτελεί μέθοδο βελτίωσης της ΔΤ (Uthoff et al., 2019), καθώς παρέχει παρόμοιες προσαρμογές σε σχέση με το τράβηγμα αντίστασης (Uthoff and Cronin, 2020).

Πλυομετρική προπόνηση - Συνδυαστικά προγράμματα προπόνησης

Η πρόκληση προσαρμογών στον κύκλο διάτασης-βράχυνσης μετά από εφαρμογή οριζόντιων πλυομετρικών ασκήσεων φαίνεται πως προκαλεί βελτίωση της ΔΤ (Rimmer and Sleivert, 2000). Στα παιδιά αναπτυξιακής ηλικίας, η ΔΤ βελτιώνεται τόσο με οριζόντιες, όσο και με κατακόρυφες πλυομετρικές αλτικές ασκήσεις (Τσαδήμας, 2002). Με τη χρήση των πλυομετρικών αλτικών ασκήσεων στα παιδιά έχει φανεί ότι βελτιώνεται η ΔΤ στη φάση μέγιστης ταχύτητας, αλλά όχι στη φάση της αρχικής επιτάχυνσης (Kotzamanidis, 2006). Αντίθετα, σε προέφηβους ποδοσφαιριστές, η συστηματική υποβολή σε πλυομετρική προπόνηση αύξησε τη ΔΤ και στη φάση επιτάχυνσης (Ramirez-Campillo et al., 2015). Ωστόσο, η εφαρμογή πλυομετρικής αλτικής προπόνησης για πέντε μόνο εβδομάδες δεν επιφέρει στα παιδιά σημαντικές βελτιώσεις συγκριτικά με την προπόνηση με εφαρμογή μόνο δρομικών επιβαρύνσεων (Kotzamanidou et al., 2005). Επιπρόσθετα, η προπόνηση ενδυνάμωσης με εξωτερικές αντιστάσεις έχει φανεί πως επιφέρει βελτίωση στη ΔΤ σε έφηβους ποδοσφαιριστές (Christou et al., 2006). Περισσότερες πληροφορίες και προτάσεις για τα μέσα, τα περιεχόμενα και την ποσότητα για την προπόνηση ενδυνάμωσης με εξωτερικές αντιστάσεις και για την πλυομετρική αλτική προπόνηση παρέχονται στα αντίστοιχα κεφάλαια του παρόντος βιβλίου.

Βελτίωση στη ΔΤ έχουν επίσης επιφέρει τα συνδυαστικά προγράμματα προπόνησης, δηλαδή προπονητικά προγράμματα στα οποία πραγματοποιούνται πρωτόκολλα ενδυνάμωσης και κατόπιν ακολουθεί η προπόνηση ΔΤ ή η προπόνηση ισχύος (Kotzamanidis et al., 2005). Έχει υποστηριχθεί ότι συνδυαστικά προγράμματα προπόνησης έχουν βελτιώσει τη ΔΤ σε ποδοσφαιριστές (Wong et al., 2010: συνδυαστική προπόνηση ενδυνάμωσης και ισχύος με πλυομετρικές ασκήσεις διάρκειας 12 εβδομάδων) και καλαθοσφαιριστές (Tsimachidis et al., 2013: συνδυαστική προπόνηση ενδυνάμωσης και ταχύτητας διάρκειας 10 εβδομάδων) αναπτυξιακών ηλικιών. Επίσης, η εφαρμογή συνδυαστικής προπόνησης ενδυνάμωσης και ισχύος με πλυομετρικές ασκήσεις βελτίωσε τη ΔΤ στη φάση επιτάχυνσης σε προέφηβους αθλητές (Faigenbaum et al., 2007). Η αποτελεσματικότητα των συνδυαστικών προγραμμάτων προπόνησης στη βελτίωση της ΔΤ σε προέφηβα παιδιά φαίνεται και από το γεγονός ότι η ΔΤ βελτιώθηκε μετά από ταυτόχρονη προπόνηση ισχύος και αντοχής (Marta et al., 2013). Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι η συνδυαστική προπόνηση ενδυνάμωσης και ισχύος με πλυομετρικές ασκήσεις διάρκειας 12 εβδομάδων επέφερε βελτίωση στη ΔΤ, η οποία όμως επανήλθε στα

αρχικά επίπεδα μετά από 12 εβδομάδες αποπροπόνησης σε προέφηβα παιδιά (Ingle et al., 2006).

Προτάσεις για πρακτική εφαρμογή

Οι βασικές προσαρμογές των προπονητικών προγραμμάτων βελτίωσης της ΔΤ κατά την αναπτυξιακή ηλικία, σε σχέση με τους ενήλικες, απεικονίζονται στον Πίνακα 1.

Σε γενικές γραμμές, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έχει δείξει ότι (Rumpf et al., 2012):

1. για προέφηβα παιδιά, η επίδραση στη βελτίωση της ΔΤ μεθόδων προπόνησης ισχύος, με εξωτερικές αντιστάσεις, καθώς και η εφαρμογή αντίστασης ή υποβοήθησης κατά το τρέξιμο δεν είναι γνωστή,
2. στα παιδιά περί του μέγιστου PHV, η πλυομετρική προπόνηση βελτιώνει τη ΔΤ αποτελεσματικότερα σε σχέση με προπόνηση ενδυνάμωσης ή την εφαρμογή συνδυαστικής προπόνησης,
3. στα μετέφηβα παιδιά, η ΔΤ βελτιώνεται αποτελεσματικότερα με προγράμματα συνδυαστικής προπόνησης.

Οι γενικές κατευθυντήριες οδηγίες ως προς τη μακρόχρονη διαμόρφωση της προπόνησης ΔΤ στις αναπτυξιακές ηλικίες είναι οι ακόλουθες (Oliver et al., 2013):

- νηπιακή-παιδική ηλικία: κύριος στόχος είναι η απόκτηση βασικών δρομικών δεξιοτήτων μέσω πολύπλευρης εκτέλεσης ποικίλων δρομικών δραστηριοτήτων. Πραγματοποιείται εξάσκηση στις στοιχειώδεις κινητικές δεξιότητες, με κύρια ερεθίσματα τα παιδαγωγικά παιχνίδια με δρομικές επιβαρύνσεις
- πριν τον PHV: πραγματοποιείται βελτίωση της δρομικής τεχνικής με υπομέγιστες επιβαρύνσεις και με στόχο τη συναρμογή κατά την εφαρμογή κύκλου διάτασης-βράχυνσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασκήσεις και παιχνίδια με έμφαση στη δρομική τεχνική μέσα από ερεθίσματα συναρμογής, γυμναστικές ασκήσεις και ασκήσεις όπου προκαλείται η εμφάνιση του κύκλου διάτασης-βράχυνσης.
- κατά τον PHV: στη φάση αυτή καταβάλλεται προσπάθεια για βελτιστοποίηση της δρομικής τεχνικής με μέγιστες δρομικές επιβαρύνσεις και με ασκήσεις συναρμογής. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται εξοικείωση και εισαγωγή των πλυομετρικών ασκήσεων. Η προπόνηση περιέχει προπόνηση ενδυνάμωσης, πλυομετρικές ασκήσεις και ασκήσεις συναρμογής.

Πίνακας 1: Προπονητικές προσαρμογές από την εφαρμογή προγραμμάτων για την προπόνηση της δρομικής ταχύτητας κατά την αναπτυξιακή ηλικία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Τα κενά κελιά υποδηλώνουν ότι δεν εντοπίστηκε μελέτη αναφορικά με την αντίστοιχη παράμετρο φυσικής κατάστασης.

Μέθοδος Προπόνησης	Επιτάχυνση	Μέγιστη ΔΤ	Μυϊκή δύναμη	Αλτική ικανότητα	Αναερόβια αντοχή
Επαναληπτική δρομική προπόνηση ταχύτητας	+	-			
Προπόνηση με τρέξιμο προς τα πίσω		+	+	+	
Δρομική προπόνηση ταχύτητας με έλξη αντίστασης		+	+	+	
Δρομική προπόνηση ταχύτητας σε ανωφέρεια-κατωφέρεια					
Προπόνηση με πλυομετρικές αλτικές ασκήσεις	+	+	+	+	
Επαναλαμβανόμενη-Διαλειμματική δρομική προπόνηση ταχύτητας	+	+		+	+
Συνδυαστική προπόνηση:					
• ενδυνάμωσης + ισχύς (πλυομετρικές ασκήσεις)	+	+	+	+	
• ενδυνάμωσης + ταχύτητας	+	+	+	+	
• ενδυνάμωσης + αερόβια αντοχή		+	+		

+: βελτίωση, -: χωρίς σημαντική επίδραση

- μετά τον PHV: Εφαρμόζονται μέγιστες δρομικές επιβαρύνσεις, προπόνηση ενδυνάμωσης (στόχος: μυϊκή υπερτροφία) και πλυομετρικές ασκήσεις μέσω των συνδυαστικών προγραμμάτων προπόνησης. Βελτιστοποιείται η τεχνική των δρομικών κινητικών δεξιοτήτων και των περιεχομένων των συνδυαστικών προπονητικών προγραμμάτων, ούτως ώστε να προκληθούν προσαρμογές στη μορφολογία του νευρομυϊκού συστήματος.

Οι οδηγίες αυτές μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε περίπτωση, αφού δεν έχουν παρατηρηθεί σε προέφηβα παιδιά διαφορές στη ΔΤ εξαιτίας εθνολογικών διαφορών (Babel et al., 2005). Το σημαντικό είναι να υπάρχει μικρή διάρκεια των ερεθισμάτων στην προπόνηση, ώστε η επιβάρυνση να αντιστοιχεί στη ζώνη της αγαλακτικής αναερόβιας παραγωγής ενέργειας (Martin, 1994). Τονίζεται ότι η εφαρμογή ενός προπονητικού προγράμματος προπόνησης σε παιδιά θα πρέπει πάντοτε να στηρίζεται στις βασικές παιδαγωγικές μεθόδους και στις αρχές της προπονητικής (Gozzoli et al., 2002).

Σύνοψη

Ανακεφαλαιώνοντας, η επίδοση στους δρόμους ταχύτητας είναι αποτέλεσμα μάθησης. Κατά συνέπεια, η εκμάθηση της δρομικής τεχνικής είναι καθοριστική για τη βελτίωση της δρομικής ταχύτητας και την προπόνησή της στην αναπτυξιακή ηλικία. Γενικά, η δρομική ταχύτητα βελτιώνεται σε όλη την αναπτυξιακή ηλικία, με εξαίρεση την περίοδο όπου συντελείται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του αναστήματος. Σε αυτή την περίοδο δε βελτιώνεται σημαντικά η επίδοση στους δρόμους ταχύτητας. Ο λόγος είναι ότι, κατά την περίοδο αυτή, διαταράσσεται η ιδανική σχέση μεταξύ μήκους και συχνότητας διασκελισμού που είχε αυτοματοποιηθεί ως εκείνη την ηλικία, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια υστέρηση στην ανάπτυξη της δρομικής ταχύτητας. Μετά τον μέγιστο ρυθμό αύξησης του αναστήματος, παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση λόγω του φύλου, καθώς τα αγόρια είναι πια σημαντικά πιο γρήγορα από τα κορίτσια.

Ο στόχος της προπόνησης θα πρέπει να είναι η αποτελεσματικοποίηση της φάσης επιτάχυνσης, με απώτερο σκοπό την επιμήκυνση της φάσης της μέγιστης δρομικής ταχύτητας, με την επισήμανση ότι ο ιδανικός εξατομικευμένος συνδυασμός μήκους και συχνότητας διασκελισμού στη φάση μέγιστης δρομικής ταχύτητας θα πρέπει να προσαρμόζεται στο επίπεδο ωρίμανσης, τεχνικής δεξιότητας και

φυσικής κατάστασης του αναπτυσσόμενου ατόμου. Ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι η βελτίωση της δρομικής ταχύτητας είναι αποτελεσματικότερη με συνδυαστική προπόνηση πλυομετρικής προπόνησης και δρομικών επιβαρύνσεων, παρά μόνο με προπόνηση δρομικής ταχύτητας που περιέχει αποκλειστικά ερεθίσματα δρομικής επιβάρυνσης. Σε κάθε περίπτωση, η προπόνηση δρομικής ταχύτητας στις αναπτυξιακές ηλικίες θα πρέπει να διέπεται από παιδαγωγικό χαρακτήρα και να περιέχει ποικίλες δρομικές παιγνιώδεις δραστηριότητες, με κυρίαρχη την έμφαση στην σωστή εκτέλεση της δρομικής τεχνικής.

Κεντρικά σημεία του κεφαλαίου

- Η επίδοση στους δρόμους ταχύτητας είναι αποτέλεσμα μάθησης, με την εκμάθηση της δρομικής τεχνικής να αποτελεί σημείο καθοριστικής σημασίας.
- Η δρομική ταχύτητα βελτιώνεται σε όλη την αναπτυξιακή ηλικία.
- Μετά τον μέγιστο ρυθμό αύξησης του αναστήματος υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση λόγω του φύλου (τα αγόρια είναι πιο γρήγορα από τα κορίτσια).
- Στόχος στην προπόνηση είναι η αποτελεσματικοποίηση της φάσης επιτάχυνσης, με απώτερο σκοπό την επιμήκυνση της φάσης μέγιστης δρομικής ταχύτητας.
- Ο παιδαγωγικός χαρακτήρας και οι παιγνιώδεις δραστηριότητες, με έμφαση στην σωστή εκτέλεση της δρομικής τεχνικής, θα πρέπει να διέπουν την προπόνηση δρομικής ταχύτητας στις αναπτυξιακές ηλικίες.

Βιβλιογραφία

Afonso, J., da Costa, I.T., Camões, M., Silva, A., Lima, R.F., Milheiro, A., Martins, A., Laporta, L., Nakamura, F.Y., Clemente, F.M., 2020. The effects of agility ladders on performance: A systematic review. *Int. J. Sports Med.* [doi: 10.1055/a-1187-7560]

- Αντόνωφ, Ν., Ιόνωφ, Ι., Μπόνωφ, Π., Μιλάνοβα, Σ., Μίλενσκι, Μ., Μλιάκωφ, Γ., Νικόλωφ, Ε., Πασκάλεφ, Π., Σαράφωφ, Α., Σίσκοφ, Μ., 1989. Προπόνηση νεαρών αθλητών στίβου (Επιμέλεια: Ακριβάκης, Ν., Κέλλης, Σ., Φαφούτης, Ε.). Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Babel, K., Hertogh, C., Hue, O., 2005. Influence of ethnic origin on predictive parameters of performance in sprint running in prepubertal boys. *Int. J. Sports Med.* 26(9), 798-802.
- Babic, V., Blazevic, I., Vlastic, J., 2010. Characteristics of sprinting in pre-school and junior elementary school children. *Hrvat. Športskomed. Vjesn.* 25, 3-8.
- Babic, V., Harasin, D., Dizdar, D., 2007. Relations of the variables of power and morphological characteristics to the kinematic indicators of maximal speed running. *Kinesiol.* 39(1), 28-39.
- Bauersfeld, K., Schroeter, G., 1992. *Grundlagen der Leichtathletik.* Sportverlag, Berlin.
- Berg, K., Miller, M., Stephens, L., 1986. Determinants of 30 meter sprint time in pubescent males. *J. Sports Med.* 26(3), 225-231.
- Bishop, D., Girard, O., Mendez-Villanueva, A., 2011. Repeated-sprint ability: Part II. *Sports Med.* 41(9), 741-756.
- Bissas, A.I., Havenetidis, K., 2008. The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 48(1), 49-54.
- Bolger, R., Lyons, M., Harrison, A.J., Kenny, I.C., 2015. Sprinting performance and resistance-based training interventions: A systematic review. *J. Strength Cond. Res.* 29(4), 1146–1156.
- Branta, C., Haubenstricker, J., Seefeldt, V., 1984. Age changes in motor skills during childhood and adolescence. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 12, 467-520.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Quesnel, T., Ahmaidi, S., 2010. Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5(2), 152-164.
- Chatzilazaridis, I., Panoutsakopoulos, V., Mavrommatis, S., Papaiakovou, G., 2012a. Kinematic differences of the maximum velocity phase sprinting stride between adult national level and novice prepubescent male sprinters,

- in: Abstracts of the 1st Joint World Congress of ISPGR and Gait & Mental Function, pp. 344-345.
- Chatzilazaridis, I., Panoutsakopoulos, V., Papaiakovou, G.I., 2012b. Stride characteristics progress in a 40-m sprinting test executed by male preadolescent, adolescent and adult athletes. *J. Biol. Exerc.* 8(2), 59-77.
- Cheetham, M.E., Boobis, L.H., Brooks, S., Williams, C., 1986. Human muscle metabolism during sprint running. *J. Appl. Physiol.* 61(1), 54-60.
- Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Piliandis, T., Tokmakidis, S.P., 2006. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 20(4), 783-791.
- Coh, M., Skof, B., Kugovnik, O., Dolenc, A., Kampmiller, T., Laczó, E., Holcek, R., Selinger, P., 1995. Kinematic and dynamic characteristics of maximal speed in young sprinters. *Kinesiol. Slovenica*, 2(1), 5-10.
- Colyer, S.L., Nagahara, R., Takai, Y., Salo, A.I.T., 2020. The effect of biological maturity status on ground reaction force production during sprinting. *Scand. J. Med. Sci. Sports* [DOI: 10.1111/sms.13680].
- Dal Pupo, J., da Rocha, C.I. Jr, Mota, C.B., 2008. Concentrações de lactato sangüíneo e o comportamento cinemático de corredores mirins em provas de 50 e 100m rasos. *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho. Hum.* 10(4), 393-398.
- Delecluse, C., 1997. Influence of strength training on sprint running performance. *Sports Med* 24(3):147-156
- Donati, A., 1995. The development of stride length and stride frequency in sprinting. *New Stud. Athl.* 10(1), 51-66.
- Dotan, R., Mitchell, C., Cohen, R., Klentrou, P., Gabriel, D., Falk, B., 2012. Child-adult differences in muscle activation - A review. *Pediatr. Exerc. Sci.* 24(1), 2-21.
- Exell, T., Irwin, G., Gittoes, M., Kerwin, D., 2017. Strength and performance asymmetry during maximal velocity sprint running. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 27(11), 1273-1282.
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Keiper, F.B., Tevlin, W., Ratamess, N.A., Kang, J., Hoffman, J.R., 2007. Effects of a short-term plyometric and

- resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J. Sports Sci. Med.* 6(4), 519-525.
- Fletcher, I.M., Anness, R., 2007. The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. *J. Strength Cond. Res.* 21(3), 784-787.
- Gajer, B., Thepaut-Mathieu, C., Lehenaff, D., 1999. Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m event in athletics. *New Stud. Athl.* 14(1), 43-50.
- Gozzoli, C., Locatelli, E., Massin, D., Wangemann, B., 2002. IAAF kids' athletics - A practical guide. I.A.A.F., Monaco.
- Grosser, M., Starischka, S., 2000. Προπόνηση φυσικής κατάστασης (Επιμέλεια: Κέλλης, Σ.). Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Hay, J.G., 2002. Cycle rate, length, and speed of progression in human locomotion. *J. Appl. Biomech.* 18(3), 257-270.
- Hay, J.G., 1985. The biomechanics of sports techniques (3rd edition). Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ.
- Helland, C., Haugen, T., Rakovic, E., Eriksrud, O., Seynnes, O., Mero, A.A., Paulsen, G., 2019. Force-velocity profiling of sprinting athletes: single-run vs. multiple-run methods. *Eur. J. Appl. Physiol.* 119(2), 465-473.
- Hess, W.D., Gundlach, H., 1993. Δρόμοι (Επιμέλεια: Αραμπατζή, Φ.). Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Hunter, J.P., Marshall, R.N., McNair, P.J., 2004. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36(2), 261-271.
- Ingle, L., Sleaf, M., Tolfrey, K., 2006. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J. Sports Sci.* 24(9), 987-997.
- Jimenez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Cuadrado-Peñafiel, V., Morcillo, J.A., Párraga, J.A., González-Badillo, J.J., 2016. Mechanical, metabolic and perceptual response during sprint training. *Int. J. Sports Med.* 37(10), 807-812.
- Καλοπίσης, Β., Μιχαηλίδης, Ι., Τσαδίμας, Χ., Χατζόπουλος, Δ., Κωνσταντινίδου, Ε., Κοτζαμανίδης, Χ., 2006. Η επίδραση της ηλικίας στη μεταβολή της δρομικής ταχύτητας σε κορίτσια προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας. *Γυναίκα Άθλ.* 5, 26-37.

- Καντζίδης, Δ., Παπαϊακώβου, Γ., 2006. Κλασικός Αθλητισμός για το σχολείο και το σύλλογο. Αυτοέκδοση των συγγραφέων, Θεσσαλονίκη.
- Kampmiller, T., Vanderka, M., Selinger, P., Selingerova, M., Cierna, D., 2011. Kinematic parameters of the running stride in 7- to 18-year-old youth. *Kinesiol. Slovenica* 17(1), 63-75.
- Katzenbogner, H., 2004. Κλασικός Αθλητισμός για παιδιά (Επιμέλεια: Παπαϊακώβου, Γ.). Όλυμπος, Θεσσαλονίκη.
- Κέλλης, Σ., Κοντονάσιος, Γ., Μάνου, Β., Πυλιανίδης, Θ., Σαρασλανίδης, Π., Σούλας, Δ., 2009. Κλασικός Αθλητισμός στην εκπαίδευση και τον αθλητισμό. Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Κέλλης, Σ., Σαρασλανίδης, Π., Σούλας, Δ., Χαλάτσης, Ν., 1995. Ενιαίος προπονητικός-αγωνιστικός σχεδιασμός στον κλασικό αθλητισμό, Τόμος Ι: Δρόμοι. Γ.Γ.Α., Αθήνα.
- Κόλλιας, Η.Α., 2016. Βιοκινητική της Αθλητικής Κίνησης. Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Κοτζαμανίδης, Χ., 2007. Η άμεση και η μακρόχρονη επίδραση της προπόνησης στη δρομική ταχύτητα. *Αναζητήσεις Φυσ. Αγ. Αθλ.* 5(1), 179-186.
- Kotzamanidis, C., 2006. The effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J. Strength Cond. Res.* 20(2), 441-445.
- Kotzamanidis, C., 2003. The effect of sprint training on running performance and vertical jumping in pre-adolescent boys. *J. Hum. Mov. Stud.* 44(3), 225-240.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakovou, G., Patikas, D., 2005. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 19(2), 369-375.
- Kotzamanidou, M., Tsiadimas, C., Michailidis, I., Bassa, E., Chatzopoulos, D., Gerodimos, C., Kotzamanidis, C., 2005. The effect of a five week training intervention program of sprint and jumping exercises on running velocity and vertical jump performance in prepubertal boys. *Int. J. Perform. Anal. Sport* 5(1), 22-30.
- Kuitunen, S., Komi, P.V., Kyrolainen, H., 2002. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(1), 166-173.

- Kumar, H., 2006. Age changes in the speed of running during 30 meter sprint running. *J. Exerc. Sci. Physiother.* 2, 92-95.
- Letzelter, S., 2006. The development of velocity and acceleration in sprints: A comparison of elite and juvenile female sprinters. *New Stud. Athl.* 21(3), 15-22.
- Leyva, D.W., Wong, M.A., Brown, L.E., 2017. Resisted and assisted training for sprint speed: A brief review. *J. Phys. Fit. Treatment Sports* 1(1), 555554.
- Lockie, R.G., Schultz, A.B., Callaghan, S.J., Jeffriess, M.D., Luczo, T.M., 2014. Contribution of leg power to multidirectional speed in field sport athletes. *J. Aust. Strength Cond.* 22(2), 16-24.
- Loko, J., Aule, R., Sikkut, T., 1994. Dynamics of Estonian adolescents physical abilities. *Acta. Academ. Olymp. Est.* 2, 102-114.
- Loko, J., Aule, R., Sikkut, T., Ereline, J., Viru, A., 2003. Age differences in growth and physical abilities in trained and untrained girls 10–17 years of age. *Am. J. Hum. Biol.* 15(1), 72-77.
- Mackala, K., 2007. Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Stud. Athl.* 22(2), 7-16.
- Marta, C., Marinho, D.A., Barbosa, T.M., Izquierdo, M., Marques, M.C., 2013. Effects of concurrent training on explosive strength and VO₂max in prepubescent children. *Int. J. Sports Med.* 34(10), 888-896.
- Martin, D., 1994. Προπόνηση στην παιδική και εφηβική ηλικία (Επιμέλεια: Κέλλης, Σ.). Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Martin, J.C., Farrar, R.P., Wagner, B.M., Spiriduso, W.W., 2000. Maximal power across the lifespan. *J. Gerontol. Biol. Sci. Med. Sci.* 55A(6), M311-M316.
- Mero, A., 1998. Power and speed training during childhood, in: Van Praagh, E. (Ed.), *Pediatric Anaerobic Performance. Human Kinetics, Champaign Il*, pp. 241-267.
- Mero, A., Komi, P.V., Gregor, R.J., 1992. Biomechanics of sprinting running. *Sports Med.* 13(6), 376-392.
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J.T., Komi, P.V., 1981. Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.* 3(1), 16-22.

- Meyers, R.W., Oliver, J., Hughes, M., Cronin, J., Lloyd, R.S., 2015. Maximal sprint speed in boys of increasing maturity. *Pediatr. Exerc. Sci.* 27(1), 85-94.
- Meyers, R.W., Oliver, J., Hughes, M., Lloyd, R.S., Cronin, J., 2015. Influence of age, maturity, and body size on the spatiotemporal determinants of maximal sprint speed in boys. *J. Strength Cond. Res.* 31(4), 1009-1016.
- Milanese, C., Bortolami, O., Bertucco, M., Verlato, G., Zancanaro, C., 2010. Anthropometry and motor fitness in children aged 6-12 years. *J. Hum. Sport Exerc.* 5(2), 265-279.
- Miyamoto, A., Takeshita, T., Yanagiya, T., 2018. Differences in sprinting performance and kinematics between preadolescent boys who are fore/mid and rear foot strikers. *PLoS ONE* 13(10), e0205906.
- Moir, G.L., Brimmer, S.M., Snyder, B.W., Connaboy, C., Lamont, H.S., 2018. Mechanical limitations to sprinting and biomechanical solutions: a constraints-led framework for the incorporation of resistance training to develop sprinting speed. *Strength Cond. J.* 40(1), 47-67.
- Nagahara, R., Haramura, M., Takai, Y., Oliver, J.L., Wichitaksorn, N., Sommerfield, L.M., Cronin, J.B., 2019. Age-related differences in kinematics and kinetics of sprinting in young female. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 29(6), 800-807.
- Nagahara, R., Takai, Y., Haramura, M., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., Fukunaga, T., 2018. Age-related differences in spatiotemporal variables and ground reaction forces during sprinting in boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 30(3), 335-344.
- Oliver, J.L., Cahill, M., Uthoff, A., 2020. Speed training for young athletes. In: Lloyd, R.S., Oliver, J.L. (Editors), *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application* (2nd edition), pp. 207-227. Routledge, Oxon.
- Oliver, J.L., Lloyd, R.S., Rumpf, M.C., 2013. Developing speed throughout childhood and adolescence: The role of growth, maturation and training. *Strength Cond. J.* 35(3), 42-48.
- Ομάδα Συγγραφέων, 2019. Λεξικό Επιστημών του Αθλητισμού (υπό έκδοση). Συνεργαζόμενες Επιστημονικές Εταιρείες [ανακτήθηκε στις 10.08.2020 από

- την ιστοσελίδα: https://www.phed.auth.gr/sites/default/files/lexiko_epistimon_toy_athlismoy.pdf].
- Padrón-Cabo, A., Rey, E., Kalén, A., Costa, P.B., 2020. Effects of training with an agility ladder on sprint, agility, and dribbling performance in youth soccer players. *J. Hum. Kinet.* 73(1), 219-228.
- Πανουτσακόπουλος, Β., Κόλλιας, Η., 2008. Κριτήρια αξιολόγησης της τεχνικής στον κλασικό αθλητισμό (1^ο μέρος). Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Πανουτσακόπουλος, Β., Σαρασλανίδης, Π., Σολάκη, Τ., 1998. Στατιστική ανάλυση της εξέλιξης των ετησίως 10 καλύτερων Παμπαίδων και Παγκορασίδων των ετών 1991 – 1994 στο στίβο. *Άθλ. Κοιν.* 20(έκτακτο), 108.
- Papaiakou, G., Giannakos, A., Michailidis, C., Patikas, D., Bassa, E., Kalopisis, V., Anthrakidis, N., Kotzamanidis, C., 2009. The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *J. Strength Cond. Res.* 23(9), 2568-2573.
- Paradisis, G.P., Bissas, A., Cooke, C.B., 2013. Changes in leg strength and kinematics with uphill-downhill sprint training. *Int. J. Sports Sci. Coach.* 8(3), 543-556.
- Paruzel-Dyja, M., Iskra, J., Zajac, A., 2007. Somatic and fitness endowment of sprinting stride in the context of developmental changes and diverse sport activities. *J. Hum. Kinetics* 18, 109-120.
- Petrakis, D., Bassa, E., Papavasileiou, A., Xenofondos, A., Patikas, D.A., 2020. Backward running: Acute effects on sprint performance in preadolescent boys. *Sports* 8(4), 55.
- Pettersen, S.A., Mathisen, G.E., 2012. Effect of short burst activities on sprint and agility performance in 11- to 12-year-old boys. *J. Strength Cond. Res.* 26(4), 1033-1038.
- Pyne, D.B., Saunders, P.U., Montgomery, P.G., Hewitt, A.J., Sheehan, K., 2008. Relationships between repeated sprint testing, speed, and endurance. *J. Strength Cond. Res.* 22(5), 1633-1637.
- Ramirez-Campillo, R., Henriquez-Olguin, C., Burgos, C., Andrade, D., Zapata, D., Martinez, C., Alvarez, C., Baez, E., Castro-Sepulveda, M., Penailillo, L., Izquierdo, M., 2015. Effect of progressive volume-based overload during

- plyometric training on explosive and endurance performance in young soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 29(7), 1884-1893.
- Ratzef, K., 1991. Η τελειοποίηση της προετοιμασίας νέων αθλητών (Επιμέλεια: Κοτζαμανίδης, Χ., Σασαγιάννη, Χ.). Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Rimmer, E., Sleivert, G., 2000. Effects of a plyometric intervention program on sprint performance. *J. Strength Cond. Res.* 14(3), 295-301.
- Ross, A., Leveritt, M., Riek, S., 2001. Neural influences on sprint running: Training adaptations and acute responses. *Sports Med.* 31(6), 409-425.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Mohamad, I.N., Mohamad, S., Oliver, J.L., Hughes, M.G., 2015a. The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *Eur. J. Sports Sci.* 15(5), 374-381.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Hughes, M., 2015b. Kinematics and kinetics of maximum running speed in youth across maturity. *Pediatr. Exerc. Sci.* 27(2), 277-284.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Hughes, M., 2013. Vertical and leg stiffness and stretch-shortening cycle changes across maturation during maximal sprint running. *Hum. Mov. Sci.* 32(4), 668-676.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Hughes, M., 2011. Assessing youth sprint ability - Methodological issues, reliability and performance data. *Pediatr. Exerc. Sci.* 23(4), 442-467.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Pinder, S.D., Hughes, M., 2012. Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr. Exerc. Sci.* 24(2), 170-186.
- Salo, A.I., Bezodis, I.N., Batterham, A.M., Kerwin, D.G., 2011. Elite sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Med. Sci. Sports Exerc.* 43(6), 1055-1062.
- Σαρασλανίδης, Π., 2010. Σημειώσεις δρόμων 7ου Εξαμήνου. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Saraslanidis, P., 2000. Training for the improvement of maximum speed: flat running or resistance training. *New Stud. Athl.* 15(3/4), 45-51.
- Σαρασλανίδης, Π., 1987. Προπόνηση στο στίβο για ανάπτυξη των φυσικών ικανοτήτων για νέους αθλητές (2^η έκδοση). Σάλτο, Θεσσαλονίκη.
- Saraslanidis, P.J., Panoutsakopoulos, V., Tsalis, G.A., Kyprianou, E., 2011. The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and

- biomechanical parameters of the 400-m sprint. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111(8), 1579-1590.
- Schmolinsky, G., 1983. *Track and Field*. Sportverlag, Berlin.
- Seitz, L.B., Reyes, A., Tran, T.T., de Villarreal, E.S., Haff, G.G., 2014. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med.* 44(12), 1693-1702.
- Shalfawi, S., Ingebrigtsen, J., Dillern, T., Tønnessen, E., Delp, T.K., Enoksen, E., 2012. The effect of 40 m repeated sprint training on physical performance in young elite male soccer players. *Serb. J. Sports Sci.* 6(3), 111-116.
- Shephard, R.J., Lavallee, H., 1994. Changes of physical performance as indicators of the response to enhanced physical education. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 34(4), 323-335.
- Smirniotou, A., Katsikas, C., Paradisis, G., Argeitaki, P., Zacharogiannis, E., Tziortzis, S., 2008. Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 48(4), 447-454.
- Sokołowski, B., Chrzanowska, M., 2012. Development of selected motor skills in boys and girls in relation to their rate of maturation – a longitudinal study. *Hum. Mov.* 13(2), 132-138.
- Takai, Y., Nakatani, M., Haramura, M., Yoshimoto, T., Kanehisa, H., 2019. Relative growth of thigh muscle size and running performance in children from 3 to 15 years. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 68(6), 369-380.
- Thomas, J.R., French, K.E., 1985. Gender differences across age in motor performance: A meta-analysis. *Psychol. Bull.* 98(2), 260-282.
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, R., Otsuka, M., Nagano, A., Fujita, S., Isaka, T., 2018. Hip flexor and knee extensor muscularity are associated with sprint performance in sprint-trained preadolescent boys. *Pediatr. Exerc. Sci.* 30(1), 115-123.
- Triplett, N.T., Erickson, T.M., McBride, J.M., 2012. Power associations with running speed. *Strength Cond. J.* 34(6), 29-33.
- Τσαδήμας, Χ., 2002. Η επίδραση της προπόνησης αλτικότητας και δρομικής ταχύτητας στη βελτίωση της ειδικής ταχύτητας και αλτικότητας σε προέφηβους αθλητές. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Α.Π.Θ.
- Tsimachidis, C., Patikas, D., Galazoulas, C., Bassa, E., Kotzamanidis, C., 2013. The post-activation potentiation effect on sprint performance after combined

- resistance/sprint training in junior basketball players. *J. Sports Sci.* 31(10), 1117-1124.
- Uthoff, A., Cronin, J., 2020. Backward sled pulling load–velocity relationship in youth: A backward–forward comparison. *J. Sci. Sport Exerc.* [doi: 0.1007/s42978-020-00069-y].
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Harrison, C., Winwood, P., 2020. Sprint-specific training in youth: Backward running vs. forward running training on speed and power measures in adolescent male athletes. *J. Strength. Cond. Res.* 34(4), 1113-1122.
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Harrison, C., Winwood, P., 2018. A new direction to athletic performance: Understanding the acute and longitudinal responses to backward running. *Sports Med.* 48(5), 1083-1096.
- Uthoff, A., Oliver, J., Cronin, J., Winwood, P., Harrison, C., Lee, J.E., 2019. Resisted sprint training in youth: the effectiveness of backward vs. forward sled towing on speed, jumping, and leg compliance measures in high-school athletes. *J. Strength. Cond. Res.* [doi: 10.1519/JSC.0000000000003093].
- van Praagh, E., Dore, E., 2002. Short-term muscle power during growth and maturation. *Sports Med.* 32(11), 701-728.
- Vanderka, M., Kampmiller, T., 2012. Age-related changes of running stride kinematics in 7 to 18 year - old youth. *Exerc. Qual. Life* 4(1), 11-24.
- Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneots, L., Viru, M., 1999. Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence. *Eur. J. Phys. Edu.* 4(1), 75-119.
- von Lieres Und Wilkau, H.C., Bezodis, N.E., Morin, J.B., Irwin, G., Simpson, S., Bezodis, I.N., 2020. The importance of duration and magnitude of force application to sprint performance during the initial acceleration, transition and maximal velocity phases. *J. Sports Sci.* [doi: 10.1080/02640414.2020.1785193].
- Whithall, J., 2003. Development of locomotor co-ordination and control in children, in: Savelsberg, G.P.J., Davids, K., Van der Kamp, J. (Eds.), *Development of movement coordination in children: Applications in the field of ergonomics, health sciences and sport.* Routledge, London, pp. 251-270.

- Wong, P.L., Chamari, K., Wisløff, U., 2010. Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 24(3), 644-652.
- Χατζηλαζαρίδης, Ι., Πανουτσακόπουλος, Β., Παπαϊακώβου, Γ.Ι., 2012α. Διαμόρφωση της ταχύτητας, του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού σε προέφηβους αθλητές και αθλήτριες στο δρόμο ταχύτητας 40 μέτρων, στο: Πανουτσακόπουλος, Β. (Εκδ.), Τόμος Πρακτικών 5ου Συνεδρίου ΕΛΕΜΒΙΟ. ΕΛΕΜΒΙΟ, Θεσσαλονίκη, σ. 66.
- Χατζηλαζαρίδης, Ι., Πανουτσακόπουλος, Β., Παπαϊακώβου, Γ., Κόλλιας, Η., 2012β. Κινηματικές διαφορές στη δρομική τεχνική μεταξύ ενήλικων και προέφηβων αθλητριών στη φάση μέγιστης ταχύτητας. *Φυσ. Αγ. Αθλ.* 35(1), 111-112.
- Young, W.B., Mcdowell, M.H., Scarlett, B.J., 2001. Specificity of sprint and agility training methods. *J. Strength Cond. Res.* 15(3), 315-319.

Ανάπτυξη και προπόνηση αερόβιας ικανότητας

Αντρέας Ζαφειρίδης⁵ & Ηλίας Σμήλιος⁶

Περίληψη

Αερόβια ικανότητα μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα του οργανισμού να χρησιμοποιεί τον οξειδωτικό μεταβολισμό για την παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση, υποστηριζόμενο από τη μεταφορά και τη χρήση του οξυγόνου από τους ασκούμενους μύς. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}), το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι και ενεργειακή οικονομία είναι σημαντικοί δείκτες της αερόβιας ικανότητας. Οι αθλητές/τριες αναπτυξιακών ηλικιών έχουν υψηλότερη αερόβια ικανότητα έναντι αθλητών/τριών (10-25%) σ' όλο το φάσμα της βιολογικής ωρίμανσης, με τις μεγαλύτερες διαφορές να καταγράφονται στην εφηβεία. Παρόλο που η «προπονησιμότητα» των δεικτών της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά συνεχίζει να απασχολεί τους αθλητικούς επιστήμονες, πληθώρα ερευνών υποδεικνύουν ότι με το κατάλληλο προπονητικό ερέθισμα τα παιδιά βελτιώνουν σημαντικά τους δείκτες αερόβιας ικανότητας. Ειδικότερα η VO_{2max} , ο σημαντικότερος ανεξάρτητος δείκτης αερόβιας ικανότητας, αυξάνει μετά από αερόβια προπόνηση στην προεφηβική/εφηβική ηλικία (5-10%), αν και η βελτίωση αυτή είναι μικρότερη συγκριτικά με αυτή των ενηλίκων. Η βελτίωση στη VO_{2max} μετά από αερόβια προπόνηση, είναι κυρίως αποτέλεσμα μορφολογικών/λειτουργικών μεταβολών στην καρδιά και στο σύστημα μεταφοράς οξυγόνου. Το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι, επίσης σημαντικός δείκτης αερόβιας ικανότητας, παρατηρείται σε υψηλότερο ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ($KΣ_{max}$) ή της VO_{2max} στα παιδιά συγκριτικά με τους ενήλικες. Η καλύτερη οξειδωτική ικανότητα των σκελετικών μυών και η ταχύτερη κινητική οξυγόνου στα παιδιά στην έναρξη της άσκησης, αποτελούν κύριους παράγοντες που πιθανά

5. Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Σέρρες, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

6. Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

συμβάλλουν στις διαφορές παιδιών και ενηλίκων. Για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά, και ειδικότερα της VO_{2max} , τα αποτελέσματα μελετών υποστηρίζουν ότι απαιτείται άσκηση μεγαλύτερης έντασης ($>80-85\% K\Sigma_{max}$) συγκριτικά με αυτήν που συστήνεται για τους ενήλικες. Τόσο η συνεχόμενη όσο και η διαλειμματική αερόβια άσκηση βελτιώνουν τους δείκτες αερόβιας ικανότητας στα παιδιά. Στο κεφάλαιο παρουσιάζονται θέματα που απασχολούν τους αθλητικούς επιστήμονες και προπονητές όπως, η «προπονησιμότητα» της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά, η βέλτιστη περίοδος για την ανάπτυξη της αντοχής στις αναπτυξιακές ηλικίες, οι διαφορές στις προσαρμογές και στα προπονητικά περιεχόμενα για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας μεταξύ παιδιών και ενηλίκων.

Ορισμός της αερόβιας ικανότητας και παράγοντες που την καθορίζουν

Αερόβια ικανότητα είναι η δυνατότητα του οργανισμού να διατηρεί έναν υψηλό ρυθμό οξειδωτικού μεταβολισμού των ενεργειακών υποστρωμάτων (κυρίως υδατάνθρακες και λιπίδια) για την παραγωγή ενέργειας κατά τη σωματική προσπάθεια, υποστηριζόμενο από μια υψηλή πρόσληψη, μεταφορά και χρήση του οξυγόνου στα μυϊκά κύτταρα. Η υψηλή αερόβια ικανότητα επιτρέπει την εκτέλεση υπομέγιστου έργου για παρατεταμένο χρονικό διάστημα υποδηλώνοντας αυξημένη τη φυσική ικανότητα της αντοχής. Για αυτό και οι όροι αερόβια ικανότητα και αντοχή θεωρούνται ταυτόσημοι και χρησιμοποιούνται εναλλακτικά.

Η βελτίωση της αερόβιας ικανότητας (αντοχής) στην προεφηβική και εφηβική ηλικία αποτελεί σημαντικό στόχο, τόσο στο μαζικό όσο και στον αγωνιστικό αθλητισμό. Η σημασία, βέβαια, άλλα και η προσέγγιση για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας είναι διαφορετική στους δύο χώρους. Στο μαζικό αθλητισμό, η ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας έχει απώτερο στόχο την αύξηση της λειτουργικής ικανότητας των παιδιών κατά τις καθημερινές τους δραστηριότητες, τον έλεγχο της παχυσαρκίας και την υγεία. Στον αγωνιστικό αθλητισμό, οι στόχοι για την ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας συνδέονται κυρίως με τη βελτίωση της ικανότητας εκτέλεσης: (i) υπομέγιστης έντασης άσκηση για μεγάλο χρονικό διάστημα, στα αθλήματα στα οποία ο αερόβιος (οξειδωτικός) μηχανισμός αποτελεί το σημαντικότερο μεταβολικό μονοπάτι για την παραγωγής ενέργειας και (ii) επαναλαμβανόμενων προσπαθειών πολύ υψηλής έντασης με μικρό διάλειμμα (ομαδικά ή ατομικά αθλήματα).

Κεντρικά σημεία**Η σημασία της αερόβιας ικανότητας (αντοχής)**

Στο μαζικό αθλητισμό

- Αύξηση της λειτουργικής ικανότητας στις καθημερινές δραστηριότητες
- Πρόληψη ή/και μείωση της παχυσαρκίας
- Υγεία του καρδιοαναπνευστικού συστήματος

Στον αγωνιστικό αθλητισμό

- Βελτίωση της ικανότητας εκτέλεσης σωματικής άσκησης με υπομέγιστη ένταση για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. αθλήματα αντοχής)
- Βελτίωση της ικανότητας εκτέλεσης επαναλαμβανόμενων προσπαθειών με υψηλή έως πολύ υψηλή ένταση και μικρό διάλειμμα (ομαδικά ή ατομικά αθλήματα)

Τα βασικά ερωτήματα που απασχολούν τους αθλητικούς επιστήμονες και προπονητές είναι: (i) είναι η αερόβια ικανότητα «προπονήσιμη» στους προέφηβους και εφήβους; (ii) ποια είναι η βέλτιστη περίοδος για την ανάπτυξη της αντοχής στην αναπτυξιακή ηλικία; (iii) υπάρχουν διαφορές στις προσαρμογές μεταξύ παιδιών και ενηλίκων μετά από αερόβια προπόνηση; (iv) διαφέρουν τα προπονητικά περιεχόμενα για την ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας μεταξύ παιδιών και ενηλίκων; (v) υπάρχει κίνδυνος καρδιαγγειακής βλάβης στα παιδιά μετά από προπόνηση αντοχής με υψηλή ένταση;

Πληθώρα ερευνών καταδεικνύουν ότι με το κατάλληλο προπονητικό ερέθισμα οι ενήλικες βελτιώνουν σημαντικά τους δείκτες της αερόβιας ικανότητας μετά από την εφαρμογή προγραμμάτων αερόβιας άσκησης. Ειδικότερα, μελέτες έχουν δείξει βελτίωση στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}/VO_{2peak}), στη μέγιστη αερόβια ταχύτητα, στο γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι και στην ενεργειακή οικονομία μετά από αερόβια προπόνηση (Midgley, McNaughton, & Jones, 2007). Τα στοιχεία ως προς την επίδραση της αερόβιας προπόνησης στους παραπάνω

δείκτες της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά είναι περιορισμένα σε σύγκριση με αυτά στους ενήλικες.

Κεντρικά σημεία

Παράγοντες που καθορίζουν την αερόβια ικανότητα

- Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max})
- Μέγιστη αερόβια ταχύτητα ή ισχύς. Η ταχύτητα ή ισχύς, δηλαδή, στην οποία παρατηρείται η VO_{2max}/VO_{2peak} και η οποία προσδιορίζεται από το τελευταίο στάδιο κατά τη μέγιστη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης έντασης.
- Καμπύλη γαλακτικού - Γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι
- Ενεργειακή οικονομία

Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) είναι ο μεγαλύτερος όγκος οξυγόνου που μπορεί να καταναλώσει ο ανθρώπινος οργανισμός στη μονάδα του χρόνου και αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια την πιο δημοφιλή παράμετρο για την αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας. Η VO_{2max} εξαρτάται από παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα μεταφοράς του οξυγόνου (κεντρικοί παράγοντες) και την ικανότητα χρησιμοποίησης του οξυγόνου (περιφερικοί παράγοντες) (Σχήμα 1) (Armstrong & Welsman, 2007; Bassett & Howley, 2000).

Την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου καθορίζουν φυσιολογικοί παράγοντες όπως η πνευμονική λειτουργία, η συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης στο αίμα και η καρδιακή παροχή. Η ικανότητα χρησιμοποίησης οξυγόνου καθορίζεται από τον τύπο των μυϊκών ινών, και ειδικότερα από τον όγκο και τον αριθμό των μιτοχονδρίων, τη δραστικότητα των οξειδωτικών ενζύμων και την πυκνότητα των τριχοειδών αγγείων (Σχήμα 2). Μεταβολές σε οποιονδήποτε από τους παραπάνω φυσιολογικούς παράγοντες επηρεάζουν τη VO_{2max} . Τα παιδιά παρουσιάζουν χαμηλότερες καρδιαγγειακές αποκρίσεις (καρδιακή παροχή, όγκος παλμού) και κατανάληψη οξυγόνου (VO_2) τόσο κατά τη μέγιστη όσο και κατά την υπομέγιστη, σταθερής έντασης αερόβια άσκηση, πιθανόν ως αποτέλεσμα των μικρότερων διαστάσεων της καρδιάς (Nottin, Vinet, Stecken, Nguyen, et al., 2002; Vinet,

Nottin, Lecoq, & Obert, 2002). Μετά από προσαρμογή των τιμών σε σχέση με τη σωματική επιφάνεια, οι Vinet και συνεργάτες δεν παρατήρησαν διαφορές στις καρδιαγγειακές αποκρίσεις (καρδιακή παροχή, όγκος παλμού) και στη VO_2 μεταξύ παιδιών και ενηλίκων σε άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης.

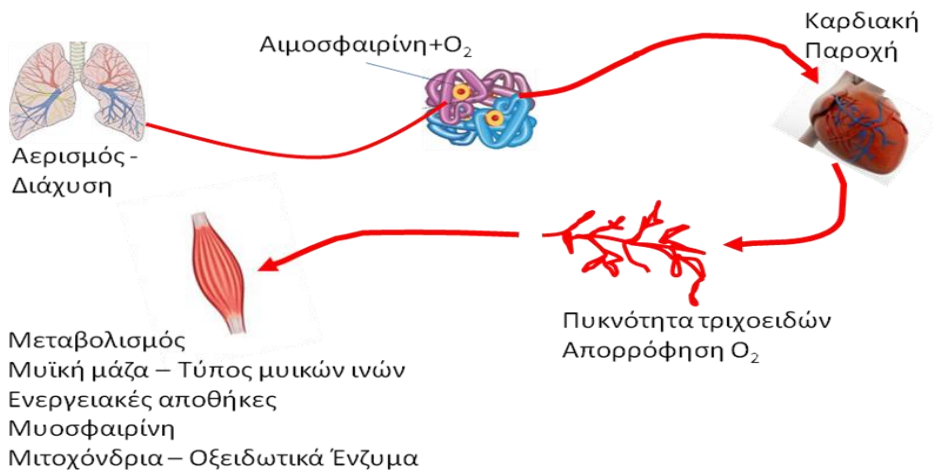


Σχήμα 1. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) εξαρτάται από κεντρικές και περιφερικές παραμέτρους.

Στους ενήλικες ένα από τα κριτήρια επίτευξης της VO_{2max} είναι η σταθεροποίηση της κατανάλωσης οξυγόνου (πλατό) παρά την αύξηση της έντασης του έργου κατά την εκτέλεση άσκησης με προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση. Επειδή τα παιδιά συχνά δεν παρουσιάζουν σταθεροποίηση στις τιμές της VO_2 στο τέλος της μέγιστης δοκιμασίας, οι αθλητικοί επιστήμονες χρησιμοποιούν τον όρο « VO_{2peak} » που είναι η μεγαλύτερη τιμή που καταγράφεται κατά την εκτέλεση μέγιστης αερόβιας δοκιμασίας (Armstrong & Welsman, 2007). Πάντως, ανεξάρτητα από τον ορισμό, η VO_{2max} και η VO_{2peak} αντιπροσωπεύουν τον υψηλότερο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου του ατόμου που επιτεύχθηκε κατά τη μέγιστη αερόβια δοκιμασία. Ειδικότερα, ο Armstrong και συνεργάτες τόνισαν ότι κατά τη μέγιστη προοδευτική δοκιμασία, η VO_{2peak} στα παιδιά αντιπροσώπευε τη μέγιστη τιμή κατανάλωσης οξυγόνου παρά την απουσία σταθεροποίησης της VO_2 (πλατό) (Armstrong, Welsman, & Winsley, 1996). Όμως, χρήζει αναφοράς πως ακόμη και σε ενήλικες, σε αρκετές περιπτώσεις δεν παρατηρείται πλατό στην κα-

τανάλωσης οξυγόνου παρά την αύξηση της έντασης του έργου κατά την εκτέλεση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση.

Φυσιολογικές Παράμετροι που επηρεάζουν τη VO_{2max}



Σχήμα 2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα μεταφοράς και χρησιμοποίησης οξυγόνου και καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου

Σε κάθε περίπτωση, τα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες παρουσιάζουν χαμηλότερη απόλυτη τιμή της VO_{2peak} (L/min). Ο λόγος είναι προφανής, η χαμηλότερη απόλυτη VO_{2peak} στα παιδιά συνδέεται με τη μικρότερη μυϊκή μάζα, τη μικρότερη ανατομία των πνευμόνων και της καρδιάς και τη μικρότερη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης, και όχι με το χαμηλότερο αερόβιο (οξειδωτικό) μεταβολισμό των παιδιών. Πληθώρα μελετών έχουν δείξει ότι η απόλυτη VO_{2peak} (L/min) αυξάνει με τη σωματική ανάπτυξη των παιδιών. Στα αγόρια, υπάρχει συμφωνία μεταξύ των μελετών που παρατηρούν μια συνεχή αύξηση της απόλυτης VO_{2peak} (L/min) από την ηλικία των 8 μέχρι την ηλικία των 16 χρόνων (Armstrong & Welsman, 1994; Krahenbuhl, Skinner, & Kohrt, 1985). Στα κορίτσια, αντίθετα, υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι η απόλυτη VO_{2peak} αυξάνει από τα 8 έως τα 16 έτη, με χαμηλότερο όμως ρυθμό αύξησης σε σύγκριση με τα αγόρια (Armstrong & Welsman, 1994), ενώ άλλες δείχνουν ότι η απόλυτη

$\text{VO}_{2\text{peak}}$ (L/min) σταθεροποιείται περίπου στα 14 έτη με την ολοκλήρωση της βιολογικής ωρίμανσης (Krahenbuhl et al., 1985). Μελέτη σε υγιή προέφηβα αγόρια και κορίτσια, ηλικίας 10-11 ετών, έδειξε σημαντική συσχέτιση μεταξύ της $\text{VO}_{2\text{peak}}$ και των διαστάσεων της καρδιάς, ως αποτέλεσμα κυρίως (αλλά όχι μόνο) της σωματικής ανάπτυξης (body size) (Obert et al., 2005). Συγκεκριμένα, μετά από σχετικοποίηση με την άλυπη σωματική μάζα, οι τελοδιαστολικές διαστάσεις της αριστερής κοιλίας συνεισφέρουν μέτρια (8%) αλλά σημαντικά στη $\text{VO}_{2\text{peak}}$.

Επειδή η απόλυτη $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (L/min) επηρεάζεται από το μέγεθος του σώματος, οι αθλητικοί επιστήμονες για να απομονώσουν τις μεταβολές στη $\text{VO}_{2\text{peak}}$ που οφείλονται στη σωματική ανάπτυξη εκφράζουν τη $\text{VO}_{2\text{peak}}$ σε σχέση με τη σωματική μάζα, διαιρώντας τις τιμές της απόλυτης $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ενός ατόμου με τη σωματική του μάζα. Τα αποτελέσματα μελετών έδειξαν ότι στα αγόρια η *σχετική* $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (ml/kg/min) παραμένει σχετικά αμετάβλητη στα αναπτυξιακά έτη (8 – 18 έτη), στη χρονική περίοδο της έντονης σωματικής ανάπτυξης, ενώ στα κορίτσια παρουσιάζει μια φθίνουσα πορεία (Armstrong & Welsman, 1994; Eisenmann, Laurson, & Welk, 2011; Krahenbuhl et al., 1985; T. W. Rowland, 2007). Ανεξαρτήτως πάντως ηλικίας και σωματικής ανάπτυξης, τα αγόρια από την ηλικία των 12 ετών παρουσιάζουν υψηλότερες σχετικές τιμές $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (ml/kg/min) σε σύγκριση με τα κορίτσια. Η διαφορά στη $\text{VO}_{2\text{max}}$ μεταξύ αγοριών και κοριτσιών στην παιδική ηλικία δεν φαίνεται να οφείλεται αποκλειστικά στη σωματική σύσταση, τη φυσική δραστηριότητα και τις διαστάσεις της καρδιάς (Dencker et al., 2007). Όμως, υπάρχουν ενδείξεις ότι η σχετικοποίηση της VO_2 ως προς τη σωματική μάζα (ανά kg σωματικής μάζας) δεν αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο για την αφαίρεση της επίδρασης της σωματικής ανάπτυξης στη $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (Armstrong & Welsman, 2000a; J. Welsman & Armstrong, 2019). Συγκριμένα, ερευνητές προτείνουν ότι οι τιμές της απόλυτης $\text{VO}_{2\text{peak}}$ θα πρέπει να προσαρμόζονται με τη χρήση της αλλομετρικής μεθόδου, χρησιμοποιώντας διάφορους εκθέτες για τη σωματική μάζα (π.χ. 0,67 ή 0,75) και όχι την απόλυτα αναλογική σχέση με εκθέτη το 1. Εφαρμόζοντας, λοιπόν, τη μέθοδο αυτή φαίνεται ότι στα αγόρια η σχετική $\text{VO}_{2\text{peak}}$ (ml/kg^{0,67}/min) δεν παραμένει αμετάβλητη αλλά αυξάνει καθ' όλη τη διάρκεια της σωματικής ανάπτυξης, ενώ στα κορίτσια δεν ακολουθεί φθίνουσα πορεία, αλλά αυξάνει τουλάχιστον μέχρι την εφηβεία (Armstrong, Welsman, Nevill, & Kirby, 1999). Οι Graves και συνεργάτες θεωρούν, επίσης, ότι η προσαρμογή των τιμών της $\text{VO}_{2\text{peak}}$ δεν θα πρέπει να γίνεται με το σύνολο της σωμα-

τικής μάζας και προτείνουν τη χρήση της άλιπης μάζας των κάτω άκρων ως καλύτερο μοντέλο για την προσαρμογή των τιμών της VO_{2peak} σε σχέση με τη σωματική ανάπτυξη των παιδιών (Graves et al., 2013). Θα πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι η αφαίρεση της επίδρασης του μεγέθους του σώματος στη VO_{2peak} χρησιμοποιώντας την αλλομετρική μέθοδο δεν έχει ευρεία ανταπόκριση στους αθλητικούς επιστήμονες και σπανίως χρησιμοποιείται.

Κεντρικά σημεία

Η ανάπτυξη της VO_{2peak} στις αναπτυξιακές ηλικίες

- Τα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες παρουσιάζουν χαμηλότερη *απόλυτη* VO_{2peak} (L/min).
- Η χαμηλότερη *απόλυτη* VO_{2peak} στα παιδιά συνδέεται με τη μικρότερη μυϊκή μάζα και με τη χαμηλότερη ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου (μικρότεροι πνεύμονες, καρδιά, συγκέντρωση ολικής αιμοσφαιρίνης)
- Η *απόλυτη* VO_{2peak} (L/min) αυξάνει κατά τη διάρκεια της σωματικής ανάπτυξης των παιδιών. Στα αγόρια, παρατηρείται μια συνεχής αύξηση από την ηλικία των 8 μέχρι την ηλικία των 16 χρόνων, ενώ στα κορίτσια η *απόλυτη* VO_{2peak} (L/min) σταθεροποιείται περίπου στα 14 έτη με την ολοκλήρωση της βιολογικής ωρίμανσης
- Οι αθλητικοί επιστήμονες για να απομονώσουν τις μεταβολές στη VO_{2peak} που οφείλονται στη σωματική ανάπτυξη εκφράζουν τη VO_{2peak} ανά kg σωματικής μάζας.
- Οι περισσότερες μελέτες υποστηρίζουν ότι στα αγόρια η *σχετική* VO_{2peak} (ml/kg/min) παραμένει σχετικά αμετάβλητη στα αναπτυξιακά χρόνια ενώ στα κορίτσια παρουσιάζει μια φθίνουσα πορεία.
- Τα αγόρια από την ηλικία των 12 ετών παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές VO_{2peak} σε σύγκριση με τα κορίτσια.

Η βιολογική ωρίμανση είναι ακόμα ένας παράγοντας που επηρεάζει τις διαφορές στη σχετική VO_{2peak} (Armstrong, Tomkinson, & Ekelund, 2011). Διαχρονικές μελέτες έδειξαν ότι η αύξηση στη VO_{2peak} σχετίζεται με την περίοδο που παρατηρείται ο ταχύτερος ρυθμός σωματικής ανάπτυξης (peak height velocity). Όμως, άλλες μελέτες έδειξαν ότι η ανάπτυξη του σκελετικού συστήματος (skeletal age) και η συγκέντρωση της τεστοστερόνης ορού δεν εξηγούν τη διαφοροποίηση στη VO_{2peak} περισσότερο από αυτή που οφείλεται στη χρονολογική ηλικία, σωματικό ύψος και μάζα του σώματος (Armstrong & Welsman, 2007). Τέλος, οι Shaibi και συνεργάτες εξετάζοντας την επίδραση της φυλής στη VO_{2peak} παρατήρησαν ότι οι Λατίνοι και οι Αφροαμερικανοί έχουν χαμηλότερα επίπεδα αερόβιας ικανότητας από τα παιδιά της Καυκάσιας φυλής ανεξάρτητα από το φύλο, τη βιολογική ωρίμανση και τη σωματική σύσταση (Shaibi, Ball, & Goran, 2006). Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με προγενέστερη μελέτη η οποία έδειξε ότι η VO_{2peak} είναι περίπου 15% χαμηλότερη στους προέφηβους Αφροαμερικανούς σε σύγκριση με παιδιά της Καυκάσιας φυλής (Trowbridge et al., 1997).

Αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά

Η ακριβής αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας μέσω της μέτρησης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου γίνεται με εργαστηριακή δοκιμασία. Εκτελείται δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση, με ταυτόχρονη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου με ανοιχτό κύκλωμα εργοσπιρομετρίας. Τα εργόμετρα που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι ο διάδρομος και το ποδήλατο. Σε αθλητές άλλων αγωνισμάτων μπορεί να εκτελεστούν και δοκιμασίες στην πισίνα (για αθλήματα κολύμβησης) ή σε στατικό μηχάνημα κωπηλασίας (για κωπηλάτες). Ο τρόπος εκτέλεσης των πρωτοκόλλων μέτρησης είναι παρόμοιος με αυτόν σε ενήλικες αλλά η αρχική επιβάρυνση και το μέγεθος αύξησής της από στάδιο σε στάδιο είναι μικρότερα. Η εργαστηριακή δοκιμασία επιτρέπει την ταυτόχρονη μέτρηση βασικών φυσιολογικών παραμέτρων όπως την κατανάλωση οξυγόνου, την καρδιακή συχνότητα και το γαλακτικό στο αίμα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια πληρέστερη αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας και αντοχής σε ένα σταθερό περιβάλλον μέτρησης. Αυτό επιτρέπει την άντληση αξιόπιστων δεδομένων για την αξιολόγηση του αρχικού επιπέδου του δοκιμαζόμενου, τον έλεγχο των φυσιολογικών προσαρμογών με την προπόνηση και το σχεδιασμό της αερόβιας προπόνησης.

Οι εργαστηριακές μετρήσεις, ωστόσο, απαιτούν ειδικό εξοπλισμό και τεχνογνωσία τα οποία σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι άμεσα διαθέσιμες στους προπονητές. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί δοκιμασίες πεδίου που επιτρέπουν την αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας με σχετική ακρίβεια. Σε κάθε περίπτωση, η εκτέλεση μιας δοκιμασίας πεδίου με τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες και με τον ίδιο ακριβώς τρόπο επιτρέπει την αξιολόγηση των προσαρμογών με την προπόνηση. Δύο ιδιαίτερα δημοφιλής δοκιμασίες πεδίου αξιολόγησης της αερόβιας ικανότητας είναι το παλίνδρομο τρέξιμο των 20 μέτρων και η δοκιμασία Yo-Yo.

Το παλίνδρομο τρέξιμο 20 μέτρων εκτελείται είτε σε στεγασμένο είτε σε υπαίθριο χώρο και απαιτεί από τους δοκιμαζόμενους να τρέχουν «πάνω – κάτω» μια απόσταση 20 μέτρων, οριοθετημένη με κώνους ή με ταινία στο έδαφος. Ο ρυθμός τρεξίματος ορίζεται από ηχητικό σήμα που εκπέμπεται από ειδικό λογισμικό που διατίθεται και στο διαδίκτυο, εγκατεστημένο σε συσκευή συνδεδεμένη με πομπό ηχητικού σήματος. Σε κάθε ήχο που ακούγεται, οι δοκιμαζόμενοι θα πρέπει να βρίσκονται στη μια από δύο γραμμές. Ο ρυθμός τρεξίματος είναι στην αρχή αργός και κάθε ένα λεπτό επιταχύνεται. Η δοκιμασία διακόπτεται όταν ο δοκιμαζόμενος δεν μπορεί πλέον να ακολουθήσει τον απαιτούμενο ρυθμό, παρά την καταβολή μέγιστης προσπάθειας και βρίσκεται για δύο συνεχόμενες φορές πίσω από τη γραμμή όταν ακούγεται το ηχητικό σήμα. Ο αριθμός των σταδίων που ολοκληρώθηκαν και η ταχύτητα στο τελευταίο στάδιο που ολοκληρώθηκε αποτελεί το σκορ της δοκιμασίας. Μπορεί να εκτιμηθεί και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2max) με τον τύπο: $\text{VO}_2\text{max} = 31,025 + 3,238 \times \text{τελική ταχύτητα} - 3,248 \times \text{ηλικία} + 0,1536 \times \text{τελική ταχύτητα} \times \text{ηλικία}$. Στους πίνακες 1, 2 και 3 παρουσιάζονται νόρμες για τη δοκιμασία του παλίνδρομου τρεξίματος 20 μέτρων (Tomkinson et al., 2017).

Η διακοπτόμενη δοκιμασία αντοχής Yo-Yo επιπέδου 1 αποτελεί μια παραλλαγή του παλίνδρομου τρεξίματος 20 μέτρων. Εκτελείται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και στόχο με τη διαφορά ότι παρεμβάλλεται ένα διάλειμμα 5 δευτερολέπτων μετά από κάθε 40 μέτρα τρεξίματος (2 διαδρομές των 20 μ.). Καταγράφεται η συνολική απόσταση που διένυσε ο κάθε δοκιμαζόμενος. Υπάρχει μια παραλλαγή, η δοκιμασία Yo-Yo διακοπτόμενης αποκατάστασης επιπέδου 1 όπου το διάλειμμα είναι 10 (αντί 5) δευτερόλεπτα. Επίσης, έχει αναπτυχθεί και η δοκιμασία Yo-Yo διακοπτόμενης αποκατάστασης επιπέδου 1 για παιδιά όπου σε σύγκριση με την προηγούμενη δοκιμασία, η απόσταση τρεξίματος δεν είναι 20 αλλά 16 μέτρα.

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται νόρμες για τις δοκιμασίες Yo-Yo (Schmitz et al., 2019).

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση της τελικής ταχύτητας (km/h) που επιτεύχθηκε στη δοκιμασία του παλίνδρομου τρεξίματος 20m ανά ηλικία και φύλο.

	9-11 χρόνων		12-14 χρόνων		15-17 χρόνων	
	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια
Υψηλή	>10,61	>10,15	>11,37	>10,34	>11,99	>10,43
Μέτρια	9,9-10,36	9,56-9,95	10,43-11,04	9,63-10,09	10,92-11,62	9,69-10,17
Χαμηλή	<9,65	<9,35	<10,10	<9,38	<10,55	<9,43

Προσαρμοσμένο από Tomkinson GR, Lang JL, Tremblay MS, Dale M, LeBlanc AG, Belanger K, Ortega FB, Léger L. International normative 20 m shuttle run values from 1 142 026 children and youth representing 50 countries. *British Journal of Sports Medicine*. Nov;51(21):1545-1554, 2017.

Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση του αριθμού των σταδίων (λεπτών τρεξίματος) που ολοκληρώθηκαν στη δοκιμασία του παλίνδρομου τρεξίματος 20m ανά ηλικία και φύλο.

	9-11 χρόνων		12-14 χρόνων		15-17 χρόνων	
	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια
Υψηλή	>5,22	>4,31	>6,74	>4,68	>7,98	>4,86
Μέτρια	3,79-4,72	3,11-3,89	4,85-6,08	3,26-4,19	5,84-7,23	3,38-4,34
Χαμηλή	<3,27	<2,7	<4,2	<2,77	<5,1	<2,87

Προσαρμοσμένο από Tomkinson GR, Lang JL, Tremblay MS, Dale M, LeBlanc AG, Belanger K, Ortega FB, Léger L. International normative 20 m shuttle run values from 1 142 026 children and youth representing 50 countries. *British Journal of Sports Medicine*. Nov;51(21):1545-1554, 2017.

Πίνακας 3. Κατηγοριοποίηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (ml/kg/min) στη δοκιμασία του παλίνδρομου τρεξίματος 20m ανά ηλικία και φύλο.

	9-11 χρόνων		12-14 χρόνων		15-17 χρόνων	
	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια
Υψηλή	>49,20	>47,00	>48,30	>42,90	>47,3	>38,40
Μέτρια	45,8- 48,00	44,20- 46,00	43,40- 46,60	39,20- 41,60	41,30- 45,20	34,20- 37,00
Χαμηλή	<44,60	<43,20	<41,70	<37,90	<39,1	<32,80

Προσαρμοσμένο από Tomkinson GR, Lang JL, Tremblay MS, Dale M, LeBlanc AG, Belanger K, Ortega FB, Léger L. International normative 20 m shuttle run values from 1 142 026 children and youth representing 50 countries. *British Journal of Sports Medicine*. Nov;51(21):1545-1554, 2017.

Πίνακας 4. Απόσταση (μέτρα, $\bar{x} \pm SD$) που καλύφθηκε σε παραλλαγές της δοκιμασίας Yo-Yo ανά ηλικία και φύλο.

Ηλικία	Διακοπτόμενο Yo-Yo αντοχής επιπέδου 1		Yo=Yo διακοπτόμενης αποκατάστασης επιπέδου 1		Yo-Yo διακοπτόμενης αποκατάστασης επιπέδου 1 για παιδιά	
	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια	Αγόρια	Κορίτσια
10			778±406		846±469	586±375
11			622±425			
12	1420±758		925±385	1286±173	795±471	603±354
13	1407±754	964±480	1017±387			
14	1865±759		1222±532	763±410		
15	1691±1076		1398±640	870±314		
16	1917±754		1382±542	920±358		

Προσαρμοσμένο από Schmitz B, Pfeifer C, Kreitz K, Borowski M, Faldum A, Brand SM. Normative Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 and Yo-Yo Intermittent Endurance Level 1 test values of boys aged 9–16 years. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 22:1030-1037, 2019.

Τόσο παλίνδρομο τρέξιμο των 20 μέτρων αλλά και η δοκιμασία Yo-Yo έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να μετρηθούν πολλά άτομα ταυτόχρονα. Επίσης, είναι σημαντικό ότι εάν υπάρχουν διαθέσιμα φορητά καρδοσυχνόμετρα να χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία στο τέλος της δοκιμασίας μπορεί να μετρηθεί η μέγιστη καρδιακή συχνότητα. Αν δεν είναι διαθέσιμα φορητά καρδοσυχνόμετρα, η καρδιακή συχνότητα μπορεί να μετρηθεί και με τη μέθοδο της ψηλάφησης της κερκιδικής ή της καρωτιδικής αρτηρίας, αρκεί οι δοκιμαζόμενοι να έχουν πρώτα εκπαιδευτεί σε αυτόν τον τρόπο μέτρησης.

Η VO_{2max} σε παιδιά 12-18 χρονών μπορεί, επίσης, να προβλεφθεί από τη διάρκεια της μέγιστης προοδευτικά αυξανόμενης δοκιμασίας σε εργοδιάδρομο (αρχική ταχύτητα 8 km/h και αύξηση της ταχύτητας κάθε 2 λεπτά ανά 1 km/h) με την εξίσωση: $VO_{2max} (ml/kg/min) = 35.477 + 1.832 \times \text{διάρκεια (min)} - 0.010 \times \text{διάρκεια (min)} \times \text{σωματική μάζα (kg)}$ (Tsiaras et al., 2010)

Πρόβλεψη της μέγιστης καρδιακής συχνότητας στα παιδιά

Η καρδιακή συχνότητα είναι μια φυσιολογική παράμετρος που χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της έντασης της αερόβιας άσκησης αλλά και την παρακολούθηση της κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός προγράμματος αερόβιας άσκησης. Ο προσδιορισμός της έντασης της άσκησης με βάση την καρδιακή συχνότητα εκφράζεται ως ποσοστό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας. Για αυτό το λόγο, για να είναι ακριβής ο προσδιορισμός της έντασης, θα πρέπει να είναι γνωστή η μέγιστη καρδιακή συχνότητα του ασκούμενου. Ο πιο ακριβής τρόπος προσδιορισμού της μέγιστης καρδιακής συχνότητας είναι η μέτρησή της κατά την εκτέλεση δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση είτε στο εργαστήριο είτε στο πεδίο. Παρά το ότι απαιτεί εξάντληση του δοκιμαζόμενου, είναι η καλύτερη μέθοδος για τον προσδιορισμό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας.

Η εκτέλεση δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση, και ειδικά σε μεγάλο αριθμό ατόμων με ταυτόχρονη μέτρηση της καρδιακής συχνότητας, τις περισσότερες φορές δεν είναι εφικτή. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται εξισώσεις για την *εκτίμηση* της μέγιστης καρδιακής συχνότητας. Οι εξισώσεις στηρίζονται στο γεγονός ότι με την αύξηση της ηλικίας η καρδιακή συχνότητα μειώνεται και για αυτό το λόγο από έναν σταθερό αριθμό αφαιρείται η ηλικία πολλαπλασιαζόμενη με έναν συντελεστή. Αξίζει να σημειωθεί ότι

η πτώση της μέγιστης καρδιακής συχνότητας με την αύξηση της ηλικίας στους εφήβους (10-19 χρόνων) είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με ενήλικα άτομα (Shargal et al., 2015).

Η πιο διαδεδομένη εξίσωση για την εκτίμηση της μέγιστης καρδιακής συχνότητας είναι αυτή των Fox & Naughton (Fox & Naughton, 1972):

Μέγιστη καρδιακή συχνότητα = 220 – Ηλικία

Η παραπάνω εξίσωση, ωστόσο, δεν φαίνεται να είναι τόσο ακριβής για τον προσδιορισμό της μέγιστης καρδιακής συχνότητας τόσο σε ενήλικα (Gellish et al., 2007; Nes, Janszky, Wisløff, Støylen, & Karlsen, 2013) όσο και σε παιδιά. Πρόσφατη μετανάλυση (Cicone, Holmes, Fedewa, MacDonald, & Esco, 2019) έδειξε ότι η εξίσωση των Tanaka και συνεργατών (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001) είχε μικρότερο σφάλμα σε προ-έφηβους και έφηβους στην εκτίμηση της μέγιστης καρδιακής συχνότητας:

Μέγιστη καρδιακή συχνότητα = 208 – 0,7 x Ηλικία

Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι οι παραπάνω εξισώσεις δημιουργήθηκαν σε μελέτες που είχαν ως δείγμα ενήλικα άτομα (>20 χρόνων) και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή σε έφηβους ασκούμενους. Είναι γεγονός, ωστόσο, ότι ακόμη και σε μελέτες όπου το δείγμα ήταν παιδιά και δημιουργήθηκαν ειδικές εξισώσεις, η ακρίβειά τους δεν ήταν καλύτερη σε σύγκριση με την εξίσωση των Tanaka και συνεργατών (Tanaka et al., 2001). Σήμερα γνωρίζουμε δύο εξισώσεις που δημιουργήθηκαν έχοντας ως δείγμα ανήλικα άτομα:

Μέγιστη καρδιακή συχνότητα = 186 + 0,25 x καρδιακή συχνότητα ηρεμίας – 0,14 x σωματική μάζα (Gelbart, Ziv-Baran, Williams, Yarom, & Dubnov-Raz, 2017)

Μέγιστη καρδιακή συχνότητα = 204,152 - 0,52 x Ηλικία (Shargal et al., 2015)

Έχει επίσης προταθεί, να χρησιμοποιείται στα παιδιά μια σταθερή τιμή ως μέγιστη καρδιακή συχνότητα, το 197 (Gelbart et al., 2017) ή το 200 (Machado & Denadai, 2011) και από αυτές να προσδιορίζεται η ένταση της άσκησης με βάση την καρδιακή συχνότητα.

Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στη $\text{VO}_{2\text{peak}}$ κατά την αναπτυξιακή ηλικία

Για τη μελέτη των προσαρμογών των προέφηβων και των εφήβων στην αερόβια προπόνηση χρησιμοποιήθηκαν τόσο συγχρονικές όσο και διαχρονικές - πα-

ρεμβατικές μελέτες. Η VO_{2peak} είναι η παράμετρος της αερόβιας ικανότητας που μελετήθηκε περισσότερο.

Στις συγχρονικές μελέτες που πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ προέφηβων-έφηβων αθλητών με άτομα ίδιας ηλικίας που δεν συμμετείχαν συστηματικά σε αθλητικές δραστηριότητες, έδειξαν ότι η σχετική VO_{2peak} είναι υψηλότερη κατά 10-25% στους αθλητές (Armstrong & Welsman, 2000a; Armstrong & Barker, 2011; Baltaci & Ergun, 1997; Baquet, van Praagh, & Berthoin, 2003; Lemura LM, 1999; TW Rowland, 1996a). Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και από συγχρονικές έρευνες που μελέτησαν τη VO_{2peak} *μόνον* σε προπονημένα άτομα αναπτυξιακής ηλικίας. Η μέσες τιμές VO_{2peak} στα προπονημένα αγόρια και κορίτσια (40-65 ml/kg/min) ήταν υψηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν στον τυπικό πληθυσμό (35-45 ml/kg/min) της ίδιας ηλικίας. Χαρακτηριστική είναι η μελέτη των Armstrong και συνεργατών (Armstrong, Williams, Balding, Gentle, & Kirby, 1991) στην οποία αποτυπώνεται ότι ανεξαρτήτως φύλου, οι αθλητές έχουν υψηλότερη αερόβια ικανότητα από τους μη-αθλητές σε όλο το φάσμα της βιολογικής ωρίμανσης με τη μεγαλύτερη διαφορά να καταγράφεται στην εφηβική ηλικία. Σημαντική απειλή των συγχρονικών μελετών που διερεύνησαν την επίδραση της αερόβιας προπόνησης στη VO_{2peak} στην αναπτυξιακή ηλικία αποτελεί το γεγονός ότι τα άτομα που επιλέγουν να ασχοληθούν με τον αθλητισμό έχουν συνήθως υψηλότερη αερόβια ικανότητα. Έτσι, ενώ από τις παραπάνω μελέτες σαφώς προκύπτει ότι η αθλητές έχουν υψηλότερη VO_{2peak} από τους μη-αθλητές ίδιας χρονολογικής και αναπτυξιακής ηλικίας, η επίδραση της αερόβιας προπόνησης στην αύξηση της VO_{2peak} δεν είναι ξεκάθαρη.

Οι παρεμβατικές μελέτες εξαλείφουν το πρόβλημα της προεπιλογής των ατόμων με υψηλή αερόβια ικανότητα καθώς χρησιμοποιούν δύο ομάδες με ίδια ηλικία και σωματομετρικά χαρακτηριστικά όπου η μία ομάδα ακολουθεί συγκεκριμένο πρόγραμμα αερόβιας προπόνησης ενώ η άλλη δεν ακολουθεί παρεμβατικό πρόγραμμα προπόνησης. Τα αποτελέσματα τους είναι διαφορεόμενα τόσο στα παιδιά προεφηβικής όσο και της εφηβικής ηλικίας. Υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι η αερόβια προπόνηση δε βελτιώνει τη VO_{2peak} ενώ άλλες υποστηρίζουν το αντίθετο (Armstrong & Barker, 2011; A. Mahon, 2000; Matos & Winsley, 2007; T. W. Rowland, 1985; TW Rowland, 1996a). Υπάρχει η άποψη ότι η αύξηση στη VO_{2peak} μετά από αερόβια προπόνηση είναι μεγαλύτερη στα παιδιά της εφηβικής ηλικίας σε σύγκριση με αυτά της προεφηβικής. Όμως, σε μια πρόσφατη

μελέτη οι Runacres και συνεργάτες έδειξαν ότι η VO_{2peak} αυξήθηκε παρόμοια σε άρρενες ποδοσφαιριστές προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας μετά από αερόβια προπόνηση (Runacres, Mackintosh, & McNarry, 2019). Είναι πιθανό οι διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των μελετών να οφείλονται στο φύλο, στο επίπεδο της αερόβιας ικανότητας των παιδιών πριν την εφαρμογή του προπονητικού προγράμματος, τη διάρκεια της προπονητικής παρέμβασης και την ένταση και τον τύπο της άσκησης (A. Mahon, 2008; T. W. Rowland, 1985). Για παράδειγμα, πολλές μελέτες δεν εφάρμοσαν την απαιτούμενη ένταση (χαμηλή καρδιακή συχνότητα) ή/και δεν είχαν σημαντικό αερόβιο προσανατολισμό στα προπονητικά πρωτόκολλα. Επίσης, σε μερικές μελέτες επιλέχθηκαν παιδιά με υψηλή αερόβια ικανότητα (μεγαλύτερη δυσκολία για περαιτέρω βελτίωση), ενώ σε άλλες μελέτες επιλέχθηκαν παιδιά με χαμηλή VO_{2peak} (TW Rowland, 1996a). Στον αντίποδα, τα αποτελέσματα της μετανάλυσης των Payne και συνεργατών υποστηρίζουν ότι τα ποσοστά βελτίωσης στη VO_{2peak} δεν επηρεάζονται από το φύλο, από το προπονητικό ερέθισμα και από τον τύπο της άσκησης (Payne & Morrow, 1993). Σε συμφωνία, άλλες μελέτες έδειξαν ότι όταν τα αγόρια και τα κορίτσια προεφηβικής ηλικίας (10-11 ετών) έχουν παρόμοια αερόβια ικανότητα πριν το πρόγραμμα αερόβιας προπόνησης τότε το μέγεθος και ο ρυθμός αύξησης της VO_{2peak} (Mandigout, Lecoq, Courteix, Guenon, & Obert, 2001; Resaland, Andersen, Mamen, & Anderssen, 2011) ή η επίδοση στην παλίνδρομη δοκιμασία των 20 μέτρων (Marta et al., 2013) δε διαφέρουν μεταξύ αγοριών και κοριτσιών. Όμως, μία μεγάλης κλίμακας μετανάλυση, περίπου 7300 παιδιά ηλικίας 3-12 ετών, έδειξε ότι σε σχολικά προγράμματα φυσικής αγωγής με επιπλέον πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας, η καρδιοαναπνευστική ικανότητα (όπως αξιολογήθηκε με δοκιμασία πεδίου) βελτιώθηκε μόνο στα κορίτσια και όχι στα αγόρια. Χρήζει αναφοράς ότι στη μελέτη αυτή δε μετρήθηκε η VO_{2peak} και συμμετείχαν παιδιά πολύ νεαρής ηλικίας (3-7 ετών) αφήνοντας ερωτηματικά για την εγκυρότητα και αξιοπιστία των μετρήσεων (Pozuelo-Carrascosa, García-Hermoso, Álvarez-Bueno, Sánchez-López, & Martínez-Vizcaino, 2018).

Λαμβάνοντας, πάντως, υπόψη το σύνολο των μελετών, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι η VO_{2peak} είναι «προπονήσιμη» τόσο στην προεφηβική όσο και στην εφηβική ηλικία. Όμως, δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για το μέγεθος και τη δυναμική της αύξησης της VO_{2max} με την αερόβια προπόνηση («προπονησιμότητα» της VO_{2max}) στα διάφορα στάδια της βιολογικής ωρίμανσης (Armstrong, 2017;

Dotan, 2017). Στη διαπίστωση αυτή συμβάλουν τα αποτελέσματα μεταanalύσεων και άρθρων ανασκόπησης (Armstrong & McNarry, 2016; Armstrong, 2017; Armstrong & Barker, 2011; Baquet et al., 2003; Dotan, 2017; Lemura LM, 1999; A. Mahon, 2000; Matos & Winsley, 2007; M. McNarry & Jones, 2014; Pfeiffer, 2008; Purcell & Hergenroeder, 1994; TW Rowland, 1996a). Πιο συγκεκριμένα, η μετανάλυση των Lemura και συνεργατών (Lemura LM, 1999) έδειξε ότι η αερόβια προπόνηση βελτιώνει τη VO_{2peak} στην προεφηβική ηλικία. Αναλύθηκαν 20 μελέτες, στις οποίες συμμετείχαν συνολικά 562 παιδιά ηλικίας 7-13 χρόνων. Μετά από την προπονητική παρέμβαση η VO_{2peak} αυξήθηκε κατά μέσο όρο 6% στα παιδιά προεφηβικής ηλικίας. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι η ηλικία των παιδιών, ο σχεδιασμός της μελέτης και το προπονητικό ερέθισμα επηρέασαν το ποσοστό βελτίωσης της VO_{2peak} . Η VO_{2peak} βελτιώθηκε (i) περισσότερο στα κορίτσια, (ii) στα παιδιά ηλικίας άνω των 11 ετών και (iii) μετά από εφαρμογή προπονητικών ερεθισμάτων υψηλών εντάσεων ($\geq 85\%$ $K\Sigma_{max}$). Μια άλλη μελέτη ανασκόπησης, που περιελάμβανε αποτελέσματα 22 ερευνών, πραγματοποιήθηκε από τους Baquet και συνεργάτες (Baquet et al., 2003). Η μελέτη αυτή πιστοποιεί ότι η αερόβια προπόνηση αυξάνει τη VO_{2peak} κατά μέσο όρο 5-6% στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας. Επίσης, οι ερευνητές αναφέρουν ότι η βελτίωση της VO_{2peak} ήταν παρόμοια στα αγόρια και στα κορίτσια και μικρότερη στα άτομα με υψηλή αερόβια ικανότητα (VO_{2peak} : >50 ml/kg/min).

Τα χαρακτηριστικά των προπονητικών προγραμμάτων, όπως ο αριθμός των προπονήσεων την εβδομάδα, η διάρκεια και η ένταση του προπονητικού ερεθίσματος μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά το ποσοστό βελτίωσης της VO_{2peak} . Σε 25 μελέτες που αναλύθηκαν από τους Pfeiffer και συνεργάτες, η VO_{2max} μετά από αερόβια προπόνηση αυξήθηκε κατά μέσο όρο 8,6% (εύρος αύξησης: 0–29%) (Pfeiffer, 2008). Η ανασκόπηση των Armstrong και συνεργατών (Armstrong & Barker, 2011) που συμπεριέλαβε 21 έρευνες έδειξε ότι η VO_{2peak} αυξήθηκε στο 64% των ερευνών σε παιδιά 8-11 χρόνων και στο 57% των ερευνών σε παιδιά 11-18 χρόνων. Η επίδραση της αερόβιας προπόνησης στη βελτίωση της VO_{2peak} φαίνεται να είναι παρόμοια σε παιδιά 8-11 χρόνων (μέση αύξηση 6,7%) και 11-18 χρόνων (μέση αύξηση 5,5%) και να μην επηρεάζεται από το φύλο. Επίσης, οι μελέτες των Lemura (Lemura LM, 1999) και Baquet (Baquet et al., 2003) υποδεικνύουν ότι για να αυξήσουμε τη VO_{2peak} στα παιδιά απαιτείται αερόβια άσκηση μεγαλύτερης έντασης ($>80-85\%$ $K\Sigma_{max}$) από αυτή που συστήνεται για

τους ενήλικες. Αυτό πιθανά να σχετίζεται με το γεγονός ότι τα παιδιά παρουσιάζουν υψηλότερο κατώφλι γαλακτικού και έχουν πιο αναπτυγμένο το οξειδωτικό σύστημα παραγωγής ενέργειας, όπως αυτό φαίνεται από την αυξημένη δραστηριότητα των οξειδωτικών ενζύμων, σε σύγκριση με τους ενήλικες. Πάντως, χρήζει αναφοράς ότι ακόμα και χωρίς την αύξηση της VO_{2peak} μετά από αερόβια προπόνηση, η επίδοση σε δρομικές δοκιμασίες που απαιτούν δραστηριοποίηση του αερόβιου μηχανισμού είναι σαφώς βελτιωμένη στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας. Η VO_{2peak} , συνεπώς, δεν εκφράζει εξολοκλήρου την ικανότητα άσκησης σε υπομέγιστες εντάσεις. Άλλοι παράγοντες, όπως το γαλακτικό κατώφλι, η ενεργειακή οικονομία αλλά και η αναερόβια ικανότητα μπορούν να επηρεάσουν την επίδοση κατά την εκτέλεση άσκησης σε υπομέγιστη ένταση.

Τα συμπεράσματα που θα μπορούσαν να εξαχθούν από τις παρεμβατικές μελέτες είναι ότι η αερόβια προπόνηση αυξάνει τη VO_{2peak} στην προεφηβική και εφηβική ηλικία κατά 5-10% και ότι με τις ίδιες αερόβιες επιβαρύνσεις, οι προέφηβοι αυξάνουν τη VO_{2peak} λιγότερο, περίπου 15-20%, σε σύγκριση με τους ενήλικες (Bouchard, Dionne, Simoneau, & Boulay, 1992; Matos & Winsley, 2007). Τα παραπάνω, από τη μία θέτουν υπό αμφισβήτηση τις υποθέσεις των Katch και Ford (Ford et al., 2011; Katch, 1983) που υποστηρίζουν ότι υπάρχει ένα όριο ηλικίας κάτω από το οποίο δεν παρατηρούνται σημαντικές βιολογικές μεταβολές με τη άσκηση. Από την άλλη όμως, δεν την απορρίπτουν, δεδομένου ότι σαφώς τα παιδιά παρουσιάζουν μειωμένες προσαρμογές σε σύγκριση με τους ενήλικες. Ειδικότερα, ο Katch υποστηρίζει ότι η αύξηση στη συγκέντρωση συγκεκριμένων ορμονών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να ξεκινήσουν οι βιολογικές προσαρμογές και για το λόγο αυτό δεν αναμένονται σημαντικές μεταβολές πριν την εφηβεία. Το μοντέλο του Ford συνδέει τη βέλτιστη περίοδο για ανάπτυξη της αντοχής με την περίοδο που παρατηρείται ο ταχύτερος ρυθμός σωματικής ανάπτυξης (peak height velocity). Πάντως, και τα δύο μοντέλα συνδέονται και τοποθετούν τη βέλτιστη περίοδο για την ανάπτυξη της αντοχής μετά την ηλικία των 12 χρόνων και συγκεκριμένα περίπου στα 14 έτη.

Σύμφωνα με τη θεωρία του συσσωρευμένου κυτταρικού περιβάλλοντος (the crowded cell hypothesis) η μικρότερη αύξηση στη VO_{2max} μετά από προπόνηση αντοχής σε παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες οφείλεται κυρίως στις μικρότερες περιφερικές προσαρμογές και συγκεκριμένα από τη μικρότερη αύξηση της μιτοχονδριακής βιογένεσης στα παιδιά (T. Rowland, 2009a). Συγκεκριμένα, υ-

πάρχει ένα ανώτατο όριο μιτοχονδριακής πυκνότητας εντός των σκελετικών μυϊκών κυττάρων που εάν αυξηθεί θα μειώσει το διαθέσιμο χώρο για το σαρκοπλασματικό δίκτυο και τα συστατικά στοιχεία του μυός κάτω από κρίσιμα όρια. Κατά συνέπεια, η αύξηση της οξειδωτικής ικανότητας (μιτοχονδριακή πυκνότητα, VO_{2max}) μετά από την προπόνηση είναι πιθανά μικρότερη στα παιδιά επειδή πριν από την προπόνηση οι μυϊκές ίνες τους έχουν υψηλότερη μιτοχονδριακή πυκνότητα από τους ενήλικες. Η μεγαλύτερη επέκταση της μιτοχονδριακής πυκνότητας στα παιδιά, πιθανά να περιορίζε των όγκο άλλων κυτταρικών στοιχείων. Υπάρχει, δηλαδή, συγκεκριμένος χώρος για να αυξηθούν τα μιτοχόνδρια, και τα παιδιά έχουν λιγότερο χώρο επειδή έχουν περισσότερα μιτοχόνδρια πριν από την προπόνηση. Κατά πόσο η θεωρία αυτή παρέχει έγκυρη εξήγηση για τη μειωμένη αύξηση της VO_{2max} μετά από αερόβια προπόνηση αντοχής στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες χρήζει πειραματικής διερεύνησης (T. Rowland, 2009a).

Κεντρικά σημεία

Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στη VO_{2peak} στα παιδιά

- Οι συγχρονικές μελέτες έδειξαν ότι οι αθλητές/τριες έχουν υψηλότερη αερόβια ικανότητα από τους μη-αθλητές/τριες (κατά 10-25%) σε όλο το φάσμα της βιολογικής ωρίμανσης, με τη μεγαλύτερη διαφορά να καταγράφεται στην εφηβική ηλικία.
- Απειλή των συγχρονικών μελετών αποτελεί το γεγονός ότι τα άτομα που επιλέγουν να ασχοληθούν με τον αθλητισμό έχουν συνήθως υψηλότερη αερόβια ικανότητα.
- Λαμβάνοντας υπόψιν μεγάλο αριθμό παρεμβατικών μελετών μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι η αερόβια προπόνηση αυξάνει τη VO_{2peak} στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας κατά μέσο όρο 5-6%
- Με τις ίδιες αερόβιες επιβαρύνσεις, οι προέφηβοι αυξάνουν τη VO_{2peak} λιγότερο σε σύγκριση με τους ενήλικες (περίπου 20%)
- Η βελτίωση στη VO_{2peak} μετά από αερόβια προπόνηση στα παιδιά δεν επηρεάζεται από το φύλο αλλά είναι μικρότερη σε άτομα με υψηλή αερόβια ικανότητα (VO_{2peak} : >50 ml/kg/min).

- Για να αυξήσουμε τη VO_{2peak} στα παιδιά απαιτείται αερόβια άσκηση μεγαλύτερης έντασης (>80-85% $KΣ_{max}$) από αυτή που συστήνεται για τους ενήλικες.
- Τα χαρακτηριστικά των προπονητικών προγραμμάτων, όπως αριθμός των προπονήσεων ανά εβδομάδα καθώς και η διάρκεια και η ένταση του προπονητικού ερεθίσματος, μπορούν επίσης να επηρεάσουν σημαντικά το ποσοστό βελτίωσης της VO_{2peak} .

Γιατί αλλάζει η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου μετά από αερόβια προπόνηση;

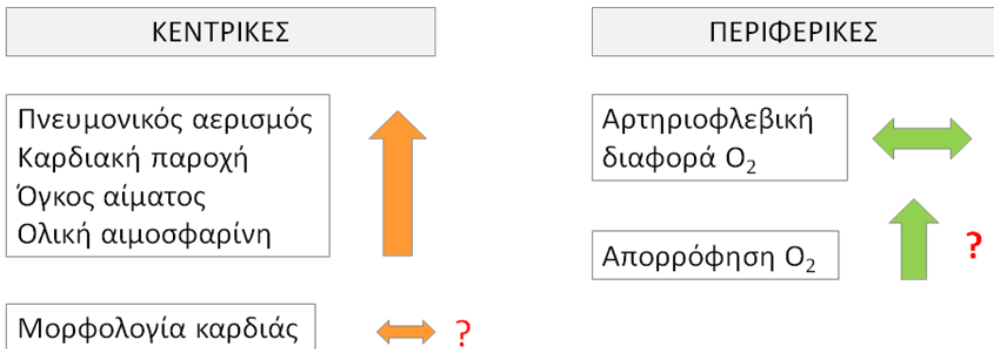
Η VO_{2max} εξαρτάται από κεντρικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη μεταφορά του οξυγόνου και από περιφερικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη χρήση του οξυγόνου. Ειδικότερα, η ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου κατά την άσκηση επηρεάζεται από τη πνευμονική λειτουργία (πνευμονικό αερισμό), την καρδιακή παροχή, τον όγκο αίματος και τη συγκέντρωση της ολικής αιμοσφαιρίνης. Η ικανότητα χρησιμοποίησης οξυγόνου κατά την άσκηση επηρεάζεται από την ικανότητα απορρόφησης οξυγόνου η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από το δίκτυο των τριχοειδών αγγείων του μυός, από τη συγκέντρωση της μυοσφαιρίνης, από το αριθμό και τον όγκο των μιτοχονδρίων και από τη δραστηριότητα των οξειδωτικών ενζύμων. Μελέτες έδειξαν ότι η αύξηση στη VO_{2peak} μετά από προπόνηση αντοχής στα παιδιά, οφείλεται κυρίως στη βελτίωση του συστήματος μεταφοράς οξυγόνου και όχι τόσο σε περιφερικές προσαρμογές, όπως στην αύξηση της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (Armstrong & Barker, 2011; Matos & Winsley, 2007; M. McNarry & Jones, 2014) (Σχήμα 3). Υπάρχουν, όμως, μελέτες που υποστηρίζουν ότι η αύξηση στη VO_{2peak} μετά από προπόνηση αντοχής σε παιδιά οφείλεται και στη σημαντική αύξηση της της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (A. D. Mahon & Vaccaro, 1994). Συγκεκριμένα, η αερόβια προπόνηση στην αναπτυξιακή ηλικία οδηγεί στην αύξηση του μέγιστου πνευμονικού αερισμού, του μέγιστου όγκου παλμού, της μέγιστης καρδιακής παροχής, του όγκου αίματος και της συγκέντρωσης της ολικής αιμοσφαιρίνης (A. Mahon, 2000; M. McNarry & Jones, 2014; Nottin, Vinet, Stecken, N'Guyen, et al., 2002; Obert et al., 2003; TW Rowland, 1996a). Είναι πιθανό η αύξηση στη συγκέντρωση της

ολικής αιμοσφαιρίνης να συνδέεται με τη αύξηση στη συγκέντρωση της τεστοστερόνης που παρατηρείται κατά την εφηβεία (TW Rowland, 1996a). Η άποψη αυτή επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι η περίοδος αύξησης της τεστοστερόνης συμπίπτει με την περίοδο που παρατηρείται η μεγαλύτερη βελτίωση στην αντοχή με την προπόνηση (T Rowland, 2005).

Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών και παρεμβατικών μελετών είναι διαφορούμενα στο κατά πόσο η αερόβια προπόνηση επιφέρει μεταβολές στη μορφολογία του μυοκαρδίου στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας (Armstrong & Barker, 2011; Geenen, Gilliam, Crowley, Moorehead-Steffens, & Rosenthal, 1982; George, Gates, & Tolfrey, 2005; M. McNarry & Jones, 2014; Nottin, Nguyen, Terbah, & Obert, 2004; Obert et al., 2003; Obert, Stecken, Courteix, Lecoq, & Guenon, 1998; T. Rowland, 2016). Σε κάθε περίπτωση όμως οι περισσότερες μελέτες συμφωνούν ότι η συστηματική αερόβια προπόνηση επιφέρει μεταβολές στην μορφολογία της καρδιάς προέφηβων και έφηβων αθλητών αντοχής. Όμως, οι μελέτες που υποστηρίζουν αυτό συμφωνούν ότι οι δομικές μεταβολές στη καρδιά είναι μικρότερες από αυτές που έχουν βρεθεί σε ενήλικες αθλητές αντοχής (Pavlik, Major, Csajági, Jeserich, & Kneffel, 2013; T. Rowland, 2016). Οι μεταβολές στη δομή της καρδιάς στα παιδιά που ασχολούνται με αθλήματα αντοχής παρατηρούνται τόσο στη δεξιά όσο και στην αριστερή κοιλία, όπως συμβαίνει και στους ενήλικες. Συγκεκριμένα, ο D'Ascenzi και οι συνεργάτες έδειξαν ότι μετά από 5 μήνες αερόβιας προπόνησης αυξήθηκε η διάμετρος και ο τελοδιαστολικός όγκος της δεξιάς κοιλίας, χωρίς να παρατηρηθούν μεταβολές στη λειτουργία, σε προέφηβους αθλητές κολύμβησης (D'Ascenzi F 2017). Στην ίδια μελέτη δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στη μορφολογία της δεξιάς κοιλίας σε παιδιά που δεν προπονήθηκαν. Επίσης, μια από τις πιο πρόσφατες συγχρονικές μελέτες έδειξε ότι οι καρδιακές μορφολογικοί παράμετροι (όγκοι και διαστάσεις κόλπων, κοιλιών και τοιχωμάτων, όπως μετρήθηκαν με υπερηχογράφημα) των παιδιών που συμμετέχουν τακτικά σε αθλητικές δραστηριότητες ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των παιδιών που δε συμμετέχουν σε αθλητικές δραστηριότητες. Η αύξηση των καρδιακών δομικών μεταβολών είχε σημαντική συσχέτιση με τις εβδομαδιαίες ώρες αερόβιας προπόνησης (Kayali & Yildirim, 2019). Ωστόσο, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι η αερόβια προπόνηση σε παιδιά βελτιώνει τη διαστολική λειτουργία της αριστερής κοιλίας (Nottin et al., 2004; Obert et al., 2001). Συνοψίζοντας, τα ευρήματα των παραπάνω ερευνών δείχνουν ότι η αύξη-

ση στη VO_{2peak} τόσο στα αγόρια όσο και στα κορίτσια μετά από αερόβια προπόνηση, είναι περισσότερο αποτέλεσμα της αύξησης του όγκου παλμού (Obert et al., 2003) λόγω της αύξησης του όγκου αίματος και διαστολικής λειτουργίας της αριστερής κοιλίας της καρδιάς και πιθανά μορφολογικών μεταβολών της καρδιάς.

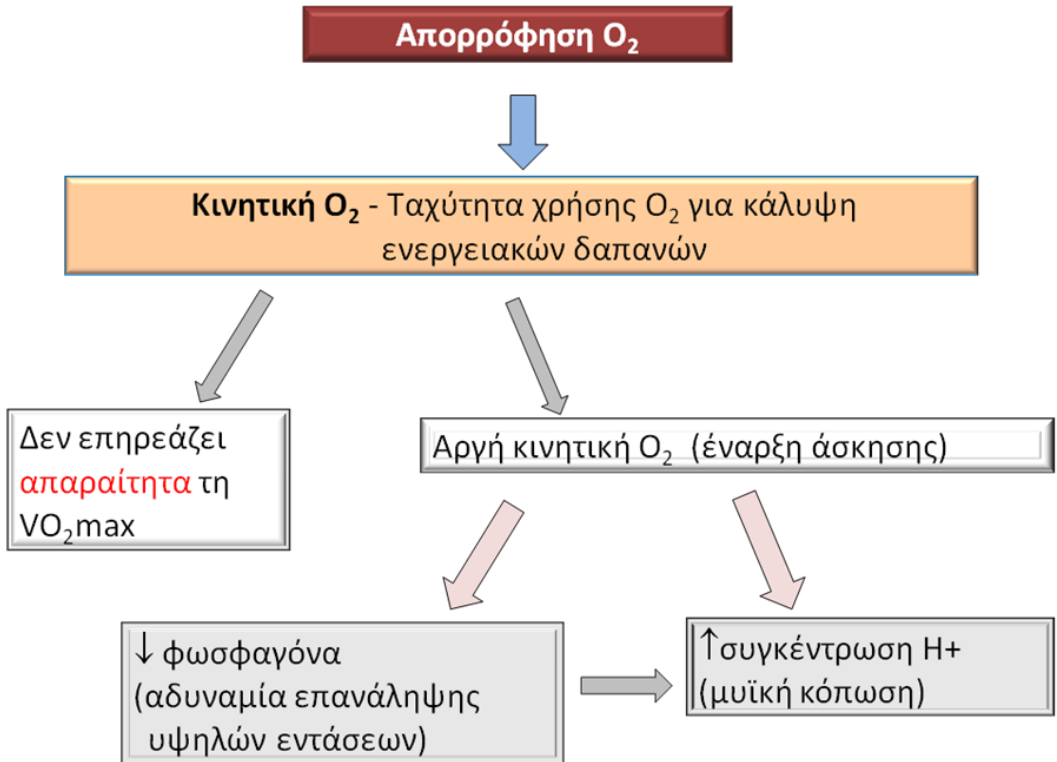
Γιατί αλλάζει η VO_{2max} ?



Σχήμα 3. Μεταβολές στα συστήματα μεταφοράς και χρησιμοποίησης οξυγόνου μετά από αερόβια προπόνηση στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας.

Η συμβολή της μεταφοράς οξυγόνου στην αύξηση της VO_{2peak} φαίνεται καθαρά στη μελέτη των Obert και συνεργατών (Obert et al., 2003). Στη μελέτη αυτή, αγόρια και κορίτσια ηλικίας 10-11 χρόνων πραγματοποίησαν αερόβιο πρόγραμμα άσκησης 3 φορές την εβδομάδα για 13 εβδομάδες, διάρκεια προπόνησης 60 λεπτών, με ένταση άνω του 80% της $K\Sigma_{max}$. Η αύξηση που παρατηρήθηκε στη VO_{2peak} κατά 15% ήταν παρόμοια με την αύξηση που παρατηρήθηκε στον όγκο παλμού και στην καρδιακή παροχή. Δεδομένου ότι η προπονητική διαδικασία δεν επιφέρει μεταβολές στην καρδιακή συχνότητα, η αύξηση στην καρδιακή παροχή μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην αύξηση του όγκου παλμού. Αντίθετα, η μέγιστη τιμή της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (δείκτης απορρόφησης οξυγόνου) παρέμεινε αμετάβλητη. Οι ερευνητές διαπίστωσαν παρόμοιες προσαρμογές τόσο στα αγόρια όσο στα κορίτσια μετά την αερόβια προπόνηση στην ικανότητα μεταφοράς και χρησιμοποίησης οξυγόνου. Η παραπάνω μελέτη επιβεβαιώνει προηγούμενες συγχρονικές μελέτες ότι οι δείκτες της καρδιακής λειτουργίας

γίας, όπως ο όγκος παλμού και η καρδιακή παροχή, είναι υψηλότεροι στα παιδιά-αθλητές σε σύγκριση με αυτά που δεν αθλούνται (Nottin, Vinet, Stecken, N'Guyen, et al., 2002; T. Rowland, 2009b; T. Rowland, Unnithan, Fernhall, Baynard, & Lange, 2002; T. W. Rowland et al., 2009).



Σχήμα 4. Πιθανή επίδραση της ταχύτητας απορρόφησης και χρήσης του οξυγόνου στα αποθέματα φωσφαγόνων και συγκέντρωσης των υποπροϊόντων του μεταβολισμού.

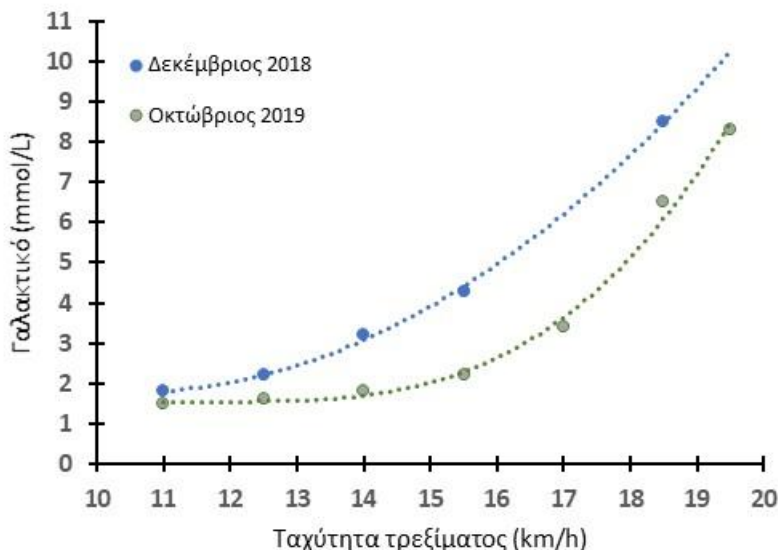
Ένας άλλος δείκτης της ικανότητας χρήσης του οξυγόνου εκτός της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου, είναι η *κινητική απορρόφησης του O₂*. Η *κινητική απορρόφησης του O₂* δηλώνει το πόσο γρήγορα αυξάνεται η απορρόφηση του οξυγόνου από το μυϊκό ιστό κατά την έναρξη μια σωματικής δραστηριότητας από την ηρεμία ή κατά την αύξηση της έντασης από ένα χαμηλότερο προς ένα υψηλότερο επίπεδο. Αξίζει, λοιπόν να σημειωθεί, παρά τα αρνητικά ευρήματα παρεμβατικών μελετών σε ότι αφορά τη βελτίωση της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου στα παιδιά, συγχρονικές μελέτες υποστηρίζουν ότι η *κινητική απορρόφησης*

του O_2 , μπορεί να διαφέρει μεταξύ παιδιών που αθλούνται σε σύγκριση με αυτά που δεν αθλούνται. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα δύο πρόσφατων μελετών δείχνουν ότι τα προπονημένα παιδιά παρουσιάζουν πιο γρήγορη κινητική απορρόφησης του O_2 , και κατά συνέπεια χρήση του O_2 , στα πρώτα δευτερόλεπτα της άσκησης (M. A. McNarry, Welsman, & Jones, 2011a, 2011b). Η γρηγορότερη *κινητική* απορρόφησης και χρήσης του O_2 στη αρχή της άσκησης, ενώ δεν επηρεάζει απαραίτητα τη VO_{2peak} , μπορεί να επιφέρει μικρότερη μείωση στα αποθέματα φωσφαγόνων και να μετριάσει την αύξηση στη συγκέντρωση των πρωτονίων H^+ . Το πρώτο έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση στην ικανότητα επανάληψης ασκήσεων σε υψηλή ένταση, ενώ το δεύτερο συμβάλει στην καθυστέρηση εμφάνισης της μυϊκής κόπωσης (Σχήμα 4).

Καμπύλη γαλακτικού - Γαλακτικό / Αναπνευστικό κατώφλι

Κατά την εκτέλεση μια δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση, με την ολοκλήρωση του κάθε σταδίου μπορεί να γίνεται μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται η σχέση της συγκέντρωσης του γαλακτικού με την ένταση της αερόβιας άσκησης (προσδιορισμένη με μηχανικές παραμέτρους) δηλαδή, την ταχύτητα τρεξίματος ή κολύμβησης ή με όποιο άλλο τρόπο προσδιορίζεται η ένταση σε κάθε άθλημα. Η σχέση μεταξύ των δύο αυτών παραμέτρων είναι εκθετική. Δηλαδή στις χαμηλές εντάσεις, παρά την αύξηση της έντασης η συγκέντρωση του γαλακτικού παραμένει σχετικά αμετάβλητη, στη συνέχεια με την αύξηση της έντασης αρχίζει να παρουσιάζει μια μικρή άνοδο και με την επιπλέον αύξηση της έντασης, μια απότομη άνοδο (Σχήμα 5). Η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα εξαρτάται από τις μεταβολικές διεργασίες στα μυϊκά κύτταρα αλλά και από την ισορροπία μεταξύ του ρυθμού εισόδου και απομάκρυνσής του από την κυκλοφορία του αίματος. Επειδή η αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού συμπίπτει με την αύξηση καματογόνων ουσιών στο μυϊκό κύτταρο, οι αθλητικοί επιστήμονες μέσω της καμπύλης γαλακτικού προσπαθούν να *εκτιμήσουν* έως ποιο επίπεδο έντασης ένας ασκούμενος μπορεί να ασκείται χωρίς αυξημένη συγκέντρωση γαλακτικού και κατ' επέκταση καματογόνων ουσιών, έτσι ώστε να μπορεί να διατηρήσει το ρυθμό άσκησης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, παρατηρώντας σε ποιο σημείο της καμπύλης γαλακτικού αντιστοιχεί ένα επίπεδο έντασης (π.χ. ταχύτητα κίνησης, παραγωγή ισχύος) μπορεί να εκτιμηθεί για πόσο χρόνο θα μπορούσε να

διατηρηθεί αυτό το επίπεδο έντασης. Οι καλύτεροι αθλητές αντοχής παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα, και ένας από τους στόχους της προπόνησης αντοχής και μια από τις προσαρμογές που αυτή προκαλεί, είναι η καμπύλη γαλακτικού να μεταφερθεί προς τα κάτω και δεξιά. Δηλαδή, στο ίδιο επίπεδο έντασης (προσδιοριζόμενη με μηχανικές παραμέτρους) να αντιστοιχεί μικρότερη συγκέντρωση γαλακτικού ή η ίδια συγκέντρωση γαλακτικού να αντιστοιχεί σε υψηλότερο επίπεδο έντασης. Η προσαρμογή αυτή παρατηρείται τόσο σε ενήλικους όσο και σε ανήλικους ασκούμενους (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Μεταβολή της καμπύλης γαλακτικού ενός αθλητή 800m, ηλικίας 16 ετών το 2018.

Στην καμπύλη γαλακτικού οι Εργοφυσιολόγοι προσπαθούν να εντοπίσουν δύο σημεία που διαχωρίζουν τις περιοχές έντασης της άσκησης όπου διαφοροποιούνται οι μεταβολικές και άλλες λειτουργίες του οργανισμού. Ως πρώτο σημείο είναι το κατώφλι γαλακτικού, το σημείο (ταχύτητα, ισχύς ή/και καρδιακή συχνότητα) όπου η συγκέντρωσή του στην κυκλοφορία αρχίζει να αυξάνεται από τις αρχικές τιμές υποδηλώνοντας πιθανά μείωση της δυνατότητας διατήρησης υψηλού ρυθμού οξείδωσης των λιπιδίων και αύξηση

της γλυκόλυσης/γλυκογονόλυσης παρά τη την αύξηση και του οξειδωτικού μεταβολισμού. Ως δεύτερο σημείο ορίζεται το σημείο (ταχύτητα, ισχύς ή/και καρδιακή συχνότητα) καμπής του γαλακτικού όπου παρατηρείται μια απότομη αύξηση της συγκέντρωσής του στην κυκλοφορία του αίματος υποδηλώνοντας πιθανά μικρότερη εξουδετέρωση και απομάκρυνση του γαλακτικού και άλλων καματογόνων ουσιών (Beneke, Leithäuser, & Ochentel, 2011; Faude, Kindermann, & Meyer, 2009; Joyner & Coyle, 2008). Στη βιβλιογραφία, χρησιμοποιείται πληθώρα μεθόδων για τον εντοπισμό αυτών των σημείων (ταχύτητα, ισχύς ή/και καρδιακή συχνότητα) χωρίς να συμπίπτουν στο σημείο που αντιστοιχούν στην καμπύλη γαλακτικού (Faude et al., 2009; Jamnick, Botella, Pyne, & Bishop, 2018; Tokmakidis, Léger, & Piliانidis, 1998). Αυτό δημιουργεί ένα πρόβλημα στη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ των μελετών και των εργαστηρίων. Ωστόσο, όποια μέθοδος και να ακολουθηθεί το σημείο (ταχύτητα, ισχύς ή/και καρδιακή συχνότητα) που προσδιορίζει συσχετίζεται υψηλά με την επίδοση σε αγώνισμα αντοχής και μπορεί να δώσει πληροφορίες για τις προσαρμογές με την προπόνηση αρκεί να ακολουθείται σταθερά η ίδια μέθοδος προσδιορισμού.

Σε εργαστηριακή εργομετρική δοκιμασία με τη χρήση εργοσπιρομέτρου γίνεται μέτρηση του όγκου του πνευμονικού αερισμού, του όγκου του προσλαμβανόμενου οξυγόνου και του όγκου του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα. Στη μεταβολή των λόγων μεταξύ αυτών των παραμέτρων κατά τη διάρκεια μιας δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης παρατηρούνται επίσης σημεία καμπής. Ένα πρώτο σημείο καμπής (ταχύτητα, ισχύς ή/και καρδιακή συχνότητα) είναι αυτό της ισοκαπνικής ρύθμισης (αύξηση του αναπνευστικού ισοδύναμου του οξυγόνου χωρίς αύξηση του αναπνευστικού ισοδύναμου του διοξειδίου του άνθρακα) και ένα δεύτερο σημείο αυτό της αναπνευστικής αντιρρόπησης (αύξηση και των δύο αναπνευστικών ισοδυνάμων). Τα σημεία (ταχύτητα, ισχύς ή/και καρδιακή συχνότητα) της ισοκαπνικής ρύθμισης και της αναπνευστικής αντιρρόπησης ορίζονται ως *αναπνευστικά κατώφλια* και αντιστοιχούν στο κατώφλι γαλακτικού και στο σημείο καμπής γαλακτικού, αντίστοιχα.

Επίσης, σε μια εργομετρική δοκιμασία εκτός από τη συγκέντρωση του γαλακτικού μετρούνται και η κατανάλωση οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα. Έτσι τα κατώφλια γαλακτικού μπορεί να εκφραστούν σε μονάδες έντασης εκφρασμένη σε μηχανικές παραμέτρους (km/h, watt) ή σε φυσιολογικές παραμέτρους όπως η

κατανάλωση οξυγόνου και ή καρδιακή συχνότητα. Επίσης, μπορεί να εκφραστεί και ως ποσοστό των μέγιστων τιμών αυτών των παραμέτρων.

Το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι σε προέφηβους και εφήβους

Το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι σε προέφηβους και εφήβους παρατηρείται σε υψηλότερα ποσοστά της $K\Sigma_{\max}$ ή της $VO_{2\max}$ σε σύγκριση με αυτό που παρατηρείται σε ενήλικες (Armstrong & Welsman, 2000b). Επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν ότι το ποσοστό της $K\Sigma_{\max}$ ή $VO_{2\text{peak}}$ στο οποίο εκδηλώνεται το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας στα παιδιά (TW Rowland, 1996b).

Είναι γενικά αποδεκτό ότι κατά τη διάρκεια υπομέγιστης (ως % $K\Sigma_{\max}$ ή % $VO_{2\text{peak}}$) και μέγιστης έντασης άσκησης, η συγκέντρωση του γαλακτικού στα παιδιά είναι μικρότερη από αυτή που παρατηρείται σε ενήλικες (Armstrong & Barker, 2011; Beneke, Hütler, Jung, & Leithäuser, 2005; Matos & Winsley, 2007; M. McNarry & Jones, 2014; TW Rowland, 1996b). Ο κύριος παράγοντας στον οποίο μπορεί να οφείλεται η διαφορά είναι η μεγαλύτερη οξειδωτική ικανότητα των μύων ως αποτέλεσμα της υψηλότερης δραστηριότητας των οξειδωτικών ενζύμων στα παιδιά έναντι αυτής των ενηλίκων (Kaczor, Ziolkowski, Popinigis, & Tarnopolsky, 2005; Ratel, Duché, & Williams, 2006). Άλλοι παράγοντες που θα μπορούσαν να εξηγήσουν τη χαμηλότερη συγκέντρωση του γαλακτικού στα παιδιά έναντι των ενηλίκων κατά την άσκηση υψηλής έντασης είναι η ταχύτερη κινητική οξυγόνου στα παιδιά στα πρώτα δευτερόλεπτα της άσκησης, η μικρότερη αύξηση της αργής συνιστώσας VO_2 (M. A. McNarry, 2019) και η χαμηλότερη γλυκολυτική ικανότητά τους. Το πρώτο μπορεί να σχετίζεται με τις μεταβολές (με την αύξηση της ηλικίας) που παρατηρούνται στο μεταβολισμό των φωσφαγόνων και στην οξειδωτική φωσφορυλίωση, στη μεταφορά και τη χρήση οξυγόνου από τους μύες και στη δραστηριοποίηση των δύο τύπων μυϊκών ινών (M. A. McNarry, 2019). Ωστόσο, κατά πόσο τα παιδιά έναντι των ενηλίκων έχουν χαμηλότερη γλυκολυτική ικανότητα υπάρχουν διαφορούμενες απόψεις. Κάποιες μελέτες υποστηρίζουν ότι η δραστηριότητα των γλυκολυτικών ενζύμων είναι μειωμένη στα παιδιά, ενώ κάποιες αναφέρουν ότι δε διαφέρει σημαντικά από αυτή των ενηλίκων [βλέπε ανασκόπηση (Ratel et al., 2006)]. Τέλος, οι μελέτες οι οποίες εξέτασαν την επίδραση του φύλου στη συγκέντρωση του γαλακτικού κατά την εκτέλεση υπομέγιστης άσκησης στο ίδιο % $K\Sigma_{\max}$ ή της $VO_{2\text{peak}}$, κατά τη μέγιστη

άσκηση και κατά την άσκηση σε ισοκινητικό δυναμόμετρο, δε διαπίστωσαν διαφορές μεταξύ προέφηβων και έφηβων αγοριών και κοριτσιών αντίστοιχης ηλικίας (Dipla et al., 2009; TW Rowland, 1996b; Van Praagh E, 1990.; Williams JR, 1990).

Κεντρικά σημεία

Γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι στην παιδική ηλικία

- Το γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι σε προέφηβους και εφήβους παρατηρείται σε υψηλότερο ποσοστό της $K\Sigma_{\max}$ ή $VO_{2\text{peak}}$ σε σύγκριση με αυτό που παρατηρείται σε ενήλικες.
- Επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν ότι το ποσοστό της $K\Sigma_{\max}$ ή της $VO_{2\text{peak}}$ στο οποίο εκδηλώνεται το γαλακτικό / αναπνευστικό κατώφλι μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας στα παιδιά.
- Κατά την υπομέγιστη (ως % $K\Sigma_{\max}$ ή % $VO_{2\text{peak}}$) και μέγιστη άσκηση η συγκέντρωση του γαλακτικού στα παιδιά είναι μικρότερη από αυτή που παρατηρείται σε ενήλικες.

Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στο γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι κατά την αναπτυξιακή ηλικία

Επιδημιολογικές μελέτες έδειξαν ότι κατά την εκτέλεση υπομέγιστης άσκησης (στο ίδιο % $K\Sigma_{\max}$ ή % $VO_{2\text{peak}}$) τα παιδιά που αθλούνται παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές γαλακτικού και υψηλότερο αναπνευστικό κατώφλι σε σύγκριση με αυτά που δεν αθλούνται (Armstrong & Barker, 2011; TW Rowland, 1996b). Επίσης, στη διαχρονική μελέτη των Sjodin και συνεργατών, οι οποίοι παρακολούθησαν προέφηβους δρομείς και μη-αθλητές για 8 χρόνια, η δρομική ταχύτητα στα 4 mmol/L του γαλακτικού οξέος των παιδιών-αθλητών ήταν υψηλότερη από αυτή των μη-αθλητών καθόλη τη διάρκεια της έρευνας. Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι η διαφορά αυτή αυξήθηκε σημαντικά μετά από τη περίοδο κατά την οποία παρατηρείται η μέγιστη αύξηση στο ύψος (peak height velocity) (Sjodin & Svedenhag, 1992).

Η πλειοψηφία των παρεμβατικών μελετών διαπίστωσαν αύξηση του αναπνευστικού κατώφλιού μετά από εφαρμογή προγράμματος αερόβιας άσκησης στα παιδιά τόσο προεφηβικής όσο και εφηβικής ηλικίας. Το αναπνευστικό κατώφλι, δηλαδή, παρουσιαζόταν σε υψηλότερα % της VO_{2peak} και $K\Sigma_{max}$ και σε υψηλότερη ταχύτητα κίνησης ή ισχύος. Τα αποτελέσματα αυτά παρατηρήθηκαν τόσο σε προπονημένα όσο και απροπόνητα παιδιά (Hoffor, Harrison, & Kirk, 1990; A. D. Mahon & Vaccaro, 1989; A. Mahon, 2000; TW Rowland, 1996b; Runacres et al., 2019). Υπάρχουν όμως και μελέτες που υποστηρίζουν ότι το αναπνευστικό κατώφλι δε μεταβάλλεται με την αερόβια προπόνηση. Μικρός αριθμός μελετών εξέτασε την επίδραση της αερόβιας προπόνησης στην ταχύτητα κίνησης των 4 mmol/L του γαλακτικού οξέος και στην καμπύλη του γαλακτικού οξέος στα παιδιά. Ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν αύξηση της ταχύτητας κίνησης στην οποία παρατηρείται η συγκέντρωση των 4 mmol/L του γαλακτικού οξέος, ενώ άλλες δε βρίσκουν μεταβολές (A. Mahon, 2000; TW Rowland, 1996b). Σε μια πρόσφατη μελέτη οι Τουμπέκης και συνεργάτες έδειξαν μετατόπιση της καμπύλης του γαλακτικού οξέος προς τα δεξιά σε κολυμβητές 13 χρόνων μετά από έντονη αερόβια προπόνηση (Toubekis, Tsami, Smilios, Douda, & Tokmakidis, 2011). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος σε υπομέγιστες ταχύτητες και βελτίωση της αερόβιας ικανότητας.

Πιθανοί λόγοι για τις χαμηλότερες τιμές γαλακτικού σε υπομέγιστες ταχύτητες που παρατηρήθηκαν στις επιδημιολογικές μελέτες (σε παιδιά-αθλητές έναντι μη-αθλητών) και στις παρεμβατικές μελέτες (εφαρμογή αερόβιας προπόνησης) είναι: (i) η μικρότερη εξάρτηση από το αναερόβιο γλυκολυτικό μηχανισμό για παραγωγή ενέργειας λόγω της αυξημένης δραστηριότητας των οξειδωτικών ενζύμων και (ii) η ταχύτερη απομάκρυνση του γαλακτικού λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας των τριχοειδών αγγείων.

Κεντρικά σημεία

Αερόβια προπόνηση και γαλακτικό/αναπνευστικό κατώφλι στην παιδική ηλικία

- Η πλειοψηφία των παρεμβατικών μελετών διαπίστωσαν αύξηση στο αναπνευστικό κατώφλι μετά από εφαρμογή προγράμματος

τος αερόβιας άσκησης στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας.

- Η αερόβια προπόνηση επιφέρει χαμηλότερες συγκεντρώσεις γαλακτικού σε υπομέγιστες ταχύτητες (μετατόπιση της καμπύλης του γαλακτικού προς τα δεξιά) και βελτίωση της αερόβιας ικανότητας

Ενεργειακό κόστος / Ενεργειακή οικονομία σωματικής δραστηριότητας

Το ενεργειακό κόστος δηλώνει την ποσότητα της ενέργειας που δαπανάται ανά κιλό σωματική μάζας για τη διάνυση μιας απόστασης (π.χ. 1 km τρέχοντας) ενώ η ενεργειακή οικονομία την ποσότητα της ενέργειας που δαπανάται ανά κιλό σωματική μάζας για την εκτέλεση μιας σωματικής δραστηριότητας με μια συγκεκριμένη ταχύτητα (π.χ. τρέχοντας με 9 Km/h). Οι μονάδες στις οποίες εκφράζεται η ενέργεια είναι kcal ή Joules αλλά στη συντριπτική πλειοψηφία των μελετών οι ερευνητές μετρούν την κατανάλωση οξυγόνου (VO_2) και δεν υπολογίζουν την ενέργεια που δαπανάται. Αυτό που μετριέται, λοιπόν, είναι το κόστος οξυγόνου, που είναι η ποσότητα του οξυγόνου που δαπανάται ανά κιλό σωματική μάζας για τη διάνυση μιας απόστασης (ml/kg/km) ή η οικονομία οξυγόνου, δηλαδή η ποσότητα οξυγόνου που δαπανάται ανά κιλό σωματική μάζας για την εκτέλεση μιας σωματικής δραστηριότητας με μια συγκεκριμένη ταχύτητα (π.χ. ml/kg/min τρέχοντας με 9 Km/h). Ο όροι αυτοί, πάντως, χρησιμοποιούνται εναλλακτικά.

Η ενεργειακή οικονομία αναγνωρίζεται ως ένας από τους παράγοντες που καθορίζουν την αερόβια ικανότητα και αντοχή (Barnes & Kilding, 2015; Foster & Lucia, 2007). Σε προ-έφηβους και έφηβους έχει παρατηρηθεί μέτρια έως υψηλή συσχέτιση μεταξύ του κόστους ή της οικονομίας οξυγόνου και της επίδοσης σε δρόμους 800 – 3000m (Ali Almarwaey, Mark Jones, & Tolfrey, 2003; Blagrove, Howatson, Pedlar, & Hayes, 2019; Cureton, Sloniger, Black, McCormack, & Rowe, 1997). Όσοι είχαν μικρότερο κόστος οξυγόνου είχαν καλύτερη επίδοση. Θα πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι σε άλλες μελέτες δεν έχει παρατηρηθεί συσχέτιση μεταξύ της οικονομίας οξυγόνου και της επίδοσης σε δρόμους αντοχής (Cunningham, 1990; Krahenbuhl & Pangrazi, 1983; McCormack, Cureton, Bullock, & Weyand, 1991) ή διαφορές μεταξύ προπονημένων και απροπόνητων

12χρονων αγοριών (Unnithan, Timmons, Brogan, Paton, & Rowland, 1996). Η ασυμφωνία στα ερευνητικά αποτελέσματα μπορεί να οφείλεται σε διαφορές στην ομοιογένεια του δείγματος, στην ένταση της άσκησης που μετρήθηκε η κατανάλωση οξυγόνου, στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και στην ηλικιακή ομάδα που έγιναν οι μετρήσεις.

Η οικονομία οξυγόνου βελτιώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Οι προ-έφηβοι και οι έφηβοι παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος οξυγόνου συγκριτικά με ενήλικα άτομα (Chamari, Moussa-Chamari, et al., 2005; McCann & Adams, 2003; T. W. Rowland, Auchinachie, Keenan, & Green, 1987). Επίσης, οι προ-έφηβοι έχουν χειρότερη ενεργειακή οικονομία από τους έφηβους (Cureton et al., 1997; McCann & Adams, 2003). Σε μια διαχρονική μελέτη παρατηρήθηκε μείωση του κόστους οξυγόνου όταν τα άτομα ήταν ηλικίας 17 χρόνων συγκριτικά με όταν ήταν 10 χρόνων με ταυτόχρονη βελτίωση της ικανότητας της απόδοσης αντοχής χωρίς, ωστόσο, να μεταβληθεί η VO_2max (Krahenbuhl, Morgan, & Pangrazi, 1989). Σημαντικό ρόλο στη βελτίωση της ενεργειακής οικονομίας με την αύξηση της ηλικίας φαίνεται να παίζει η αλλαγή των σωματικών διαστάσεων με τη βιολογική ωρίμανση. Στις μελέτες όπου το κόστος οξυγόνου ομαλοποιήθηκε όχι σε ευθεία αναλογία με τη σωματική μάζα (διαίρεση με την απόλυτη τιμή της σωματικής μάζας) αλλά με τη χρήση αλλομετρικής μεθόδου (διαίρεση με την τιμή της σωματικής μάζας υψωμένη σε εκθέτη 0,75 ή 0,6), δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ παιδιών και ενήλικων (Chamari, Moussa-Chamari, et al., 2005; Cureton et al., 1997; McCann & Adams, 2003; Segers, De Clercq, Janssens, Bourgois, & Philippaerts, 2008). Επίσης, δεν διέφεραν στην ενεργειακή οικονομία άτομα ίδιας χρονολογικής ηλικίας (14 χρόνων) αλλά με διαφορετική βιολογική ηλικία (13 έναντι 16 χρόνων) όταν ομαλοποιήθηκε το ενεργειακό κόστος προς τη σωματική μάζα εφαρμόζοντας αλλομετρική μέθοδο (Segers et al., 2008). Ο μεταβολικός ρυθμός σχετίζεται περισσότερο με το μέγεθος της επιφάνειας του σώματος και όχι με τη σωματική μάζα και τα παιδιά έχουν μεγαλύτερη αναλογία επιφάνεια σώματος προς το σωματικό βάρος. Όταν λήφθηκε αυτός ο παράγοντας υπό όψη δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο ενεργειακό κόστος μεταξύ προ-έφηβων (9-13 χρόνων) και ενήλικων (23-33 χρόνων) ατόμων (T. W. Rowland et al., 1987). Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι το ενεργειακό κόστος στην περίοδο της έντονης βιολογικής ανάπτυξης μπορεί να είναι υψηλότερο συγκριτικά με άτομα μικρότερης και μεγαλύτερης ηλικίας (Doncaster, Iga, & Unnithan, 2018; McCann & Adams, 2003).

Ίσως σε αυτή τη φάση της έντονης ανάπτυξης, η αύξηση του λόγου του μήκους των ποδιών προς το σωματικό ύψος να επιδρά αρνητικά στην ενεργειακή οικονομία. Επιπλέον, στη χειρότερη ενεργειακή οικονομία στις μικρές ηλικίες μπορεί να συμβάλλουν και μηχανικοί παράγοντες, όπως για παράδειγμα η αυξημένη συχνότητα διασκελισμού κατά τρέξιμο που υιοθετείται από παιδιά ή και πιθανές διαφορές στο μεταβολισμό των ενεργειακών υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση μιας σωματικής δραστηριότητας.

Επίδραση της αερόβιας προπόνησης στην ενεργειακή οικονομία κατά την αναπτυξιακή ηλικία

Τα λίγα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι η αερόβια προπόνηση σε εφήβους (≥ 14 χρόνων) μπορεί να βελτιώσει την ενεργειακή οικονομία χωρίς, ωστόσο, τα αποτελέσματα όλων των μελετών να τείνουν προς αυτό το συμπέρασμα. Προπόνηση για 12 εβδομάδες με ένταση στο 70-80% της VO_2max , 2-4 προπονήσεις την εβδομάδα και συνολική απόσταση 8-28km την εβδομάδα, βελτίωσε την ενεργειακή οικονομία (Larsen, Nolan, Borch, & Søndergaard, 2005). Επίσης, η προσθήκη, για 8 εβδομάδες, στην προπόνηση ποδοσφαίρου, διαλειμματικών προπονήσεων σε ειδική διαδρομή με κινήσεις που προσομοιάζουν αυτές που εκτελούνται στο ποδόσφαιρο (4 x 4 min στο 90-95% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας με διάλειμμα 3min στο 70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας) βελτίωσε την ενεργειακή οικονομία ποδοσφαιριστών ηλικίας 14 χρόνων (Chamari, Hachana, et al., 2005). Ωστόσο, σε άλλη μελέτη σε 17χρονους ποδοσφαιριστές η εφαρμογή παρόμοιου προγράμματος διαλειμματικής άσκησης δεν είχε καμία επίδραση στην ενεργειακή οικονομία (McMillan, Helgerud, Macdonald, & Hoff, 2005). Επίσης, η προπόνηση με πολύ υψηλής έντασης αερόβια διαλειμματική άσκηση (2 φορές την εβδομάδα για 7 εβδομάδες, 10-20 επαναλήψεις στο 100-130% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας) δεν είχε επίδραση στη δρομική οικονομία προ-έφηβων αγοριών (Baquet et al., 2002). Εκτός από την προπόνηση αντοχής, η προσθήκη και άλλων προπονητικών περιεχομένων όπως σπριντ, αλτικών ασκήσεων και ασκήσεων με βάρη μπορεί να οδηγήσει σε λίγο μεγαλύτερη βελτίωση του ενεργειακού κόστους συγκριτικά με απλή προπόνηση αντοχής σε έφηβους ασκούμενους χωρίς να έχει κάποια αρνητική επίδραση σε άλλους φυσιολογικούς παράγοντες που σχετίζονται με την αερόβια απόδοση αθλητών ηλικίας 15-17 χρόνων (Blagrove et al., 2018). Η διεξαγωγή περισσότερων μελετών με τη χρήση διαφόρων προπονη-

τικών προγραμμάτων σε διάφορες ηλικιακές ομάδες και για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να δώσει μια πληρέστερη εικόνα για την επίδραση της προπόνησης αντοχής στην ενεργειακή οικονομία.

Συνεχόμενη ή διαλειμματική μέθοδος προπόνησης για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας σε παιδιά αναπτυξιακής ηλικίας;

Η συνεχόμενη και η διαλειμματική άσκηση αποτελούν τις κύριες μεθόδους για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας τόσο στο μαζικό όσο και στον αγωνιστικό αθλητισμό. Η συνεχόμενη άσκηση βασίζεται περισσότερο στη διάρκεια του ερεθίσματος (>15-20 λεπτά), με ένταση 65-80% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (ταχύτητα στη VO_{2peak} και όχι μέγιστη δρομική ταχύτητα). Οι διαλειμματικές μέθοδοι περιλαμβάνουν επαναλαμβανόμενα ερεθίσματα μικρής διάρκειας 15-60 δευτερόλεπτα στο 100-130% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας, ερεθίσματα μεσαίας διάρκειας 2-4 λεπτά στο 85-100% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας και ερεθίσματα μεγάλης διάρκειας 6-8 λεπτά χαμηλότερης έντασης με ενδιάμεσους χρόνους διαλείμματος από ένα 2:1 έως 1:2 (αναλογία χρόνου ερεθίσματος προς χρόνο διαλείμματος). Και οι δύο μέθοδοι (συνεχόμενη και διαλειμματική) δραστηριοποιούν σε μεγάλο βαθμό το αερόβιο σύστημα και συνεπώς, αυξάνουν τη VO_{2max} και την επίδοση σε αγωνίσματα αντοχής (Billat, 2001).

Ένα από τα ερωτήματα που έχει απασχολήσει τους αθλητικούς επιστήμονες είναι ποια από τις δύο μεθόδους είναι αποτελεσματικότερη για τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά. Η αρχική επισκόπηση των μελετών ανασκόπησης και πρωτογενών μελετών που εξέτασαν την επίδραση της συνεχόμενης ή της διαλειμματικής μεθόδου έδειξαν ότι και οι δύο μέθοδοι βελτιώνουν την αερόβια ικανότητα σε παιδιά ηλικίας 6 -16 ετών, όπως αυτή μετρήθηκε με τη VO_{2max} ή την επίδοση στη παλίνδρομη δοκιμασία των 20 μέτρων (Armstrong & Barker, 2011; Baquet et al., 2002; Baquet, Berthoin, Gerbeaux, & Van Praagh, 2001; Baquet et al., 2010; Baquet, Guinhouya, Dupont, Nourry, & Berthoin, 2004; Baquet et al., 2003; Barker, Day, Smith, Bond, & Williams, 2014; A. Mahon, 2000; Mandigout et al., 2001; Mandigout, Melin, Lecoq, Courteix, & Obert, 2002; Marta et al., 2013; Marta, Marinho, Izquierdo, & Marques, 2014; McManus, Armstrong, & Williams, 1997; McManus, Cheng, Leung, Yung, & Macfarlane, 2005; Ratel et al., 2004; TW Rowland, 1996a; Runacres et al., 2019; J. R. Welsman, Armstrong, & Withers, 1997; Williams, Armstrong, & Powell, 2000).

Συγκεκριμένα, πάνω από 80% των μελετών, που εφάρμοσαν τη συνεχόμενη ή τη διαλειμματική μέθοδο αερόβιας προπόνησης έδειξαν βελτίωση στη VO_{2peak} ή στη παλίνδρομη δοκιμασία των 20 μέτρων. Όμως, μια πρόσφατη μετανάλυση η οποία περιλαμβάνει 17 μελέτες που πραγματοποίησαν άμεση σύγκριση των δύο μεθόδων συμπεριλαμβάνοντας στον ερευνητικό σχεδιασμό ομάδες που ακολούθησαν τη συνεχόμενη και τη διαλειμματική μέθοδο, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υψηλής έντασης αερόβια διαλειμματική μέθοδος αυξάνει περισσότερο τη VO_{2max} στα παιδιά σε σύγκριση με την αερόβια άσκηση μέτριας έντασης με τη συνεχόμενη μέθοδο (Cao, Quan, & Zhuang, 2019). Ωστόσο, δύο μελέτες που δεν έδειξαν υπεροχή της μιας έναντι της άλλης μεθόδου στη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά (Baquet et al., 2010; Runacres et al., 2019) δε συμπεριλαμβάνονται στη μετανάλυση. Επίσης, στις παραπάνω μελέτες δεν έχουν συμπεριληφθεί αυτές που εφάρμοσαν συνδυαστικά προγράμματα αερόβιας άσκησης (συνεχόμενη και διαλειμματική άσκηση).

Μελέτες που συνέκριναν τις οξείες επιδράσεις μεταξύ της συνεχόμενης μεθόδου και διαφόρων πρωτοκόλλων διαλειμματικής άσκησης έδειξαν διαφορεόμενα αποτελέσματα σχετικά με τη δραστηριοποίηση του αερόβιου μηχανισμού παραγωγή ενέργειας σε προέφηβους και έφηβους. Δύο μελέτες από τους Zafeiridis και συνεργάτες (Zafeiridis et al., 2011; Zafeiridis, Sarivasiliou, Dipla, & Vrabas, 2010) έδειξαν ότι η δραστηριοποίηση του αερόβιου μηχανισμού παραγωγή ενέργειας σε εφήβους 12-15 ετών ήταν σημαντικά υψηλότερη σε διαλειμματικά πρωτόκολλα μεσαίου χρόνου (3 λεπτά άσκησης στο 95% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας) έναντι του πρωτοκόλλου μικρού χρόνου (επαναλήψεις των 30 δευτερόλεπτων στο 110%) και της συνεχόμενης μεθόδου (20 λεπτά στο 83% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας). Συγκεκριμένα, η μέγιστη απόκριση (% της VO_{2peak} που επιτεύχθηκε κατά τη διάρκεια της άσκησης) και ο χρόνος άσκησης πάνω από το 90% και 95% της VO_{2peak} ήταν μεγαλύτερος στο διαλειμματικό πρόγραμμα μεσαίου χρόνου έναντι των άλλων δύο πρωτοκόλλων, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά μεταξύ της συνεχόμενης μεθόδου και του διαλειμματικού πρωτοκόλλου μικρού χρόνου. Την ίδια χρονιά ο Borel και συνεργάτες δεν παρατήρησαν διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων αερόβιας άσκησης στη δραστηριοποίηση του αερόβιου μηχανισμού (όπως καταγράφηκε με την VO_2) σε προέφηβα παιδιά (Borel et al., 2010). Όμως, μία μεταγενέστερη μελέτη σε προέφηβα παιδιά έδειξε ότι η υψηλής ένταση συνεχόμενη άσκηση (2x10 min στο 80-85% της μέγιστης αερόβιας ταχύ-

τητας με 5 min ενεργητικής αποκατάστασης) δραστηριοποιεί το αερόβιο σύστημα περισσότερο έναντι της υψηλής έντασης διαλειμματικής άσκησης (επαναλήψεις διάρκειας 10 και 20 sec στο 100-130% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με ισόχρονο διάλειμμα), ως αποτέλεσμα του μεγαλύτερου χρόνου άσκησης (Baquet, Gamelin, Aucouturier, & Berthoin, 2017). Η ίδια ερευνητική ομάδα έδειξε ότι το είδος του διαλείμματος (παθητικό έναντι ενεργητικού) δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την υψηλότερη επιτευχθείσα τιμή $\dot{V}O_2$, καρδιακής συχνότητας, και πνευμονικού αερισμού, και το χρόνο άσκησης πάνω από το 80% και 90% της $\dot{V}O_{2max}$ (Baquet, Dupont, Gamelin, Aucouturier, & Berthoin, 2019).

Τα βασικά συμπεράσματα από τις παραπάνω μελέτες είναι: (i) για τη βελτίωση της $\dot{V}O_{2peak}$ στην αναπτυξιακή ηλικία η ένταση της άσκησης θα πρέπει να υπερβαίνει το 80% της $K\Sigma_{max}$, (ii) και οι δύο μέθοδοι αερόβιας άσκησης (συνεχόμενη και διαλειμματική) βελτιώνουν την αερόβια ικανότητα των παιδιών ($\dot{V}O_{2peak}$ ή παλίνδρομη δοκιμασία των 20 μέτρων). Επίσης, ενώ αρκετές πρωτογενείς μελέτες δε στηρίζουν την υπεροχή της μιας μεθόδου έναντι της άλλης για την ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά, μία πρόσφατη μετανάλυση καταδεικνύει την ανωτερότητα της υψηλής έντασης διαλειμματική άσκησης έναντι της συνεχόμενης στη βελτίωση της $\dot{V}O_{2peak}$. Αξίζει πάντως να επισημάνουμε ότι συνήθως τα πρωτόκολλα διαλειμματικής αερόβιας άσκησης πραγματοποιούνται με υψηλότερη εσωτερική επιβάρυνση (π.χ. με υψηλότερη καρδιακή συχνότητα, σε υψηλότερη κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης και μεγαλύτερη συγκέντρωση γαλακτικού). Ο προβληματισμός, λοιπόν, παραμένει κατά πόσο η μέθοδος της αερόβιας άσκησης (συνεχόμενη έναντι διαλειμματικής) ή η υψηλότερη εσωτερική επιβάρυνση στα διαλειμματικά πρωτόκολλα αερόβιας άσκησης επηρέασε τα αποτελέσματα των μελετών. Όμως σύμφωνα με τους Malik και συνεργάτες, παρά το γεγονός ότι η υψηλής έντασης διαλειμματική αερόβια άσκηση πραγματοποιείται συνήθως σε υψηλότερη κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης (RPE), αυτή η μορφή αερόβιας άσκησης δε φαίνεται να προκαλεί στα παιδιά εφηβικής ηλικίας (14 ετών) εμφανή δυσάρεστα συναισθήματα σε σύγκριση με της μέτριας έντασης αερόβια άσκηση (Malik, Williams, Weston, & Barker, 2018).

Κεντρικά σημεία

Συνεχόμενη και διαλειμματική αερόβια άσκηση στη παιδική ηλικία

- Η συνεχόμενη άσκηση βασίζεται περισσότερο στη διάρκεια του ερεθίσματος (>15-20 λεπτά).
- Οι διαλειμματικές μέθοδοι περιλαμβάνουν ερεθίσματα μικρής διάρκειας (15-60 δευτερόλεπτα στο 100-120% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας), μεσαίας διάρκειας (2-4 λεπτά στο 85-100% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας) και μεγάλης διάρκειας 6-8 λεπτά χαμηλότερης έντασης.
- Για τη βελτίωση της VO_{2peak} στις αναπτυξιακές ηλικίες η ένταση της άσκησης θα πρέπει να κυμαίνεται πάνω από 80-85% της $KΣ_{max}$.
- Η υπεροχή της μιας μεθόδου έναντι της άλλης (συνεχόμενης έναντι διαλειμματικής) στη βελτίωση της VO_{2peak} στις αναπτυξιακές ηλικίες χρήζει περαιτέρω έρευνας.
- Το γεγονός ότι τα παιδιά είναι σχετικά δραστήρια κατά τη διάρκεια της ημέρας και έχουν αναπτυγμένο τον οξειδωτικό μεταβολισμό προκρίνει την αερόβια άσκηση υψηλής έντασης (συνεχόμενη ή διαλειμματική) για την ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας.

Γενικές αρχές προγραμμάτων άσκησης για ανάπτυξη της αερόβιας ικανότητας στα παιδιά προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας

Οι γενικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό προγραμμάτων άσκησης στα παιδιά της προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας δε διαφέρουν σημαντικά σε σύγκριση με αυτά που χρησιμοποιούνται για τους ενήλικες. Μια σημαντική διαφορά είναι η ένταση της άσκησης η οποία πρέπει να είναι σημαντικά υψηλότερη στα παιδιά (>80-85% της $KΣ_{max}$) σε σύγκριση με αυτή που συστήνεται για τους ενήλικες. Η άποψη ότι η υψηλής έντασης αερόβια άσκηση μπορεί να είναι επιβλαβής για το καρδιαγγειακό σύστημα των παιδιών δεν είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη. Τέλος, τα χαρακτηριστικά των προπονητικών προγραμμάτων, όπως η διάρκεια του

προπονητικού ερεθίσματος, ο αριθμός των προπονήσεων ανά εβδομάδα και το επίπεδο της αερόβιας ικανότητας των ασκουμένων μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το ποσοστό βελτίωσης της αερόβιας ικανότητας.

Κεντρικά σημεία

Ενδεικτικό πρόγραμμα άσκησης

- *Τύπος άσκησης:* Τρέξιμο, ποδήλατο και κολύμβηση.
- *Συνεχόμενη (Διάρκειας):* 20-45 λεπτά στο 65-75% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας.
- *Διαλειμματική μικρού χρόνου:* 15-60 δευτερόλεπτα στο 100-120% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (MAT) με παθητικό ή ενεργητικό διάλειμμα στο 30-50% της MAT. Η αναλογία άσκησης και διαλείμματος 1 προς 1 (π.χ. 60 δευτερόλεπτα άσκησης και 60 δευτερόλεπτα διάλειμμα). Η ποσότητα άσκησης περίπου 10-15 λεπτά (π.χ. 15 × 60 δευτερόλεπτα άσκησης με 60 δευτερόλεπτα ενδιάμεσο διάλειμμα στο 100% της MAT ή 30 × 15 δευτερόλεπτα άσκησης με 15 δευτερόλεπτα διάλειμμα στο 120% της MAT) ανάλογα με τον ασκούμενο, το ερέθισμα και το στόχο της άσκησης.
- *Διαλειμματική μεσαίου χρόνου:* 2-5 λεπτά στο 85-100% της MAT με παθητικό διάλειμμα. Η αναλογία άσκησης και διαλείμματος 1 προς 1 ή 1 προς 0,75 (π.χ. 2 λεπτά άσκησης και 2 λεπτά διάλειμμα στο 100% της MAT ή 5 λεπτά άσκησης και 3 λεπτά διάλειμμα στο 85% της MAT). Η ποσότητα άσκησης περίπου 15-20 λεπτά (π.χ. 7 × 3 λεπτά άσκησης με 3 λεπτά διάλειμμα) ανάλογα με τον ασκούμενο, το ερέθισμα και το στόχο.
- Σε κάθε περίπτωση, για τη βελτίωση της VO_{2max} ο στόχος για τα παιδιά-αθλητές είναι η επίτευξη του 85-95% της $K\Sigma_{max}$ στο τέλος του προγράμματος, ενώ για τα παιδιά που είναι ελεύθερα αθλούμενοι ο αντίστοιχος στόχος είναι περίπου στο 80-90% της $K\Sigma_{max}$.

- *Συχνότητα και διάρκεια προπόνησης*: 3-5 φορές την εβδομάδα, πάνω από 10-12 εβδομάδες.

Βιβλιογραφία

- Ali Almarwaey, O., Mark Jones, A., & Tolfrey, K. (2003). Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Med Sci Sports Exerc*, 35(3), 480-487. doi: 10.1249/01.Mss.0000053723.16531.D0
- Armstrong, N., & McNarry, M. (2016). Aerobic Fitness and Trainability in Healthy Youth: Gaps in Our Knowledge. *Pediatr Exerc Sci*, 28(2), 171-177. doi: 10.1123/pes.2015-0251
- Armstrong, N., & Welsman, JR. (2000a). Aerobic fitness In N. Armstrong & W. v. Mechelen (Eds.), *Paediatric Exercise Science* Oxford University Press
- Armstrong, N., & Welsman, JR. (2000b). Pulmonary Function. In N. Armstrong & W. v. Mechelen (Eds.), *Paediatric Exercise Science* (pp. 154-161): Oxford University Press.
- Armstrong, N. (2017). Top 10 Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness. *Res Q Exerc Sport*, 88(2), 130-148. doi: 10.1080/02701367.2017.1303298
- Armstrong, N., & Barker, A. R. (2011). Endurance training and elite young athletes. *Med Sport Sci*, 56, 59-83. doi: 10.1159/000320633
- Armstrong, N., Tomkinson, G., & Ekelund, U. (2011). Aerobic fitness and its relationship to sport, exercise training and habitual physical activity during youth. *Br J Sports Med*, 45(11), 849-858. doi: 10.1136/bjsports-2011-090200
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (1994). Assessment and interpretation of aerobic fitness in children and adolescents. *Exerc Sport Sci Rev*, 22, 435-476.
- Armstrong, N., & Welsman, J. R. (2007). Aerobic fitness: what are we measuring? *Med Sport Sci*, 50, 5-25. doi: 10.1159/000101073

- Armstrong, N., Welsman, J. R., Nevill, A. M., & Kirby, B. J. (1999). Modeling growth and maturation changes in peak oxygen uptake in 11-13 yr olds. *J Appl Physiol* (1985), 87(6), 2230-2236. doi: 10.1152/jappl.1999.87.6.2230
- Armstrong, N., Welsman, J., & Winsley, R. (1996). Is peak VO₂ a maximal index of children's aerobic fitness? *Int J Sports Med*, 17(5), 356-359. doi: 10.1055/s-2007-972860
- Armstrong, N., Williams, J., Balding, J., Gentle, P., & Kirby, B. (1991). The peak oxygen uptake of British children with reference to age, sex and sexual maturity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(5), 369-375. doi: 10.1007/bf00634975
- Baltaci, G., & Ergun, N. (1997). Maximal oxygen uptake in well-trained and untrained 9-11 year-old children. *Pediatr Rehabil*, 1(3), 159-162. doi: 10.3109/17518429709167354
- Baquet, G., Berthoin, S., Dupont, G., Blondel, N., Fabre, C., & van Praagh, E. (2002). Effects of high intensity intermittent training on peak VO₂ in prepubertal children. *Int J Sports Med*, 23(6), 439-444. doi: 10.1055/s-2002-33742
- Baquet, G., Berthoin, S., Gerbeaux, M., & Van Praagh, E. (2001). High-intensity aerobic training during a 10 week one-hour physical education cycle: effects on physical fitness of adolescents aged 11 to 16. *Int J Sports Med*, 22(4), 295-300. doi: 10.1055/s-2001-14343
- Baquet, G., Dupont, G., Gamelin, F. X., Aucouturier, J., & Berthoin, S. (2019). Active Versus Passive Recovery in High-Intensity Intermittent Exercises in Children: An Exploratory Study. *Pediatr Exerc Sci*, 31(2), 248-253. doi: 10.1123/pes.2018-0218
- Baquet, G., Gamelin, F. X., Aucouturier, J., & Berthoin, S. (2017). Cardiorespiratory Responses to Continuous and Intermittent Exercises in Children. *Int J Sports Med*, 38(10), 755-762. doi: 10.1055/s-0043-111892
- Baquet, G., Gamelin, F. X., Mucci, P., Thévenet, D., Van Praagh, E., & Berthoin, S. (2010). Continuous vs. interval aerobic training in 8- to 11-year-old children. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1381-1388. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d1575a

- Baquet, G., Guinhouya, C., Dupont, G., Nourry, C., & Berthoin, S. (2004). Effects of a short-term interval training program on physical fitness in prepubertal children. *J Strength Cond Res*, *18*(4), 708-713. doi: 10.1519/13813.1
- Baquet, G., van Praagh, E., & Berthoin, S. (2003). Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med*, *33*(15), 1127-1143. doi: 10.2165/00007256-200333150-00004
- Barker, A. R., Day, J., Smith, A., Bond, B., & Williams, C. A. (2014). The influence of 2 weeks of low-volume high-intensity interval training on health outcomes in adolescent boys. *J Sports Sci*, *32*(8), 757-765. doi: 10.1080/02640414.2013.853132
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open*, *1*(1), 8. doi: 10.1186/s40798-015-0007-y
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, *32*(1), 70-84. doi: 10.1097/00005768-200001000-00012
- Beneke, R., Hütler, M., Jung, M., & Leithäuser, R. M. (2005). Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents, and adults. *J Appl Physiol* (1985), *99*(2), 499-504. doi: 10.1152/jappphysiol.00062.2005
- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sports Physiol Perform*, *6*(1), 8-24. doi: 10.1123/ijsp.6.1.8
- Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*, *31*(1), 13-31. doi: 10.2165/00007256-200131010-00002
- Blagrove, R. C., Howatson, G., Pedlar, C. R., & Hayes, P. R. (2019). Quantification of aerobic determinants of performance in post-pubertal adolescent middle-distance runners. *Eur J Appl Physiol*, *119*(8), 1865-1874. doi: 10.1007/s00421-019-04175-w
- Blagrove, R. C., Howe, L. P., Cushion, E. J., Spence, A., Howatson, G., Pedlar, C. R., & Hayes, P. R. (2018). Effects of Strength Training on Postpubertal

- Adolescent Distance Runners. *Med Sci Sports Exerc*, 50(6), 1224-1232. doi: 10.1249/mss.0000000000001543
- Borel, B., Leclair, E., Thevenet, D., Beghin, L., Berthoin, S., & Fabre, C. (2010). Correspondences between continuous and intermittent exercises intensities in healthy prepubescent children. *Eur J Appl Physiol*, 108(5), 977-985. doi: 10.1007/s00421-009-1296-y
- Bouchard, C., Dionne, F. T., Simoneau, J. A., & Boulay, M. R. (1992). Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exerc Sport Sci Rev*, 20, 27-58.
- Cao, M., Quan, M., & Zhuang, J. (2019). Effect of High-Intensity Interval Training versus Moderate-Intensity Continuous Training on Cardiorespiratory Fitness in Children and Adolescents: A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 16(9). doi: 10.3390/ijerph16091533
- Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I., & Wisløff, U. (2005). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med*, 39(1), 24-28. doi: 10.1136/bjism.2003.009985
- Chamari, K., Moussa-Chamari, I., Boussaïdi, L., Hachana, Y., Kaouech, F., & Wisløff, U. (2005). Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br J Sports Med*, 39(2), 97-101. doi: 10.1136/bjism.2003.010215
- Cicone, Z. S., Holmes, C. J., Fedewa, M. V., MacDonald, H. V., & Esco, M. R. (2019). Age-Based Prediction of Maximal Heart Rate in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Res Q Exerc Sport*, 90(3), 417-428. doi: 10.1080/02701367.2019.1615605
- Cunningham, L. N. (1990). Relationship of running economy, ventilatory threshold, and maximal oxygen consumption to running performance in high school females. *Res Q Exerc Sport*, 61(4), 369-374. doi: 10.1080/02701367.1990.10607501
- Cureton, K. J., Sloniger, M. A., Black, D. M., McCormack, W. P., & Rowe, D. A. (1997). Metabolic determinants of the age-related improvement in one-mile run/walk performance in youth. *Med Sci Sports Exerc*, 29(2), 259-267. doi: 10.1097/00005768-199702000-00015
- Dencker, M., Thorsson, O., Karlsson, M. K., Lindén, C., Eiberg, S., Wollmer, P., & Andersen, L. B. (2007). Gender differences and determinants of aerobic

- fitness in children aged 8-11 years. *Eur J Appl Physiol*, 99(1), 19-26. doi: 10.1007/s00421-006-0310-x
- Dipla, K., Tsirini, T., Zafeiridis, A., Manou, V., Dalamitros, A., Kellis, E., & Kellis, S. (2009). Fatigue resistance during high-intensity intermittent exercise from childhood to adulthood in males and females. *Eur J Appl Physiol*, 106(5), 645-653. doi: 10.1007/s00421-009-1058-x
- Doncaster, G., Iga, J., & Unnithan, V. (2018). Assessing Differences in Cardiorespiratory Fitness With Respect to Maturity Status in Highly Trained Youth Soccer Players. *Pediatr Exerc Sci*, 30(2), 216-228. doi: 10.1123/pes.2017-0185
- Dotan, R. (2017). Children's Aerobic Trainability and Related Questions. *Res Q Exerc Sport*, 88(4), 377-383. doi: 10.1080/02701367.2017.1371546
- Eisenmann, J. C., Laurson, K. R., & Welk, G. J. (2011). Aerobic fitness percentiles for U.S. adolescents. *Am J Prev Med*, 41(4 Suppl 2), S106-110. doi: 10.1016/j.amepre.2011.07.005
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med*, 39(6), 469-490. doi: 10.2165/00007256-200939060-00003
- Ford, P., De Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., . . . Williams, C. (2011). The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci*, 29(4), 389-402. doi: 10.1080/02640414.2010.536849
- Foster, C., & Lucia, A. (2007). Running economy : the forgotten factor in elite performance. *Sports Med*, 37(4-5), 316-319. doi: 10.2165/00007256-200737040-00011
- Fox, S. M., 3rd, & Naughton, J. P. (1972). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Prev Med*, 1(1), 92-120. doi: 10.1016/0091-7435(72)90079-5
- Geenen, D. L., Gilliam, T. B., Crowley, D., Moorehead-Steffens, C., & Rosenthal, A. (1982). Echocardiographic measures in 6 to 7 year old children after an 8 month exercise program. *Am J Cardiol*, 49(8), 1990-1995. doi: 10.1016/0002-9149(82)90220-x

- Gelbart, M., Ziv-Baran, T., Williams, C. A., Yarom, Y., & Dubnov-Raz, G. (2017). Prediction of Maximal Heart Rate in Children and Adolescents. *Clin J Sport Med*, 27(2), 139-144. doi: 10.1097/jsm.0000000000000315
- Gellish, R. L., Goslin, B. R., Olson, R. E., McDonald, A., Russi, G. D., & Moudgil, V. K. (2007). Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc*, 39(5), 822-829. doi: 10.1097/mss.0b013e31803349c6
- George, K. P., Gates, P. E., & Tolfrey, K. (2005). Impact of aerobic training upon left ventricular morphology and function in pre-pubescent children. *Ergonomics*, 48(11-14), 1378-1389. doi: 10.1080/00140130500101080
- Graves, L. E., Batterham, A. M., Fowweather, L., McWhannell, N., Hopkins, N. D., Boddy, L. M., . . . Stratton, G. (2013). Scaling of peak oxygen uptake in children: a comparison of three body size index models. *Med Sci Sports Exerc*, 45(12), 2341-2345. doi: 10.1249/MSS.0b013e31829bfa79
- Hoffor, A. S., Harrison, A. C., & Kirk, P. A. (1990). Anaerobic threshold alterations caused by interval training in 11-year-olds. *J Sports Med Phys Fitness*, 30(1), 53-56.
- Jamnick, N. A., Botella, J., Pyne, D. B., & Bishop, D. J. (2018). Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and [Formula: see text]. *PLoS One*, 13(7), e0199794. doi: 10.1371/journal.pone.0199794
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586(1), 35-44. doi: 10.1113/jphysiol.2007.143834
- Kaczor, J. J., Ziolkowski, W., Popinigis, J., & Tarnopolsky, M. A. (2005). Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults. *Pediatr Res*, 57(3), 331-335. doi: 10.1203/01.pdr.0000150799.77094.de
- Katch, V. L. (1983). Physical conditioning of children. *J Adolesc Health Care*, 3(4), 241-246. doi: 10.1016/s0197-0070(83)80245-9
- Kayali, S., & Yildirim, F. T. (2019). Echocardiographic assessment of children participating in regular sports training. *North Clin Istanb*, 6(3), 236-241. doi: 10.14744/nci.2018.40360

- Krahenbuhl, G. S., Morgan, D. W., & Pangrazi, R. P. (1989). Longitudinal changes in distance-running performance of young males. *Int J Sports Med*, *10*(2), 92-96. doi: 10.1055/s-2007-1024881
- Krahenbuhl, G. S., & Pangrazi, R. P. (1983). Characteristics associated with running performance in young boys. *Med Sci Sports Exerc*, *15*(6), 486-490.
- Krahenbuhl, G. S., Skinner, J. S., & Kohrt, W. M. (1985). Developmental aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc Sport Sci Rev*, *13*, 503-538.
- Larsen, H. B., Nolan, T., Borch, C., & Søndergaard, H. (2005). Training response of adolescent Kenyan town and village boys to endurance running. *Scand J Med Sci Sports*, *15*(1), 48-57. doi: 10.1111/j.1600-0838.2004.00304.x
- Lemura LM, von Dullivard SP, Carlonas R. . (1999). Can exercise training improve maximal aerobic power (VO2max) in children: a meta-analytic review. *JEPonline*, *2*(3), 1-14.
- Machado, F. A., & Denadai, B. S. (2011). Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arq Bras Cardiol*, *97*(2), 136-140. doi: 10.1590/s0066-782x2011005000078
- Mahon, A. D., & Vaccaro, P. (1989). Ventilatory threshold and VO2max changes in children following endurance training. *Med Sci Sports Exerc*, *21*(4), 425-431.
- Mahon, A. D., & Vaccaro, P. (1994). Cardiovascular adaptations in 8- to 12-year-old boys following a 14-week running program. *Can J Appl Physiol*, *19*(2), 139-150. doi: 10.1139/h94-011
- Mahon, AD. (2000). Exercise training. In N. Armstrong & W. v. Mechelen (Eds.), *Paediatric Exercise Science* (pp. 201-222): Oxford University Press
- Mahon, AD. (2008). Aerobic training. In N. Armstrong & W. v. Mechelen (Eds.), *Paediatric exercise science and medicine* (pp. 513-529). Oxford: Oxford University Press.
- Malik, A. A., Williams, C. A., Weston, K. L., & Barker, A. R. (2018). Perceptual Responses to High- and Moderate-Intensity Interval Exercise in Adolescents. *Med Sci Sports Exerc*, *50*(5), 1021-1030. doi: 10.1249/mss.0000000000001508
- Mandigout, S., Lecoq, A. M., Courteix, D., Guenon, P., & Obert, P. (2001). Effect of gender in response to an aerobic training programme in prepubertal children. *Acta Paediatr*, *90*(1), 9-15. doi: 10.1080/080352501750064815

- Mandigout, S., Melin, A., Lecoq, A. M., Courteix, D., & Obert, P. (2002). Effect of two aerobic training regimens on the cardiorespiratory response of prepubertal boys and girls. *Acta Paediatr*, 91(4), 403-408. doi: 10.1080/080352502317371634
- Marta, C. C., Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Carneiro, A. L., Izquierdo, M., & Marques, M. C. (2013). Effects of body fat and dominant somatotype on explosive strength and aerobic capacity trainability in prepubescent children. *J Strength Cond Res*, 27(12), 3233-3244. doi: 10.1519/jsc.0000000000000252
- Marta, C. C., Marinho, D. A., Izquierdo, M., & Marques, M. C. (2014). Differentiating maturational influence on training-induced strength and endurance adaptations in prepubescent children. *Am J Hum Biol*, 26(4), 469-475. doi: 10.1002/ajhb.22549
- Matos, N., & Winsley, R. J. (2007). Trainability of young athletes and overtraining. *J Sports Sci Med*, 6(3), 353-367.
- McCann, D. J., & Adams, W. C. (2003). The size-independent oxygen cost of running. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 1049-1056. doi: 10.1249/01.Mss.0000069409.44016.04
- McCormack, W. P., Cureton, K. J., Bullock, T. A., & Weyand, P. G. (1991). Metabolic determinants of 1-mile run/walk performance in children. *Med Sci Sports Exerc*, 23(5), 611-617.
- McManus, A. M., Armstrong, N., & Williams, C. A. (1997). Effect of training on the aerobic power and anaerobic performance of prepubertal girls. *Acta Paediatr*, 86(5), 456-459. doi: 10.1111/j.1651-2227.1997.tb08912.x
- McManus, A. M., Cheng, C. H., Leung, M. P., Yung, T. C., & Macfarlane, D. J. (2005). Improving aerobic power in primary school boys: a comparison of continuous and interval training. *Int J Sports Med*, 26(9), 781-786. doi: 10.1055/s-2005-837438
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., & Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med*, 39(5), 273-277. doi: 10.1136/bjism.2004.012526

- McNarry, M. A. (2019). Oxygen Uptake Kinetics in Youth: Characteristics, Interpretation, and Application. *Pediatr Exerc Sci*, *31*(2), 175-183. doi: 10.1123/pes.2018-0177
- McNarry, M. A., Welsman, J. R., & Jones, A. M. (2011a). Influence of training and maturity status on the cardiopulmonary responses to ramp incremental cycle and upper body exercise in girls. *J Appl Physiol (1985)*, *110*(2), 375-381. doi: 10.1152/jappphysiol.00988.2010
- McNarry, M. A., Welsman, J. R., & Jones, A. M. (2011b). Influence of training status and exercise modality on pulmonary O₂ uptake kinetics in pubertal girls. *Eur J Appl Physiol*, *111*(4), 621-631. doi: 10.1007/s00421-010-1681-6
- McNarry, M., & Jones, A. (2014). The influence of training status on the aerobic and anaerobic responses to exercise in children: a review. *Eur J Sport Sci*, *14 Suppl 1*, S57-68. doi: 10.1080/17461391.2011.643316
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med*, *37*(10), 857-880. doi: 10.2165/00007256-200737100-00003
- Nes, B. M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylen, A., & Karlsen, T. (2013). Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT fitness study. *Scand J Med Sci Sports*, *23*(6), 697-704. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01445.x
- Nottin, S., Nguyen, L. D., Terbah, M., & Obert, P. (2004). Left ventricular function in endurance-trained children by tissue Doppler imaging. *Med Sci Sports Exerc*, *36*(9), 1507-1513. doi: 10.1249/01.mss.0000139900.67704.07
- Nottin, S., Vinet, A., Stecken, F., N'Guyen, L. D., Ounissi, F., Lecoq, A. M., & Obert, P. (2002). Central and peripheral cardiovascular adaptations to exercise in endurance-trained children. *Acta Physiol Scand*, *175*(2), 85-92. doi: 10.1046/j.1365-201X.2002.00975.x
- Nottin, S., Vinet, A., Stecken, F., Nguyen, L. D., Ounissi, F., Lecoq, A. M., & Obert, P. (2002). Central and peripheral cardiovascular adaptations during a maximal cycle exercise in boys and men. *Med Sci Sports Exerc*, *34*(3), 456-463. doi: 10.1097/00005768-200203000-00012

- Obert, P., Mandigout, S., Vinet, A., N'Guyen, L. D., Stecken, F., & Courteix, D. (2001). Effect of aerobic training and detraining on left ventricular dimensions and diastolic function in prepubertal boys and girls. *Int J Sports Med*, 22(2), 90-96. doi: 10.1055/s-2001-11343
- Obert, P., Mandigout, S., Vinet, A., Nottin, S., N'Guyen, L. D., & Lecoq, A. M. (2005). Relationships between left ventricular morphology, diastolic function and oxygen carrying capacity and maximal oxygen uptake in children. *Int J Sports Med*, 26(2), 122-127. doi: 10.1055/s-2004-817857
- Obert, P., Mandigouts, S., Nottin, S., Vinet, A., N'Guyen, L. D., & Lecoq, A. M. (2003). Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *Eur J Clin Invest*, 33(3), 199-208. doi: 10.1046/j.1365-2362.2003.01118.x
- Obert, P., Stecken, F., Courteix, D., Lecoq, A. M., & Guenon, P. (1998). Effect of long-term intensive endurance training on left ventricular structure and diastolic function in prepubertal children. *Int J Sports Med*, 19(2), 149-154. doi: 10.1055/s-2007-971897
- Pavlik, G., Major, Z., Csajági, E., Jeserich, M., & Kneffel, Z. (2013). The athlete's heart. Part II: influencing factors on the athlete's heart: types of sports and age (review). *Acta Physiol Hung*, 100(1), 1-27. doi: 10.1556/APhysiol.100.2013.1.1
- Payne, V. G., & Morrow, J. R., Jr. (1993). Exercise and VO₂ max in children: a meta-analysis. *Res Q Exerc Sport*, 64(3), 305-313. doi: 10.1080/02701367.1993.10608815
- Pfeiffer, K. A., Lobelo, F., Ward, D. S., & Pate, R. R. . (2008). Endurance trainability of children and youth. In O. B.-O. H. Hebestreit (Ed.), *The young athlete* (pp. 84–95). Oxford, UK: Blackwell.
- Pozuelo-Carrascosa, D. P., García-Hermoso, A., Álvarez-Bueno, C., Sánchez-López, M., & Martínez-Vizcaino, V. (2018). Effectiveness of school-based physical activity programmes on cardiorespiratory fitness in children: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med*, 52(19), 1234-1240. doi: 10.1136/bjsports-2017-097600
- Purcell, J. S., & Hergenroeder, A. C. (1994). Physical conditioning in adolescents. *Curr Opin Pediatr*, 6(4), 373-378. doi: 10.1097/00008480-199408000-00003

- Ratel, S., Duché, P., & Williams, C. A. (2006). Muscle fatigue during high-intensity exercise in children. *Sports Med*, 36(12), 1031-1065. doi: 10.2165/00007256-200636120-00004
- Ratel, S., Lazaar, N., Dore, E., Baquet, G., Williams, C. A., Berthoin, S., . . . Duche, P. (2004). High-intensity intermittent activities at school: controversies and facts. *J Sports Med Phys Fitness*, 44(3), 272-280.
- Resaland, G. K., Andersen, L. B., Mamen, A., & Anderssen, S. A. (2011). Effects of a 2-year school-based daily physical activity intervention on cardiorespiratory fitness: the Sogndal school-intervention study. *Scand J Med Sci Sports*, 21(2), 302-309. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01028.x
- Rowland, T. (2005). *Children's Exercise Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Rowland, T. (2009a). Aerobic (un)trainability of children: mitochondrial biogenesis and the "crowded cell" hypothesis. *Pediatr Exerc Sci*, 21(1), 1-9. doi: 10.1123/pes.21.1.1
- Rowland, T. (2009b). Endurance athletes' stroke volume response to progressive exercise: a critical review. *Sports Med*, 39(8), 687-695. doi: 10.2165/00007256-200939080-00005
- Rowland, T. (2016). Morphologic Features of the "Athlete's Heart" in Children: A Contemporary Review. *Pediatr Exerc Sci*, 28(3), 345-352. doi: 10.1123/pes.2015-0239
- Rowland, T., Unnithan, V., Fernhall, B., Baynard, T., & Lange, C. (2002). Left ventricular response to dynamic exercise in young cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 637-642. doi: 10.1097/00005768-200204000-00012
- Rowland, T. W. (1985). Aerobic response to endurance training in prepubescent children: a critical analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 17(5), 493-497.
- Rowland, T. W. (2007). Evolution of maximal oxygen uptake in children. *Med Sport Sci*, 50, 200-209. doi: 10.1159/000101392
- Rowland, T. W., Auchinachie, J. A., Keenan, T. J., & Green, G. M. (1987). Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. *Int J Sports Med*, 8(4), 292-297. doi: 10.1055/s-2008-1025672
- Rowland, T. W., Garrard, M., Marwood, S., Guerra, M. E., Roche, D., & Unnithan, V. B. (2009). Myocardial performance during progressive

- exercise in athletic adolescent males. *Med Sci Sports Exerc*, 41(9), 1721-1728. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181a06cb5
- Rowland, TW. (1996a). The plasticity of aerobic fitness In T. Rowland (Ed.), *Developmental exercise Physiology* (pp. 97-116). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Rowland, TW. (1996b). Short-burst activities and the development of anaerobic fitness. In T. Rowland (Ed.), *Developmental exercise Physiology* (pp. 193-214). Champaign, IL Human Kinetics.
- Runacres, A., Mackintosh, K. A., & McNarry, M. A. (2019). The effect of constant-intensity endurance training and high-intensity interval training on aerobic and anaerobic parameters in youth. *J Sports Sci*, 37(21), 2492-2498. doi: 10.1080/02640414.2019.1644890
- Schmitz, B., Pfeifer, C., Kreitz, K., Borowski, M., Faldum, A., & Brand, S. M. (2019). Normative Yo-Yo Intermittent Recovery Level 1 and Yo-Yo Intermittent Endurance Level 1 test values of boys aged 9-16years. *J Sci Med Sport*, 22(9), 1030-1037. doi: 10.1016/j.jsams.2019.05.016
- Segers, V., De Clercq, D., Janssens, M., Bourgois, J., & Philippaerts, R. (2008). Running economy in early and late maturing youth soccer players does not differ. *Br J Sports Med*, 42(4), 289-294. doi: 10.1136/bjsm.2007.035915
- Shaibi, G. Q., Ball, G. D., & Goran, M. I. (2006). Aerobic fitness among Caucasian, African-American, and Latino youth. *Ethn Dis*, 16(1), 120-125.
- Shargal, E., Kislev-Cohen, R., Zigel, L., Epstein, S., Pilz-Burstein, R., & Tenenbaum, G. (2015). Age-related maximal heart rate: examination and refinement of prediction equations. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(10), 1207-1218.
- Sjödin, B., & Svedenhag, J. (1992). Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 65(2), 150-157. doi: 10.1007/bf00705073
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*, 37(1), 153-156. doi: 10.1016/s0735-1097(00)01054-8
- Tokmakidis, S. P., Léger, L. A., & Piliandis, T. C. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise.

- Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(4), 333-342. doi: 10.1007/s004210050342
- Tomkinson, G. R., Lang, J. J., Tremblay, M. S., Dale, M., LeBlanc, A. G., Belanger, K., . . . Léger, L. (2017). International normative 20 m shuttle run values from 1 142 026 children and youth representing 50 countries. *Br J Sports Med*, 51(21), 1545-1554. doi: 10.1136/bjsports-2016-095987
- Toubekis, A. G., Tsami, A. P., Smilios, I. G., Douda, H. T., & Tokmakidis, S. P. (2011). Training-induced changes on blood lactate profile and critical velocity in young swimmers. *J Strength Cond Res*, 25(6), 1563-1570. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181ddfafc
- Trowbridge, C. A., Gower, B. A., Nagy, T. R., Hunter, G. R., Treuth, M. S., & Goran, M. I. (1997). Maximal aerobic capacity in African-American and Caucasian prepubertal children. *Am J Physiol*, 273(4), E809-814. doi: 10.1152/ajpendo.1997.273.4.E809
- Tsiaras, V., Zafeiridis, A., Dipla, K., Patras, K., Georgoulis, A., & Kellis, S. (2010). Prediction of peak oxygen uptake from a maximal treadmill test in 12- to 18-year-old active male adolescents. *Pediatr Exerc Sci*, 22(4), 624-637. doi: 10.1123/pes.22.4.624
- Unnithan, V. B., Timmons, J. A., Brogan, R. T., Paton, J. Y., & Rowland, T. W. (1996). Submaximal running economy in run-trained pre-pubertal boys. *J Sports Med Phys Fitness*, 36(1), 16-23.
- Van Praagh E, Fellman N, Bedu M, Falgairette G, Coudert J. . (1990:). Gender differences in the relationship of anaerobic power output to body composition in children. *Ped Exerc Sci*, 2, 336-348.
- Vinet, A., Nottin, S., Lecoq, A. M., & Obert, P. (2002). Cardiovascular responses to progressive cycle exercise in healthy children and adults. *Int J Sports Med*, 23(4), 242-246. doi: 10.1055/s-2002-29076
- Welsman, J., & Armstrong, N. (2019). Interpreting Aerobic Fitness in Youth: The Fallacy of Ratio Scaling. *Pediatr Exerc Sci*, 31(2), 184-190. doi: 10.1123/pes.2018-0141
- Welsman, J. R., Armstrong, N., & Withers, S. (1997). Responses of young girls to two modes of aerobic training. *Br J Sports Med*, 31(2), 139-142. doi: 10.1136/bjism.31.2.139

- Williams, C. A., Armstrong, N., & Powell, J. (2000). Aerobic responses of prepubertal boys to two modes of training. *Br J Sports Med*, 34(3), 168-173. doi: 10.1136/bjism.34.3.168
- Williams JR, Armstrong N. . (1990). The influence of age and sexual maturation on children's blood lactate responses to exercise. *Ped Exerc Sci*, 3, 111-120.
- Zafeiridis, A., Rizos, S., Sarivasiliou, H., Kazias, A., Dipla, K., & Vrabas, I. S. (2011). The extent of aerobic system activation during continuous and interval exercise protocols in young adolescents and men. *Appl Physiol Nutr Metab*, 36(1), 128-136. doi: 10.1139/h10-096
- Zafeiridis, A., Sarivasiliou, H., Dipla, K., & Vrabas, I. S. (2010). The effects of heavy continuous versus long and short intermittent aerobic exercise protocols on oxygen consumption, heart rate, and lactate responses in adolescents. *Eur J Appl Physiol*, 110(1), 17-26. doi: 10.1007/s00421-010-1467-x

Ανάπτυξη και προπόνηση ριπτικής ικανότητας⁷

Χρήστος Κοτζαμανίδης

Περίληψη

Η ικανότητα ρίψης (IP) είναι μια σύνθετη κίνηση που στόχο έχει να μεγιστοποιήσει την Ταχύτητα Απελευθέρωσης της Μπάλας (TAM). Αρχίζει από τις αρθρώσεις του πέλματος και καταλήγει στις αρθρώσεις του καρπού και των δακτύλων. Ο βασικός μηχανισμός βελτιστοποίησης της ρίψης είναι η μεταφορά διαρθρικής ενέργειας. Επηρεάζεται από την ηλικία, το φύλο, την πλευρικότητα, το μέγεθος της μπάλας και από τα ανθρωπομετρικά μεγέθη. Συσχετίσεις έχουν αναφερθεί επίσης για την μυϊκή μάζα και την δύναμη. Διαπιστώθηκε ακόμη ότι η TAM βελτιώνεται τόσο από την προπόνηση Τεχνικής και Επιδεξιότητας, όσο και από την προπόνηση Δύναμης και Ισχύος.

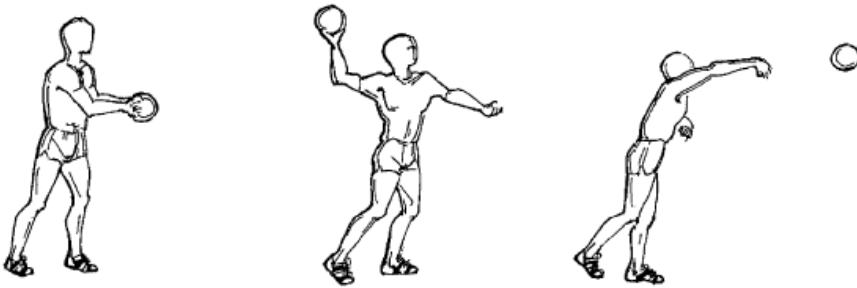
Εισαγωγή

Η καθημερινότητα, αλλά και η αθλητική πράξη, έχουν παράξει πάρα πολλά διαφορετικά είδη ρίψεων, όπως έχει παρατηρηθεί και στο άλμα. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την βασική ρίψη πάνω από στον ώμο, η οποία θεωρείται ως η θεμελιώδης κίνηση ρίψης (Εικόνα 1).

Η βασική ρίψη παρουσιάζεται με δύο βασικές τεχνικές ρίψης (Jancelic, 1973):

1. Η ωθητική ρίψη (push-like), στην οποία η μπάλα σπρώχνεται. Σε αυτή παρατηρείται ατελής εκτέλεση της κινηματικής αλυσίδας, γιατί το χέρι ρίψης και ειδικότερα ο βραχίονας κινείται κάτω από τον ώμο.
2. Η μαστιγωτή (Wipe-like), όπου εκτελείται ολοκληρωμένα η κινηματική αλυσίδα.

7. Το κεφάλαιο αυτό δημοσιεύτηκε σε πρώιμη μορφή στο Κοτζαμανίδης Χ Σημειώσεις «Προπονητικής αναπτυξιακών ηλικιών, 2015 ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ» με τίτλο «Ριπτική Ικανότητα».



Εικόνα 1: Ρίψη πάνω από τον ώμο (από Κοτζαμανίδη, 2019).

Έχει παρατηρηθεί ότι τα ενήλικα άτομα και τα άτομα που έχουν πολύ καλό επίπεδο τεχνικής χρησιμοποιούν την μαστιγωτή ρίψη, σε αντίθεση με άτομα μικρής ηλικίας και άτομα με χαμηλή ριπτική ικανότητα, τα οποία χρησιμοποιούν την ωθητική ρίψη (Κοτζαμανίδης, 2019). Παρόλα αυτά, θα αναφερθούμε σε μία ακόμη παραλλαγή, που είναι η ρίψη με άλμα. Η αξιολόγηση της ρίψης γίνεται τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά, όπως αναφέρθηκε και για την αξιολόγηση του άλματος.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ρίψη

Διαρθρική μεταφορά ενέργειας.

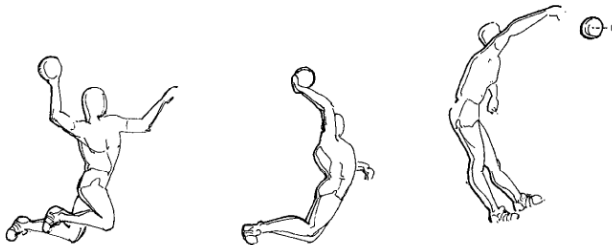
Οι βασικές αρχές είναι ίδιες όπως και στο άλμα. Στην ρίψη όμως είναι πιο σύνθετη γιατί η διαδικασία μεταφοράς ενέργειας ξεκινάει από τις αρθρώσεις των δακτύλων του πέλματος για να καταλήξει στις μετακαρποφαλαγγικές αρθρώσεις του χεριού. Η χρονική ακολουθία των κινήσεων των αρθρώσεων στην ρίψη είναι η παρακάτω (Βαρελτζής, 2008; Wagner et al., 2012, Zatziorski et al 1981):

- Κάμψη ποδοκνημικής.
- Έκταση γόνατος.
- Στροφή κορμού.
- Κάμψη κορμού.
- Έκταση αγκώνα.
- Στροφή ώμου.
- Πρηνισμός πήχη.
- Κάμψη καρπού.

- Κάμψη μετακαρποφαλαγγικών αρθρώσεων.

Από τις παραπάνω, οι σημαντικότερες αρθρώσεις, οι οποίες καθορίζουν την ταχύτητα απελευθέρωσης της μπάλας (TAM), αλλά και τα διάφορα επίπεδα απόδοσης, είναι οι αρθρώσεις του κορμού, του ώμου και του αγκώνα (Wagner et al., 2010).

Στη Βασική ρίψη χωρίς άλμα, η παραγόμενη ενέργεια κατά βάση μεταφέρεται στην μπάλα και στην μεγιστοποίηση της TAM. Στην ρίψη με άλμα όμως παρατηρείται μία διττή διαδικασία (Εικόνα 2): Η ενέργεια που αρχίζει και μεταφέρεται από την ποδοκνημική του ποδιού στήριξης χρησιμοποιείται για το άλμα, ενώ η μεταφερόμενη ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη ρίψη ξεκινάει στον αέρα από το λυγισμένο ελεύθερο πόδι και συγκεκριμένα από την άρθρωση του γόνατος, μόλις αυτό αρχίζει να τεντώνει προς τα κάτω (Wagner et al., 2010).



Εικόνα 2: Η διαρθρική μεταφορά ενέργειας για την TAM αρχίζει στην ρίψη με άλμα από την στιγμή που αρχίζει και εκτείνεται το γόνατο (από Κοτζαμανίδη, 2019).

Η ηλικία

Η διαδικασία τελειοποίησης αυτής της κινηματικής αλυσίδας εμφανώς επηρεάζεται και από την ηλικία. Ουσιαστικά διακρίνονται τέσσερις φάσεις ωρίμανσης, τις οποίες συμπτυκνωμένα εμφανίζουμε σε δύο (Winkstrom, 1977; Sherill, 2015):

Πρώιμη φάση

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ρίψης στην φάση αυτή είναι τα παρακάτω:

- Η ρίψη με δύο χέρια.
- Η ρίψη γίνεται χωρίς προβολή ποδιού.
- Κατόπιν παρατηρείται ομόπλευρη προβολή ποδιού με το χέρι ρίψης.

- Ο κορμός είναι στατικός και δεν παρατηρείται μεταφορά του βάρους στο πόδι ώθησης.
- Δεν παρατηρείται καμία κίνηση της λεκάνης.
- Το ίδιο για τον ώμο.
- Σε περίπτωση ρίψης με ένα χέρι, δεν παρατηρείται κίνηση του ώμου. Ο βραχίονας είναι κολλημένος στο σώμα και η ρίψη γίνεται μόνο από την άρθρωση του αγκώνα.

Ωριμη φάση

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ρίψης στην φάση αυτή είναι τα παρακάτω:

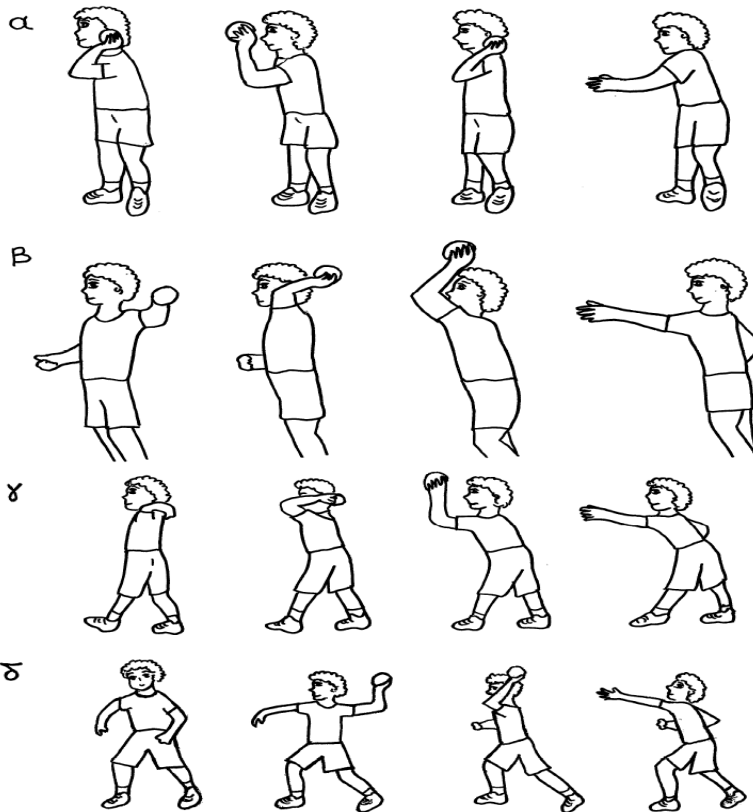
- Παγιώνεται η ρίψη με ένα χέρι.
- Παρατηρείται μία μετατόπιση του σώματος προς τα εμπρός.
- Το βάρος μεταφέρεται από το πίσω πόδι στο πόδι ρίψης.
- Η ρίψη γίνεται σταδιακά με προβολή του ετερόπλευρου ποδιού.
- Το βήμα είναι αρχικά μικρό και σταδιακά αυξάνει.
- Παρατηρείται στροφή της λεκάνης.
- Ο ώμος κινείται (εκτείνεται) προς τα πίσω.
- Ο αγκώνας κάνει κυκλική κίνηση από κάτω προς τα πίσω και πάνω.
- Η λεκάνη και ο ώμος κάνουν κίνηση προς τα εμπρός.
- Παρατηρείται διαφοροποίηση της πρόσθιας κίνησης λεκάνης-ωμού. Συγκεκριμένα, η λεκάνη προηγείται σε σχέση με τον ώμο.
- Η λεκάνη κάμπτεται πλευρικά, από την αντίθετη πλευρά του χεριού ρίψης.
- Ο βραχίονας βρίσκεται στην ίδια ευθεία με τον άξονα των ώμων και σχηματίζει ορθή γωνία με το σώμα σε όλη την διάρκεια της κίνησης του χεριού.
- Ο πήχης μένει πίσω από τον βραχίονα όταν αυτός κινείται προς τα εμπρός.
- Ακολουθεί ο πρηνισμός του πήχη.
- Η ρίψη ολοκληρώνεται με την κάμψη του καρπού.

Η επίδραση της ηλικίας στην ανάπτυξη της ικανότητας ρίψης φαίνεται στην Εικόνα 3.

Τα κομβικά σημεία της παραπάνω ανάλυσης είναι τα ακόλουθα:

- Το βασικότερο είναι ο σταδιακός διαχωρισμός της κίνησης της κάθε άρθρωσης από την άλλη, δηλαδή μία μετάβαση από την ταυτόχρονη κίνηση των αρθρώσεων (κατάσταση μπλόκ), στην διαδοχικά διακριτή κίνηση της κάθε άρθρωσης.

- ο Η πρόβλεψη της εξέλιξης της ρίψης είναι το ύψος απελευθέρωσης της μπάλας πάνω από τον ώμο, ο διαχωρισμός της κίνησης ώμου και ισχίου, αλλά και η έκταση του ώμου προς τα πίσω (Sgroi and Chalmers, 2015). Ουσιαστικά, το ξεκλείδωμα της κίνησης της κάθε άρθρωσης από την άλλη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.



Εικόνα 3: Ηλικιακή εξέλιξη της ρίψης (βασισμένο στον Winkstrom, 1977, από Κοτζαμανίδη, 2019).

Το φύλο

Η παλαιότερη βιβλιογραφία υποστήριζε ότι το κορίτσι υστερεί ποιοτικά και ποσοτικά στη ρίψη σε σχέση με το αγόρι. Χαρακτηριστική είναι η έρευνα των Sakurai και Miyashita (1983), οι οποίοι βρήκαν ποσοτικές διαφοροποιήσεις και συγκεκριμένα στην TAM από την ηλικία των 3 χρόνων.

Σύμφωνα με τον Ρορον (1982), η σταθεροποίηση της τεχνικής στα αγόρια έρχεται σχεδόν με την έναρξη της εφηβείας, ενώ στα κορίτσια εμφανίζεται μετά τα 15 έτη. Ο Winkstrom (1977) ανέφερε ότι η απόδοση μιας ενήλικης γυναίκας στη ρίψη συγκρίνεται με την ικανότητα ενός εφήβου στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής του. Ειδικότερα, οι Halverson και συν. (1982) αναφέρουν ότι ένα κορίτσι 11-12 χρόνων έχει την τεχνική ρίψης ενός αγοριού 6 χρόνων.

Οι Burton και συν. (1992) ανέφεραν ότι τα κορίτσια, από τα αρχικά στάδια, χρησιμοποιούσαν πιο πολύ τον ομόπλευρο βηματισμό και ρίψη με δύο χέρια. Οι Nelson και συν. (1991) ανέφεραν και ποιοτικές διαφορές σε σχέση με την συμμετοχή των αρθρώσεων κατά την ηλικιακή ωρίμανση της κινηματικής αλυσίδας. Με βάση αυτήν την λογική εξηγήθηκε γιατί τα κορίτσια, από πολύ νωρίς, χρησιμοποιούν την ωθητική ρίψη και όχι την μαστιγωτή ρίψη (Winkstrom, 1977; Nelson et al., 1986; 1991, Robertson et al 1984). Οι παραπάνω συγγραφείς ακόμη υποστήριξαν ότι, σε σημαντικό βαθμό, οι διαφορές αγοριών και κοριτσιών οφείλονται σε κοινωνικούς λόγους και συγκεκριμένα στην μικρότερη συμμετοχή του κοριτσιού στην κινητική δραστηριότητα. Αυτό μάλλον ισχύει για όλες τις σύνθετες κινήσεις, όχι όμως για την δύναμη (βλέπε το αντίστοιχο κεφάλαιο «Ανάπτυξη Δύναμης»).

Στην σύγχρονη βιβλιογραφία συνεχίζεται να υποστηρίζεται ότι συνεχίζουν να υφίστανται ποιοτικές και ποσοτικές διαφορές μεταξύ αγορών και κοριτσιών (Goodway and Lorson, 2008, Kompayasi et al 2016). Μία πρόσφατη επίσης δημοσίευση προτείνει ότι, κατά βάση, οι διαφορές αυτές είναι μόνο ποσοτικές, δηλαδή αφορούν την TAM (Gromeier et al., 2017). Παρόλα αυτά, οι ίδιοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα κορίτσια υστερούν στον βηματισμό, στον κορμό και στην κίνηση του ώμου προς τα πίσω. Επίσης, οι van der Tillaar και Ettema (2004) υποστήριξαν ότι, σε επίπεδο ενεργών αθλητών χειροσφαίρισης, δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στην TAM όταν αυτή ομαλοποιείται ως προς την σωματική μάζα και τη δύναμη. Το θέμα παραμένει ανοικτό προς μελέτη και χρειάζεται αρκετή έρευνα ακόμη για να τεκμηριωθεί αν οι διαφορές φύλου οφείλονται σε κινηματικές διαφορές ή στη διαφορά φυσικών χαρακτηριστικών μεταξύ ανδρών και γυναικών.

Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά

Δεν είναι θέμα πλήρως ξεκαθαρισμένο. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκε, σε σχετικά παλιά βιβλιογραφία, ότι τα μεγάλα ανθρωπομετρικά μεγέθη (ύψος, μήκος, χεριού, κτλ.), δηλαδή η αύξηση της ακτίνας περιστροφής θα προκαλούσε αύξηση

της TAM. Παρόλα αυτά, η έρευνα έδειξε αντιφατικά αποτελέσματα. Άλλοι ερευνητές έδειξαν θετικές συσχετίσεις (Bowne, 1960; Miyashita et al., 1980; Kotzamanidis et al., 2003; van de Tillaard and Ettema, 2004), ενώ άλλες έρευνες δεν έδειξαν συσχετίσεις (Joris et al., 1986).

Μια άλλη κατηγορία έρευνας στο θέμα αυτό προσπάθησε να συσχετίσει την ηλικία με την απόδοση. Σύμφωνα με τους Jancelic (1973), Winkstrom (1977), Powels (1976), και Toyoshima και Miyashita (1993), συσχετίσεις μεταξύ φυσικών και ανθρωπομετρικών δεδομένων παρουσιάστηκαν σε παιδιά μικρότερης ηλικίας και χαμηλότερης απόδοσης. Σε μεγαλύτερες ηλικίες, οι συσχετίσεις ελαχιστοποιήθηκαν, κυρίως λόγω της βελτίωσης της διαρθρικής μεταφοράς ενέργειας. Σε άλλη έρευνα, η συσχέτιση της TAM με τα ανθρωπομετρικά μεγέθη αποδόθηκε στην εξειδικευμένη προπόνηση χειροσφαίρισης (Guba et al., 1986). Σε πρόσφατες όμως έρευνες διαπιστώθηκαν θετικές συσχετίσεις μεταξύ ανθρωπομετρικών στοιχείων και TAM ανεξαρτήτου επιπέδου απόδοσης (Skoufas et al., 2003; Szymanski et al., 2010) και ηλικίας (Sgroi and Chalmers, 2015).

Γενικότερα, τείνει να γίνει αποδεκτό, με βάση τα παραπάνω, ότι η επίδραση των ανθρωπομετρικών και κινητικών ικανοτήτων στην TAM εξαρτάται:

- από το επίπεδο ικανότητας ρίψης,
- από το επιλεγόμενο στυλ ρίψης,
- από την ηλικία,
- από το μέγεθος της χρησιμοποιούμενης μπάλας.

Αυτό το στοιχείο δεν αναιρεί ότι, για τα ριπτικά αγωνίσματα, τα ανθρωπομετρικά μεγέθη δεν αποτελούν δείκτες επιλογής.

Επίδραση δύναμης και εκρηκτικότητας

Σε παλαιότερη βιβλιογραφία (Powels 1976; Toyoshima and Miyashita 1993) αναφερόταν ότι είτε δεν παρατηρείται συσχέτιση δύναμης ρίψης ή ότι αυτή παρατηρήθηκε σε άτομα μικρής ηλικίας ή σε αθλητές με χαμηλή συναρμοστική ικανότητα. Στους αθλητές υψηλής ριπτικής ικανότητας, κυρίαρχο στοιχείο ήταν η αποτελεσματικότητα της διαρθρικής μεταφοράς ενέργειας. Σε νεώτερες έρευνες σε ενήλικες αθλητές διαπιστώθηκαν τέτοιες συσχετίσεις, έστω και μικρές. Οι van den Tillaar και Ettema (2004) μέτρησαν την συνολική δύναμη του σώματος σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις της ριπτικής διαδικασίας από όρθια θέση και διαπίστωσαν θετικές συσχετίσεις. Κατά την γνώμη μου, το θέμα παραμένει ανοικτό προς μελέτη.

Επίδραση του μεγέθους της μπάλας

Η ριπτική ικανότητα σε μεγάλο βαθμό επηρεάζεται από το μέγεθος και το βάρος της μπάλας. Οι έρευνες των Burton και συν. (1992; 1993), έδειξαν ότι υπάρχει μια συσχέτιση της περιφέρειας της μπάλας (διάμετρος) και του μήκους της παλάμης ανά ηλικιακή περίοδο, η οποία επηρεάζει την ικανότητα απόδοσης. Πρότειναν μάλιστα ότι αυτή η σχέση διαμέτρου μπάλας και μήκους παλάμης, κατά ηλικία, δεν θα πρέπει να ξεπερνά τη μονάδα (≤ 1). Επίσης, ανέφεραν ότι, όταν αυτή η ποσοστιαία αναλογία είναι πτωτική, τότε υπάρχει μεγαλύτερη ευχέρεια χειρισμού της μπάλας και ενδεχομένως μεγαλύτερης ΤΑΜ. Όταν όμως θα έχει αυξητική τάση, δηλαδή η αναλογία ξεπερνά το 1,00-1,25, τότε θα αυξάνει η τάση ρίψης με δύο χέρια και η εφαρμογή της ωθητικής ρίψης παρά της μαστιγωτής. Χαρακτηριστικά, ο Jancelic (1973) πρότεινε, για να μπορούν στο χάντμπολ οι γυναίκες να χρησιμοποιούν μαστιγωτή ρίψη, η μπάλα να έχει διάμετρο 54-56 εκ. Επιπλέον, οι Burton και συν. (1992) πρότειναν, για κάθε νέο στάδιο μάθησης, η αναλογία παλάμης με διάμετρο μπάλας θα πρέπει να είναι αρχικά 0,25 και σταδιακά να φθάνει στο 1,00 έως και 1,25.

Πλευρικότητα και ρίψη

Είναι γνωστή η ταξινόμηση των εγκεφαλικών ημισφαιρίων σε επικρατούν και μη επικρατούν. Νευρομυϊκές μελέτες έχουν δείξει την καταλυτική επίδραση της συνεργασίας των δύο ημισφαιρίων στην απόδοση των κάτω ή άνω άκρων, όταν αυτά λειτουργούν ανεξάρτητα ή ταυτόχρονα (Kamen, 1992). Βρέθηκε ότι τα άκρα που νευρώνονται από το επικρατούν ημισφαίριο έχουν αυξημένη απόδοση σε σχέση με το μη επικρατούν. Αυτή η νευρομυϊκή λειτουργία έχει διαπιστωθεί ότι έχει γενετικό υπόβαθρο και εμφανίζεται κατά πολλούς ως τάση από τα αρχικά στάδια της ζωής (Ghirlanda and Vollortigara, 2004). Στη ρίψη, η πλευρικότητα εμφανίζεται χαρακτηριστικά από την ηλικία των 3-4 ετών (Teixeira and Gaspareto, 2002). Οι van den Tilaar και Ettema (2009) διαπίστωσαν ότι παρουσιάστηκε μία υστέρηση στις γωνιακές ταχύτητες των αρθρώσεων της αδύνατης πλευράς σε σχέση με την κυρίαρχη πλευρά, καθώς και μία καθυστέρηση στην έναρξη της αρθρικής κίνησης.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η μελέτη των Hoshikawa και Toyoshima (1976) για την πλευρικότητα στην ρίψη. Στη διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε μετρήθηκε η διαφορά σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις εκτέλεσης της ίδιας ρίψης. Συγκεκριμένα, μετρήθηκε η πλευρική ασυμμετρία στην:

- ολοκληρωμένη ρίψη,
- ρίψη χωρίς προβολή ποδιού,
- ρίψη μόνο με το χέρι,
- ρίψη μόνο με τον καρπό.

Η μεγαλύτερη διαφορά προέκυψε στην ολοκληρωμένη ρίψη, όπου το επικρατούν χέρι είχε διαφορά περίπου 30% από το μη επικρατούν. Οι διαφορές έτειναν να εξαφανιστούν στην ρίψη μόνο με τον καρπό, με διαφορά περίπου στο 1,5 με 2%. Διαφορές εντοπίστηκαν αναλογικά και στην κινηματική ακολουθία αλλά και στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα. Το σημαντικότερο, σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, ήταν ότι η προπόνηση ελαττώνει δραστικά τις διαφορές των άκρων στην ρίψη. Το δεδομένο αυτό είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί στον μακρόχρονο σχεδιασμό.

Προπόνηση ριπτικής ικανότητας

Μοντέλο ενηλίκων

Στους ενήλικες έχουν αναφερθεί οι παρακάτω μέθοδοι:

1. Χρήση πιο ελαφριάς και πιο βαριάς μπάλας (DeRenne and Szymanski, 2009 – Πίνακας 1). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μπάλες σταθερού μεγέθους, με τις οποίες έχει εξοικειωθεί ο ασκούμενος. Το περισσότερο ή λιγότερο βάρος δεν πρέπει να ξεπερνά το 20% της αγωνιστικής μπάλας, καθώς έχει αποδειχθεί από παλαιότερες έρευνες ότι η χρήση μπάλας βάρους 1 Kgr σε ρίψη με ένα χέρι αλλοιώνει την τεχνική της ρίψης (Muller, 1981) Ο μηχανισμός που προκαλεί την βελτίωση της TAM, σύμφωνα με τους DeRenne και Sozanski (2009), με την χρήση της μεθόδου αυτής είναι η βελτιστοποίηση της αρθρικής μεταφοράς ενέργειας. Συγκριμένα, στην σχέση δύναμης-ταχύτητας, με την χρήση ελαφρύτερης μπάλας βελτιώνεται η παράμετρος της ταχύτητας της κίνησης, ενώ με την χρήση πιο βαριάς μπάλας, βελτιώνεται η παράμετρος της δύναμης (Shin and Choi, 2018).

Πίνακας 1: Πρόγραμμα βελτίωσης της TAM με μπάλες βαρύτερες ή ελαφρύτερες κατά 20% του βάρους της μπάλας.

Ένταση TAM: Εκτέλεση ρίψης με Μέγιστη Ταχύτητα

Ποσότητα ρίψεων: 70 έως 100

Σετ: 6-10 ρίψεις ανά σετ

Διάλειμμα μεταξύ των ρίψεων: 1-2 min

Συχνότητα προπόνησης: 2-4 την εβδομάδα

Διάρκεια προγράμματος: από 2 έως 3 μήνες

Προϋπόθεση αυτής της μεθόδου προπόνησης είναι η διάμετρος της μπάλας να παραμένει ίδια με την αγωνιστική μπάλα και να έχει χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα από τον παίκτη.

Παραλλαγές του προγράμματος αυτού είναι:

- Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να γίνεται συνδυαστικά, δηλαδή ανά σετ να αλλάζει το βάρος της μπάλας. Από τη βαρύτερη στην ελαφρύτερη μπάλα, στην κανονική κλπ.
 - Αν για κάποιους λόγους δεν μπορεί να γίνει συστηματικά η προπόνηση αυτή, τότε προτείνεται στην διάρκεια της προπόνησης να χρησιμοποιούνται οι παραπάνω αναφερόμενες μπάλες.
 - Τα πειράματα έγιναν κυρίως με μπάλες του μπέιζμπολ και χειροσφαίρισης.
2. Ρίψη με περιχειρίδες στον πήχη και τον βραχίονα, αθροιστικού βάρους στο 20% του βάρους της μπάλας. Τα ποσοτικά δεδομένα της μεθόδου αυτής είναι παρεμφερή με το πρόγραμμα που αναφέρεται στον Πίνακα 1. Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε μία περιχειρίδα στον πήχη και μία άλλη στον βραχίονα. Το συνολικό βάρος ήταν 20 % μεγαλύτερο της συνηθισμένης μπάλας χειροσφαίρισης. Το πρόγραμμα είχε ως αποτέλεσμα την θεαματική βελτίωση της TAM (Kotzamanidis et al., 2003, Σκούφας 2003).
3. Προπόνηση ενδυνάμωσης με εξωτερικές αντιστάσεις. Για την βελτίωση της TAM με την χρήση εξωτερικών αντιστάσεων έχουν αναφερθεί οι μέθοδοι που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 (Ettema et al., 2008; Hermassi et al., 2011; 2015; 2019; van der Tillaar, 2004).

Πίνακας 2. Μέθοδοι προπόνησης βελτίωσης της TAM με την χρήση εξωτερικών αντιστάσεων.

Τύπος Προπόνησης	Ένταση
Χρήση αντιστάσεων υψηλής έντασης	80-90% του 1 RM
Συνδυαστικό πρόγραμμα αντιστάσεων υψηλής έντασης με ρίψεις	Εντάσεις 80-90% του 1 RM κα ακολουθούν 20-30 ρίψεις μετά το πρόγραμμα ενδυνάμωσης Οι ρίψεις μπορούν να εκτελούνται και ανάμεσα στα σετ.
Πρόγραμμα ενδυνάμωσης εκρηκτικού και υπερ-εκρηκτικού χαρακτήρα (π.χ. με εκτίναξη της μπάρας)	Επιλογή εντάσεων από 30-60% του 1 RM
Πυραμιδική προπόνηση (π.χ. άσκηση πάγκου)	Επιλέγονται οι παρακάτω εντάσεις/σετ: 40, 50, 60, 70% του 1 RM Χρήσιμο θα ήταν: <ul style="list-style-type: none"> • Η εκτέλεση των σετ να μην γίνονται με διαδοχική σειρά αλλά με τυχαία επιλογή • Ο παίκτης να μην ξέρει σε ποια ένταση θα εκτελέσει την άσκηση (Sabido et al. 2016). • Η εκτέλεση του κάθε σετ να γίνεται με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης

Οι ασκήσεις ενδυνάμωσης που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- Η άσκηση πάγκου, με ανοικτή λαβή κυρίως, γιατί θα πρέπει να επιδιώκεται η ενεργοποίηση του Μείζονα Θωρακικού και του Πλατύ Ραχιαίου μυός.
- Η άσκηση «pull over».
- Η άσκηση «βαρούλκο» για τους ώμους, δηλαδή η έλξη υπερυψωμένης αντίστασης που προσομοιάζει πλήρως με την άσκηση της ρίψης. Η άσκηση αυτή κυρίως χρησιμοποιείται στο εκρηκτικό πρόγραμμα με τις εντάσεις από 30-60% του 1 RM. Χρειάζεται προσοχή όμως στο να είναι ακριβής η εκτέλεση της κίνησης.

- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η βελτίωση της εκρηκτικής ικανότητας των κάτω άκρων επηρεάζει θετικά την TAM (Kotzamanidis et al., 1995).

Προπόνηση στην παιδική ηλικία

Στην Προκαταρκτική φάση, αρχική επιλογή ρίψης ως βάση για κάθε εξειδικευμένη προπόνηση ρίψεων διαφόρων τύπων είναι η ρίψη πάνω από τον ώμο (overarm throw). Επειδή οι παιγνιώδεις μορφές άσκησης για τον σκοπό αυτό αποτελούν την βάση για την μάθηση, θα πρέπει να προτιμηθούν παιγνιώδεις ασκήσεις που εμπεριέχουν ρίψη. Οι ασκήσεις επιδεξιότητας έχουν πρωτεύοντα ρόλο. Βέβαια, μπορεί να ακολουθηθούν και οι κλασικές μορφές διδασκαλίας που θα αναπτυχθούν σε αλλά κεφάλαια. Παρόλα αυτά, έχουν προταθεί διάφοροι μέθοδοι, με αντιπροσωπευτικότερη όλων την Διαλειμματική Ριπτική Προπόνηση (Interval Throwing Training-ITT: Cisco et al., 2019). Είναι πρόγραμμα παρεμφερές με αυτό του Πίνακα 1. Απλά, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο παράμετροι που σχετίζονται με την αποτροπή των τραυματισμών. Συγκεκριμένα, η ποσότητα των ρίψεων και η ταχύτητα των ρίψεων. Επειδή για την ταχύτητα ρίψεων χρειάζεται όργανο μέτρησης, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η απόσταση ρίψης. Επομένως, βασική προϋπόθεση για την χρήση αυτής της μεθόδου είναι τα παρακάτω στάδια (Πίνακας 3):

Πίνακας 3. Στάδια εφαρμογής της Διαλειμματικής Ριπτικής Προπόνησης.

Στάδιο 1:	Μέτρηση της μέγιστης ατομικής ριπτικής απόστασης.
Στάδιο 2:	Αρχική απόσταση ρίψης το 70-80% της μέγιστης που σταδιακά θα αυξάνει.
Στάδιο 3:	Αρχική ποσότητα: 70 ρίψεις.
Στάδιο 4:	10 ρίψεις ανά σετ.
Στάδιο 5:	Διάλειμμα ανά σετ: 2 min.
Στάδιο 6:	Αριθμός ρίψεων: 90 με απόσταση ρίψης μέγιστη.

Επίσης, έχουν αναφερθεί οι παρακάτω μέθοδοι αναφορικά με την φυσική κατάσταση όπως:

- Προπόνηση ενδυνάμωσης πυραμιδικού τύπου με 50-70-80% του 1 RM (Μαμάσης, 2005).

- Πλειομετρική προπόνηση. Το πρόγραμμα αυτό είναι γνωστό και ως “ballistic six” (Pretz, 2004), γιατί περιλαμβάνει έξι εκρηκτικές κινήσεις των άνω άκρων με χρήση λάστιχων, ιατρικής μπάλας και αγωνιστικής μπάλας, που εκλαμβάνονται ως πλειομετρικές ασκήσεις. Εφαρμόστηκε κυρίως στο μπέιζμπολ. Βρήκε εφαρμογή και σε αθλητές πετοσφαίρισης παιδικής ηλικίας (Turgut et al., 2019). Το πρόγραμμα είχε διάρκεια 12 εβδομάδων με την κάθε άσκηση να εκτελείται σε σετ 30-40 sec (αριθμός σετ: 1-3 και διάλειμμα το ίδιο με την διάρκεια του σετ). Εκτιμώ ότι δεν πρόκειται για πλειομετρική άσκηση.

Κεντρικά σημεία του κεφαλαίου

- Η προπόνηση τεχνικής και επιδεξιότητας πρέπει να αποτελεί βασικό συστατικό της άσκησης και ιδιαίτερη της βελτιστοποίησης της διαρθρικής μεταφοράς ενέργειας
- Μεγαλύτερη έμφαση να δοθεί στη διαδοχικότητα της κίνησης των αρθρώσεων του κορμού και του ώμου.
- Για το παραπάνω ζήτημα, μεγαλύτερη έμφαση να δοθεί στο κορίτσι
- Θα πρέπει να διευρυνθεί η χρήση των μεθόδων φυσικής κατάστασης που στοχεύουν στην βελτίωση της ισχύος, με έμφαση στην ενδυνάμωση με εξωτερικές αντιστάσεις.

Βιβλιογραφία

- Βαρελτζής, Ι., 2008. Επίδραση της χρονολογικής ηλικίας σε κινηματική της ρίψης σε αγόρια 8-17 ετών. Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΤΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ, Αθήνα.
- Bowne, M.E., 1960. Relationship to selected measures of acting body levers to ball throwing velocities. Res. Q. 23, 392-402.
- Burton, A.W., Greer, N.L., Wiese, D.M., 1992. Changes in overhand throwing patterns as a function of ball size. Ped. Exer. Sci. 4, 50-67.
- Burton, A.W., Greer, N.L., Wiese-Bjornstal, D.M., 1993. Variations in grasping and throwing patterns as a function of ball size. Ped. Exer. Sci. 5(1), 25-41.

- Cisco, S., Semon, M.M., Moraski, P., Smith, J., Thorndike, C., 2019. Distance-based throwing programs for baseball players from little league to high school. *Ped. Phys. Ther.* 31(3), 297-300.
- DeRenne, C., Szymanski, D., 2009. Effects of baseball weighted implement training: A brief review. *Strength Cond. J.* 31(2), 30-37.
- Ettema, G., Glosen, T., van den Tillaar, R., 2008. Effect of specific resistance training on overarm throwing performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 3, 164–175.
- Ghirlanda, S., Vallortigara, G., 2004. The evolution of brain lateralization: a gametheoretical analysis of population structure. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271, 853–857.
- Goodway, J.D., Lorson, K.M., 2008. Gender differences in throwing form of children ages 6-8 years during a throwing game. *Res. Q. Exerc. Sport* 79, 174–182.
- Gromeier, M., Koester, D., Schack, T., 2017. Gender differences in motor skills of the overarm throw. *Front. Physiol.* 8, 212.
- Guba, I., Dohorov, D., Kruglov, C., Legongov, C., 1986. Vlianie razvitia morfo funkcionalnih vazmoznosti lounih voleibolistov na vipalnenie spetzialnie umeniet. *Teoria i Practica Fizitzeskoi Koultouri* 12, 13-26.
- Halverson, L.E., Robertson, M.A., Langendorfer, S., 1982. Development of the overarm throw: movement and ball velocity changes by seventh grade. *Res. Q. Exerc. Sport* 53, 198–205.
- Hermassi, S., Chelly, M.S., Tabka, Z., Shephard, R.J., Chamari, K., 2011. Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *J. Strength Cond. Res.* 25, 2424–2433.
- Hermassi, S., Ghaith, A., Schwesig, R., Shephard, R.J., Chelly, M.S., 2019. Effects of short-term resistance training and tapering on maximal strength, peak power, throwing ball velocity, and sprint performance in handball players. *PLOS one*, 14(7), e0214827.
- Hermassi, S., van den Tillaar, R., Khlif, R., Chelly, M.S., Chamari, K., 2015. Comparison of in-season-specific resistance vs. a regular throwing training program on throwing velocity, anthropometry, and power performance in elite handball players. *J. Strength Cond. Res.* 29(8), 2105–2114.

- Hoshikawa, T., Toyoshima, S., 1976. Contribution of body segments to ball velocity during throwing with nonpreferred hand. In Komi, P.V., (Ed.). *Biomechanics V-B*, pp. 109-117. University Park Press, Baltimore.
- Jancelic, J., 1973. Biomechaniske karakteristike sutiranja bicem. In VI Skola Rukometasu. Beograd.
- Joris, H., Muyen, V., Schenau, G., Kenper, H., 1986. Force velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *J. Biomech.* 18(6), 409-444.
- Kamen, G., 1992. Lateral dominance and motor unit firing behavior. *Brain Res.* 576, 165-167.
- Kobayashi, Y., Ae, M., Miyazaki, A., Fujii, N., Iiboshi, A., Nakatani, H. 2016. Kinetics of throwing arm joints and the trunk motion during an overarm distance throw by skilled Japanese elementary school boys. *Sports Biomech.* 15(3), 314-328.
- Κοτζαμανίδης, Χ., 2019. Θεωρία και μεθοδική του Χάντμπολ: Μία προπονητική και παιδαγωγική παρέμβαση. Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη ΑΕ, Θεσσαλονίκη.
- Kotzamanidis, C., Karakehagias, A., Kyparos, A., Giavroglou, A., Tsarouhas, E., 1995. The relationship between the physical and strength variables of the lower limbs and the velocity of ball release in various types of handball throws. *Eur. Handball* 2, 25-30.
- Kotzamanidis, C., Skoufas, D., Michailidis, H., Hatzikotulas, K., Patikas, D., Koutras, G., Kollias, H., 2003. Upper limb segment loading: the effect of training on the throwing velocity of novice handball players. *J. Hum. Mov. Stud.* 45, 97-114.
- Μαμάσης, Γ., 2005. Η επίδραση της ανατροφοδότησης του προπονητή, μιας ψυχολογικής παρέμβασης, της προπόνησης δύναμης και του συνδυασμού της στην ταχύτητα του σερβίς σε νεαρούς αθλητές αντισφαίρισης. Διδακτορική διατριβή, ΤΕΦΑΑ-ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Miyashita, M., Tsunoda, T., Sakurai, S., Nishizono, H., Mizuno, T., 1980. Muscular activities in the tennis serve and overhand throwing. *Scand. J. Sports Sci.* 2(2), 52-58.
- Muller, E., 1981. Zur bewegungsübertragung des wurfbewen-gungen. *Leistungsport* 12, 314-322.

- Nelson, J.K., Thomas, J.R., Nelson, K.R., Abraham, P.C., 1986. Gender differences in children's throwing performance: Biology and environment. *Res. Q. Exerc. Sport* 57, 280-287.
- Nelson, K.R., Thomas, J.R., Nelson, J.K., 1991. Longitudinal change in throwing performance: Gender differences. *Res. Q. Exerc. Sport* 62, 105-108.
- Popov, I., 1982. Untersuchungen uber die leistungsfahigkeit der vor schulkinder im lauf, sprung and wurf. *Theorie und Praxis der Korper Kultur* 4, 8-16.
- Powels, J., 1976. The relationship between somatic development and motor ability and the throwing velocity in handball for secondary school students. *Biomechanics of Sport and Kinanthropometry. International Congress of Physical Activity Sciences. Quebec*, 211-221.
- Pretz, R., 2004. "Ballistic Six" Plyometric Training for the overhead throwing athlete. *Strength Cond. J.* 26(6), 62-66.
- Robertson, M.A., 1984. Changing motor patterns during childhood. In Thomas, J.R. (Ed.), *Motor development during childhood and adolescence*, 480-490. Burgess, Minneapolis.
- Sabido, R., Hernández-Davó, J.L., Botella, J., Moya, M., 2016. Effects of 4-week training intervention with unknown loads on power output performance and throwing velocity in junior team handball players. *PLOS One* 11(6), e0157648.
- Sakurai, S., Miyashita, M., 1983. Developmental aspects of over arm throwing related to age and sex. *Hum. Mov. Sci.* 1-2, 67-76.
- Sgroi, T., Chalmers, P., 2015. Predictors of throwing velocity in youth and adolescent pitchers. *J. Shoulder Elbow Surg.* 24, 1339-1345.
- Sherill, C., 2016. Προσαρμοσμένη φυσική δραστηριότητα, Αναψυχή και Σπορ (μετάφραση: Ευαγγελινού, Χ.). Εκδόσεις Πασχαλίδης, Αθήνα.
- Shin, Y.A., Choi, W.H., 2018. Effects of weighted baseball throwing during warm-up on ball velocity and upper extremity muscle activation in baseball pitchers. *J. Exerc. Rehab.* 14(3), 436-444.
- Skoufas, D., Kotzamanidis, C., Hatzikotulas, K., Bebetos, G., Patikas, D., 2003. The relationship between the anthropometrics variables and the throwing performance in handball. *J. Hum. Mov. Stud.* 45, 469-484.

- Σκούφας Κ. Δημήτριος «Αξιολόγηση μεθόδων προπόνησης για τη βελτίωση της ταχύτητας απελευθέρωσης της μπάλας στη βασική ρίψη χωρίς άλμα» Θεσσαλονίκη, 2003 Το κεφάλαιο αυτό δημοσιεύτηκε σε πρώτη μορφή στο Κοτζαμανίδης Χ Σημειώσεις «Προπονητικής αναπτυξιακών ηλικιών, 2015 ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ» με τίτλο «Προπόνηση Αλτικότητας»
- Szymanski, D.J., Szymanski, J.M., Schade, R.L., Bradford, T.J., McIntyre, J.S., DeRenne, C., Madsen, N.H., 2010. The relation between anthropometric and physiological variables and bat velocity of high-school baseball players before and after 12 weeks of training. *J. Strength Cond. Res.* 24(11), 2933-2943.
- Teixeira, L., Gasparetto, E., 2002. Lateral asymmetries in the development of the overarm throw. *J. Motor Behavior* 34(2), 151-160.
- Toyoshima, T., Miyashita, M., 1993. Force-velocity relation in throwing. *Res. Q.* 44(1), 87-95.
- Turgut, E., Cinar-Medeni, Colakoglu, F.F., Baltaci, G., 2019. “Ballistic Six” upper-extremity plyometric training for the pediatric volleyball players. *J. Strength Cond. Res.*, 33(5), 1305–1310.
- van den Tillaar, R., 2004. Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: A brief review. *J. Strength Cond. Res.* 18, 388–396.
- van den Tillaar, R., Ettema, G.Z., 2004. Effect of body size and gender in overarm throwing performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 91, 413–418.
- van den Tillaar, R., Ettema, G., 2009. A comparison of overarm throwing with the dominant and nondominant arm in experienced team handball players. *Percept Mot Skills* 109(1), 315-326.
- Wagner, H., Buchecker, M., Duvillard, S.P., Muller, E., 2010. Kinematic description of elite vs. low level players in team-handball jump throw. *J. Sports Sci. Med.* 9, 15-23.
- Wagner, H., Pfusterschmied, U., Von Duvillard, S.P., Muller, E., 2012. Skill-dependent proximal-to-distal sequence in team-handball throwing. *J. Sports Sci.* 30(1), 21–29.
- Winkstrom, R.L., 1977. *Fundamental motor pattern* (2nd edition). Lea & Febiger, Philadelphia.
- Zatziorski, V., Lanka, E., Shalmanov, A., 1981. Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 9, 353-389.

Ανάπτυξη και προπόνηση αλτικότητας⁸

Κοτζαμανίδης Χρήστος, Παπαβασιλείου Αναστασία

Περίληψη

Το άλμα είναι μια σύνθετη πολυαρθρική κίνηση. Η κίνηση του άλματος ξεκινάει από το ισχίο και ολοκληρώνεται από την ποδοκνημική άρθρωση. Επηρεάζεται από μία σειρά παράγοντες όπως είναι η διαρθρική μεταφορά ενέργειας, η σκληρότητα του μυοτενοντίου συμπλέγματος, το νευρικό σύστημα, η ηλικία και το φύλο. Η αλτικότητα στην παιδική ηλικία βελτιώνεται από μεθόδους παρεμφερείς με εκείνες των ενηλίκων, όπως η προπόνηση ενδυνάμωσης, τα συνδυαστικά προγράμματα ενδυνάμωσης και η πλειομετρική προπόνηση. Σημαντικό επίσης είναι ότι οι μέθοδοι αυτοί και ειδικότερα η πλειομετρική προπόνηση συμβάλλουν στη υγεία των παιδιών.

Εισαγωγή

Αλτικότητα είναι η ικανότητα του Νευρο-Μυϊκού συστήματος να απογειώνει τον άνθρωπο. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής λέγεται άλμα. Θα πρέπει να τονισθεί ότι λέγοντας μυϊκό εννοούμε και τον τένοντα, ο οποίος θεωρείται σημαντικός μηχανικός παράγοντας για την κίνηση, πέραν του μυός και του ΚΝΣ, ιδιαίτερα η αρχιτεκτονική του μυός που θα αναλυθεί παρακάτω. Γι' αυτό και θα πρέπει να χρησιμοποιούμε τον όρο Μυοτενόντιο σύμπλεγμα.

Παρατηρείται μεγάλη ποικιλία αλμάτων:

- Κατακόρυφα.
- Οριζόντια προς τα εμπρός.
- Πλάγια.
- Προς τα πίσω.

8. Το κεφάλαιο αυτό δημοσιεύτηκε σε πρώιμη μορφή στο Κοτζαμανίδης Χ Σημειώσεις «Προπονητικής αναπτυξιακών ηλικιών, 2015 ΤΕΦΑΑ, ΑΠΘ» με τίτλο «Προπόνηση Αλτικότητας».

Επίσης, ανάλογα με το αριθμό των ποδιών που χρησιμοποιούνται, διακρίνεται σε άλμα με:

- ώθηση με το ένα πόδι,
- ώθηση με τα δύο πόδια.

Ακόμη, διακρίνονται δύο τύποι αλμάτων που εκτελούνται:

- με τα χέρια κολλημένα στο σώμα,
- με αιώρηση των χεριών.

Με βάση την στρατηγική του στόχο αναπήδησης διακρίνονται δύο ακόμη τύποι αλμάτων (Arampatzis et al., 2001):

- Στόχος η μεγιστοποίηση του άλματος: ανταποκρίνεται στην εντολή πήδα όσο πιο ψηλά μπορείς.
- Στόχος η ταχύτητα της εκτέλεσης του άλματος: ανταποκρίνεται στην εντολή πήδα όσο μπορείς πιο γρήγορα.

Η πρώτη στρατηγική δίνει υψηλότερο άλμα, αλλά είναι πιο αργό σε σχέση με την δεύτερη περίπτωση. Στην δεύτερη περίπτωση το άλμα είναι πιο γρήγορο αλλά μικρότερου ύψους. Το υψηλότερο από τα δύο είναι το άλμα που εκτελείται με αιώρηση χεριών όπως θα εξηγηθεί παρακάτω. Στην πράξη το άλμα με αιώρηση είναι συνηθέστερο, ενώ το άλμα χωρίς αιώρηση των χεριών χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση.

Σημαντικό είναι να σχολιασθεί ότι τα άλματα προσαρμόζονται στην διακύμανση ενός αγώνα. Ιδιαίτερα στα ομαδικά αθλήματα, παρατηρείται ένας άπειρος συνδυασμός των παραπάνω κατηγοριών άλματος, στα πλαίσια των αναγκών του αγώνα. Εκεί επιλέγεται το άλμα που δίνει την ευνοϊκότερη λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Για παράδειγμα, είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο η απογείωση με διαγώνια και όχι κατακόρυφη κατεύθυνση. Στη διάρκεια ενός αγώνα βέβαια προστίθεται και η φορά. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό, αν ληφθεί υπόψη ότι η φορά αυξάνει το άλμα. Ο βασικός μηχανισμός των αλμάτων των παραπάνω αναφερόμενων τύπων, ιδιαίτερα στην κινηματική διαδικασία, είναι ίδιος. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση παρατηρείται στο επίπεδο ενεργοποίησης των μυών.

Χρήσιμο επίσης είναι να αναφερθεί ότι η αξιολόγηση του άλματος γίνεται κατά βάση με τις παρακάτω μεθόδους:

- Ποσοτική ανάλυση, όπου αξιολογούνται:
 1. Το ύψος της αναπήδησης, συνήθως σε εκ.

2. Με χρήση δυναμοδαπέδων οι μηχανικές παράμετροι όπως π.χ. η εφαρμοζόμενη δύναμη, ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης, ο χρόνος ώθησης, η ισχύς, το έργο, η ταχύτητα απογείωσης κλπ.
 3. Με τη χρήση συστήματος δισδιάστατης ή τρισδιάστατης ανάλυσης κίνησης μέσω, κατά προτίμηση, καμερών, όπου αξιολογούνται τα κινηματικά στοιχεία των αρθρώσεων, π.χ. εύρος της αρθρικής κίνησης, ροπές περί των αρθρώσεων, γωνιακές ταχύτητες και επιταχύνσεις.
- Ποιοτική ανάλυση, που είναι των επιμέρους κινήσεων των μελών σώματος στην διάρκεια του άλματος και γίνεται με παρατήρηση και αξιολόγηση της κίνησης του κάθε μέλους του σώματος, από 2-3 παρατηρητές, όπου ανάλογα με το επίπεδο αξιολόγησης υπάρχει μία κλίμακα από 0-3 ή 0-5. Η μέθοδος αυτή λέγεται Component Analysis (Winkstrom, 1977).

Παράγοντες που επηρεάζουν την αλτικότητα

Μηχανική μεταφορά ενέργειας

Ο βασικός μηχανισμός που επηρεάζει την αλτικότητα είναι η ικανότητα μεταφοράς ενέργειας από άρθρωση σε άρθρωση, όπως συμβαίνει σε κάθε σύνθετη κίνηση. Αυτή η ικανότητα επηρεάζεται από την συντονιστική ικανότητα των κάτω άκρων. Γι' αυτό, σε κάθε σύνθετη κίνηση, υπάρχει η άρθρωση που προκαλεί την έναρξη της κίνησης και η τελική άρθρωση, από την οποία ολοκληρώνεται η κίνηση. Για το άλμα, οι αρθρώσεις αυτές κατά χρονική σειρά είναι:

- του ισχίου,
- του γόνατος,
- της ποδοκνημικής.

Προϋποθέσεις για την πιο πετυχημένη μεταφορά ενέργειας γενικά είναι:

- Η συμμετοχή όσο το δυνατόν μεγαλύτερου αριθμού αρθρώσεων στην κίνηση. Για παράδειγμα, το άλμα είναι μεγαλύτερο όταν συμμετέχουν οι αγωνιστές μύες όλων των αρθρώσεων που προαναφέρθηκαν, αλλά με την παρακάτω σειρά: Μύες περί του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής (Bobbert and van Ingen Schenau, 1988). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι όλες οι παραπάνω αναφερόμενες αρθρώσεις πρέπει να έχουν μία προκαταρκτική, αλλά ευνοϊκή κάμψη. Οι μύες της κάθε άρθρωσης έχουν την δική τους συνεισφορά στο άλμα. Στην άρθρωση του γόνατος παράγεται το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ενέρ-

γειας που απαιτείται για το άλμα σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο αρθρώσεις. Για τον παραπάνω λόγο, το άλμα από ημικάθισμα (SJ) που εκτελείται π.χ. μόνο με την άρθρωση της ποδοκνημικής είναι μικρότερο αναφορικά με το άλμα που συμμετέχει και το γόνατο και το ισχίο. Ουσιαστικά, θα εκτελείται μόνο με την συνεισφορά ενέργειας μόνο από τους μύες της ποδοκνημικής άρθρωσης.

- Η κάμψη της κάθε άρθρωσης που συμμετέχει στο άλμα. Ένα άλμα θεωρείται πετυχημένο όταν στην τελική φάση της ώθησης όλες οι αρθρώσεις είναι σε πλήρη έκταση. Πριν την απογείωση, στην προπαρασκευαστική φάση, η κάθε άρθρωση θα πρέπει να έχει την ευνοϊκή προκαταρκτική κάμψη. Για παράδειγμα, το ισχίο πάντα πρέπει να είναι σε κάμψη. Όταν ο κορμός είναι τεντωμένος από την αρχή της αλτικής διαδικασίας, τότε η άρθρωση του ισχίου δεν έχει καμία συνεισφορά στο άλμα και, κατ' επέκταση, το άλμα είναι μικρότερο.
- Ο χρόνος επίτευξης των μέγιστων γωνιακών ταχυτήτων των αρθρώσεων που συμμετέχουν στην κίνηση δεν θα πρέπει να συμπίπτουν. Αυτό είναι μια γενική αρχή που ισχύει για όλες τις σύνθετες κινήσεις (Zatziorsky et al., 1981). Έτσι, για το άλμα, πρώτα θα αποκτήσει την σχετικά μέγιστη ταχύτητά της η άρθρωση του ισχίου, κατόπιν του γόνατος και στο τέλος της ποδοκνημικής. Ουσιαστικά, αυτή η διαδικασία σκοπεύει στην εκτέλεση βέλτιστων διαδοχικών κινήσεων, όπου μια βέλτιστη παραγωγή ενέργειας θα παραχθεί και θα μεταφερθεί διαρθρικά για να αυξηθεί το άλμα. Οι μέτριοι άλτες καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια με μικρότερο αποτέλεσμα λόγω της μη αποτελεσματικής μεταφορά ενέργειας. Βρέθηκε ότι το παιδί καταναλώνει 10% περισσότερη ενέργεια από τους ενήλικες, ενώ έχει μικρότερη αλτική απόδοση (Villagra et al., 1993).
- Οι μύες που κατά βάση συμβάλουν περισσότερο στην μεταφορά ενέργειας από άρθρωση σε άρθρωση είναι οι λεγόμενοι διαρθρικοί μύες (Van Soest et al., 1993), δηλαδή αυτοί που διαπερνάνε από δυο αρθρώσεις πριν καταλήξουν στην κατάφυση. Παράδειγμα για την ποδοκνημική άρθρωση: οι γαστροκνήμιοι μύες είναι διαρθρικοί μύες, γιατί εκφύονται από την οπίσθια πλευρά του μηριαίου οστού, προσπερνούν την άρθρωση του γόνατος και καταφύονται στην ποδοκνημική. Ο υποκνημίδιος μυς είναι μονοαρθρικός γιατί εκφύεται από την κνήμη και καταφύεται στην ποδοκνημική άρθρωση. Άλλοι διαρθρικοί μύες που συμβάλουν στην διαδικασία μεταφοράς ενέργειας είναι ο ορθός μηριαίος και οι καμπτήρες μύες του γόνατος.

- Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το άλμα που εκτελείται με αιώρηση χεριών είναι υψηλότερο 15-20%. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην ενέργεια που προσθέτουν τα άνω άκρα και ο κορμός σε αυτήν, που παράγεται και μεταφέρεται από τα κάτω άκρα, σε ένα ποσοστό περίπου κατά 30% της συνολικής παραγόμενης (Hara et al., 2006).
- Νευρομυϊκός παράγοντας: Σημαντικός παράγοντας μεγιστοποίησης του άλματος είναι η βέλτιστη ενεργοποίηση των αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών. Για παράδειγμα, οι ενήλικες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργοποίηση αγωνιστών μυών και μικρότερη ανταγωνιστική δραστηριότητα (Lazaridis et al., 2010; 2013).
- Αρχιτεκτονική μυός: Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η επίδραση της μορφολογίας του μυός, τα δομικά στοιχεία του και η σκληρότητα του Μυοτενόντιου Συμπλέγματος. Αρχικά, το ερώτημα του άλματος αντιμετωπιζόταν από το ποιός τύπος μυϊκής ίνας είναι ο ευνοϊκότερος, ο αργός ή ο γρήγορος. Η απάντηση ήταν σαφής: οι μύες που έχουν μεγαλύτερη κατανομή γρήγορων μυϊκών ινών. Παρόλα αυτά, διαπιστώθηκε από την μελέτη της αρχιτεκτονικής μυός ότι η κατανομή των μυϊκών ινών δεν είναι επαρκής να ερμηνεύσει αποκλειστικά την εκρηκτικότητα του μυός γενικότερα και ειδικότερα την αλτικότητα. Την επηρεάζουν τα παρακάτω δομικά στοιχεία (Radnor et al., 2018):
 - Το μήκος της μυϊκής ίνας.
 - Το εύρος της μυϊκής ίνας.
 - Η γωνία που προσφύεται η μυϊκή ίνα στον τένοντα.
 - Το μήκος του τένοντα.
 - Το εύρος του τένοντα.

Από τα παραπάνω στοιχεία, άλλα επηρεάζουν την εκρηκτικότητα άμεσα, όπως π.χ. το μήκος της μυϊκής ίνας και άλλα τη δύναμη, όπως είναι το εύρος της μυϊκής ίνας και η γωνία πρόσφυσης της μυϊκής ίνας. Το μήκος του τένοντα καθορίζει την ταχύτητα μεταφοράς της ελαστικής ενέργειας.

Σημαντικό είναι να σχολιασθεί και η σκληρότητα του μυοτενόντιου συμπλέγματος. Η σκληρότητα του μυοτενόντιου συμπλέγματος είναι η ευκολία με την οποία αυτό διατείνεται. Για την κατανόηση του θέματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο τένοντας διατείνεται και επανέρχεται στην αρχική του θέση, κάτω από την επίδραση ενός μηχανικού παράγοντα όπως είναι η εξωτερική δύναμη. Διαπιστώθηκε ότι, όταν το μυοτενόντιο σύμπλεγμα διατείνεται ευνοϊκά (Arampatzis et

al., 2001), είναι πιο αποδοτικό για το άλμα, γιατί μεταφέρει πιο γρήγορα την παραγόμενη ενέργεια στο οστό. Επίσης, η πλήρης σκληρότητα πάλι είναι αρνητικό φαινόμενο.

Παράμετροι δύναμης

- **Δύναμη:** Το θέμα αυτό είναι αντιφατικό. Υπάρχουν δημοσιεύσεις που ανέφεραν χαμηλές έως μέτριες συσχετίσεις μεταξύ εφαρμογής δύναμης και άλματος (Ugarkovic et al., 2002; Wisloff et al., 1998; 2004). Υπάρχουν όμως και έρευνες που δεν διαπίστωσαν συσχετίσεις (Matić and Ranisavljević, 2019). Σε άλλη έρευνα βρέθηκε ότι παρουσιάζονται συσχετίσεις άλματος με δύναμης που παράγεται σε ταχύτητες μεγαλύτερες των $180^\circ/\text{sec}$, αλλά όχι σε πιο αργές των $180^\circ/\text{sec}$ (Rouis et al., 2015). Έρευνες όμως που χρησιμοποίησαν σύνθετες στατιστικές αναλύσεις, όπως την παραγοντική ανάλυση και την ανάλυση παραγόντων, δεν βρήκαν συσχετίσεις (Kollias et al., 2001; Markovic and Jaric, 2007). Οι ερευνητές όμως επισημαίνουν ότι οι πιο σημαντικοί παράγοντες βάσει των οποίων παρουσιάζονται συσχετίσεις για το άλμα είναι η παραγόμενη ισχύς (Barker et al., 2018) και η δύναμη ώθησης (Panoutsakopoulos et al., 2014) και όχι η δύναμη αυτή καθαυτή. Ενστερνίζομαι τη λογική αυτή, διότι η ταχύτητα απογείωσης κυμαίνεται κατά βάση από 300 έως $500^\circ/\text{sec}$ (Rouis et al., 2015), ενώ η ταχύτητα της παραγόμενης δύναμης είναι πολύ πιο αργή. Το ίδιο ισχύει και για τις αναφερόμενες συσχετίσεις μυϊκής μάζας με σύνθετες κινήσεις (Methenitis et al., 2016). Γι' αυτό και πολλές φορές, η βελτίωση της δύναμης μετά από προπόνηση δεν επηρεάζει ούτε το άλμα, αλλά ούτε και την ταχύτητα (Gorostiaga et al., 2006; Kotzamanidis et al., 2005; Pedersen et al., 2019).
- **Ρυθμός Ανάπτυξης Δύναμης (ΡΑΔ):** Ακόμη δεν είναι ξεκαθαρισμένο επίσης σε ποιο βαθμό ο ΡΑΔ («εκρηκτικότητα») επηρεάζει την αλτική ικανότητα. Σε πρόσφατη εργασία διαπιστώθηκε ότι ο ΡΑΔ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης δε συσχετίζεται με το άλμα (McKinlay et al., 2018). Αντίθετα, σύμφωνα με την έρευνα, ο ΡΑΔ της ροπής που επιτυγχάνεται σε μεγάλες ταχύτητες (π.χ. $300^\circ/\text{sec}$) επηρεάζει την αλτικότητα. Βέβαια, υπάρχουν και δημοσιεύσεις που υποστηρίζουν ότι υπάρχουν συσχετίσεις (Ugarkovic et al., 2002).

Σχόλιο: Το σημαντικότερο για το άλμα και τις σύνθετες κινήσεις είναι η βέλτιστη μεταφορά ισχύος ενέργειας μέσω της διαρθρικής αλυσίδας.

Για τα παιδιά το θέμα δεν είναι πολύ διερευνημένο και η μόνη εργασία που βρέθηκε δεν παρουσίασε συσχέτιση μεταξύ δύναμης και αλτικότητας (Ciccela et al., 2019).

Ηλικία

Τα αναπτυξιακά στάδια του άλματος είναι τα παρακάτω (Winkstrom, 1983; Sherill, 2016):

1. Η ηλικία που ένα παιδί μπορεί να κάνει άλμα.
4. Το ποσοτικό αποτέλεσμα του άλματος (απόσταση μετατόπισης του σώματος).
5. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του άλματος, δηλαδή, το επίπεδο της τεχνικής εκτέλεσης (μηχανική μεταφορά ενέργειας).

Σύμφωνα με τον Winkstrom (1983), το παιδί μαθαίνει βασικά τις διάφορες μορφές αλμάτων με την παρακάτω χρονική ακολουθία:

1. Άλμα (πτώση) από κάποιο ύψος.
2. Οριζόντια απογείωση.
3. Κατακόρυφη απογείωση.

Μπορεί, σύμφωνα πάντα με την αναφερθείσα πηγή, να ειπωθεί ότι το παιδί, μέχρι την ηλικία των 5-6 ετών, μαθαίνει όλες τις μορφές των παραπάνω αλμάτων.

Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο είναι ο συνδυασμός τύπου άλματος σε σχέση με την συμπεριφορά χρήσης ποδιών στην απογείωση και την προσγείωση. Σύμφωνα με τον Winkstrom (1983), παρατηρείται η παρακάτω ακολουθία:

1. Άλμα από ένα πόδι στο άλλο.
2. Άλμα από δύο πόδια σε δύο πόδια.
3. Άλμα από ένα πόδι σε δύο.
4. Τρέξιμο και άλμα από το ένα πόδι στο άλλο.
5. Τρέξιμο και άλμα από δύο πόδια σε δύο πόδια.
6. Τρέξιμο και άλμα από ένα πόδι σε δύο πόδια.
7. Άλμα με δύο πόδια πάνω από ένα αντικείμενο και προσγείωση σε δύο πόδια.
8. Ρυθμικά επαναλαμβανόμενη εκτέλεση άλματος στο ίδιο πόδι (κουτσό).

Επειδή οι βασικές μορφές άλματος είναι η οριζόντια και η κατακόρυφη μορφή, είναι χρήσιμο να αναλυθούν τα πρώιμα και ώριμα χαρακτηριστικά και των δύο αυτών τύπων με βάση τις μελέτες που έχουν προηγηθεί βασισμένες στην Component analysis (Winkstrom 1983; Sherill, 2016; βλ. Εικόνα 1, καθώς και Πίνακες 1 και 2).

Τα παραπάνω ερμηνεύουν έναν μηχανισμό που δικαιολογεί τη διαφορά του παιδιού έναντι των ενηλίκων, που είναι η υστέρηση του μηχανισμού διαρθρικής μεταφοράς ενέργειας. Υπάρχουν και άλλοι επίσης μηχανισμοί που είναι κοινοί για όλους τους τύπους των αλμάτων και εξηγούν την διαφορά αλτικότητας παιδιών έναντι των ενηλίκων (Lazaridis et al., 2010; 2013; Gillen et al., 2018):

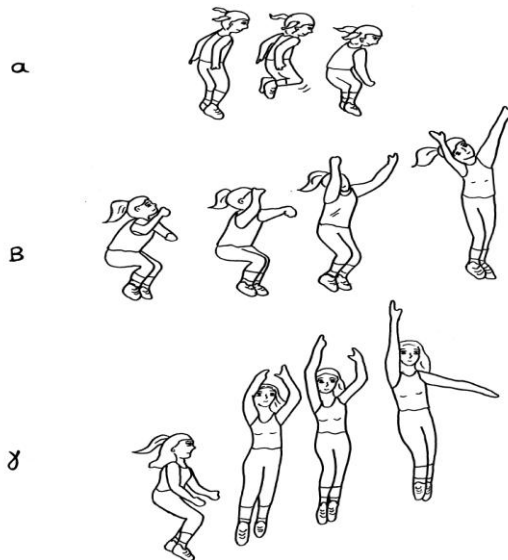
- Η μικρότερη ισχύς που παράγουν.
- Η μικρότερη δύναμη ώθησης.
- Η μικρότερη ενεργοποίηση των αγωνιστών μυών.
- Η μεγαλύτερη δραστηριότητα που έχουν οι ανταγωνιστές μύες.
- Η μεγαλύτερη κατανομή αργών μυϊκών ινών.

Οι υπόλοιποι παράγοντες θα αναφερθούν κατά περίπτωση άλματος.

Πίνακας 1: Πρώιμα χαρακτηριστικά κατακόρυφου και οριζόντιου άλματος.

Πρώιμη μορφή άλματος	
Οριζόντιο Άλμα	Κατακόρυφο Άλμα
1. Δεν παρατηρείται προπαρασκευαστική φάση χεριών	Το ίδιο
2. Δεν παρατηρείται προπαρασκευαστική κίνηση ποδιών	Το ίδιο
3. Η απογείωση γίνεται χωρίς πλήρη έκταση των ποδιών (ατελής έκταση ποδοκνημικής και κατά γόνυ άρθρωσης)	Το ίδιο
4. Δεν παρατηρείται η ακολουθία έκτασης γόνατος πριν την έκταση της ποδοκνημικής άρθρωσης του γόνατος αλλά μία ταυτόχρονη εκτέλεση (εκτέλεση μπλοκ)	Το ίδιο
5. Δεν παρατηρείται ενιαία αλλά ασύγχρονη απογείωση ποδιών δηλ. τα πόδια δεν αφήνουν ταυτόχρονα το έδαφος. Το ίδιο παρατηρείται και στην προσγείωση	Το ίδιο. Ιδιαίτερα στην φάση της αιώρησης τα πόδια μαζεύονται παρά το σώμα απογειώνεται, αποτέλεσμα της ατελούς έκτασης των αρθρώσεων των κάτω άκρων
6. Δεν παρατηρείται κλίση του σώματος προς τα εμπρός λόγω της περίπτωσης 3	

<p>7. Τα χέρια κινούνται ασύμμετρα χωρίς ουσιαστικά να βοηθούν την απογείωση. Οι κινήσεις των χεριών μπορεί με βάση την ακολουθία ωρίμανσης είναι η παρακάτω:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Να μην κινούνται καθόλου • Να εκτείνονται πλευρικά • Να παίρνουν την θέση της ανάτασης • Να εκτείνονται προς τα πίσω • Να εκτείνονται προς τα εμπρός 	Το ίδιο
<p>8. Η κίνηση των ποδιών στην διάρκεια της πτήσης είναι ασύμμετρη και άρρυθμη</p>	Το ίδιο



Εικόνα 1: Φάσεις ωρίμανσης του κατακόρυφου άλματος (βασισμένο στον Winkstrom 1983, από Κοτζαμανίδη, 2019).

Πίνακας 2: Ωριμα χαρακτηριστικά κατακόρυφου και οριζόντιου άλματος.

Ωριμη Φάση άλματος	
Οριζόντιο Άλμα	Κατακόρυφο Άλμα
1. Παρατηρείται προπαρασκευαστική κίνηση χεριών και ποδιών. Συγκεκριμένα εκτελείται προδιάταση των εκτεινόντων μυών. Ειδικότερα τα πέλματα αφήνουν το έδαφος αφού τείνει να ολοκληρωθεί η έκταση του γονάτου. Το στοιχείο αυτό προκαλεί την αναγκαία κλίση του σώματος μπροστά (περίπου 30 μοίρες).	Το ίδιο.
2. Παρατηρείται πλήρης έκταση των αρθρώσεων των κάτω άκρων. Στοιχείο μεγαλύτερης εφαρμογής της δύναμης και κατ' επέκταση περισσότερου κέρδους απόστασης.	Το ίδιο. Το σώμα αποκτά την απαραίτητη καθετότητα για μεγαλύτερο κέρδος ύψους.
3. Προηγείται η έκταση της άρθρωσης του γόνατος και ακολουθεί αυτή του γονάτου. Αυτό δείχνει μία τάση ωρίμανσης της διαρθρικής μεταφοράς ενέργειας.	Το ίδιο.
4. Παρατηρείται πλήρης αιώρηση των άνω άκρων. Τα χέρια από την θέση της κάμψης φθάνουν στα όρια της πλήρους έκτασης.	Τα χέρια αποκτούν πλήρη αιώρηση με κίνηση από κάτω προς τα πάνω. Σε περιπτώσεις αγγίσματος στόχου με ένα χέρι παρατηρείται πλευρική ανόρθωση του ώμου από την πλευρά που είναι ο στόχος.
5. Στην φάση της αιώρησης τα πόδια κάμπτονται στο γόνατο και στην λεκάνη με τάση παραλληλότητας των γονάτων προς το έδαφος.	Το ίδιο.
6. Παρατηρείται έκταση των αρθρώσεων των κάτω άκρων πριν την προσγείωση για κέρδος απόστασης.	Το ίδιο.
7. Εκτελείται παράλληλα κάμψη των αρθρώσεων των κάτω άκρων στην φάση της προσγείωσης για πρό-	Το ίδιο.

ληψη τραυματισμών.	
8. Συμμετρική απογείωση και προσγείωση των ποδιών (ταυτόχρονο ξεκόλλημα και επαφή)	Το ίδιο.

Φύλο

Από την παιδική ηλικία το αγόρι σε όλα τα είδη άλματος παρουσιάζει μία τάση να υπερέχει του κοριτσιού. Μετά την έναρξη της εφηβείας, σε απόλυτες τιμές το αγόρι υπερέχει σημαντικά του κοριτσιού. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται στο ότι το αγόρι παρουσιάζει μεγαλύτερη (Radnor et al., 2018):

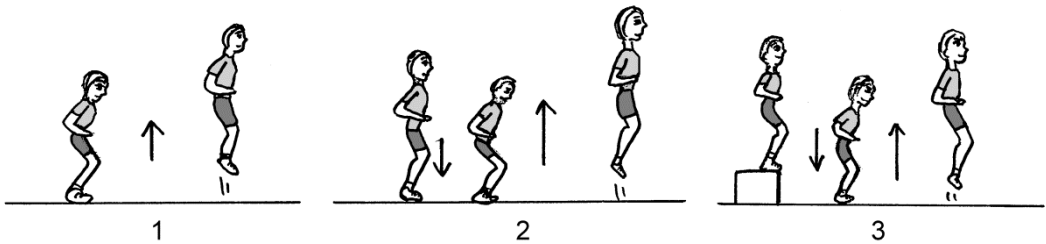
- Δύναμη.
- Μυϊκή μάζα.
- Μυϊκή ισχύ.
- Πιθανά μεγαλύτερη κατανομή γρήγορων μυϊκών ινών.

Υπάρχει και ένας ακόμη παράγοντας **κοινωνικού χαρακτήρα**, το ότι η κινητική δραστηριότητα των κοριτσιών ήταν και παραμένει μικρότερη των αγοριών. Αυτό δεν επηρεάζει αρνητικά τη δύναμη, αλλά τις σύνθετες κινητικές δεξιότητες όπως είναι το άλμα. Αυτό βάζει ως βασική προϋπόθεση την προπόνηση επιδεξιότητας είναι στόχος προτεραιότητας για τα κορίτσια.

Είδη αλμάτων

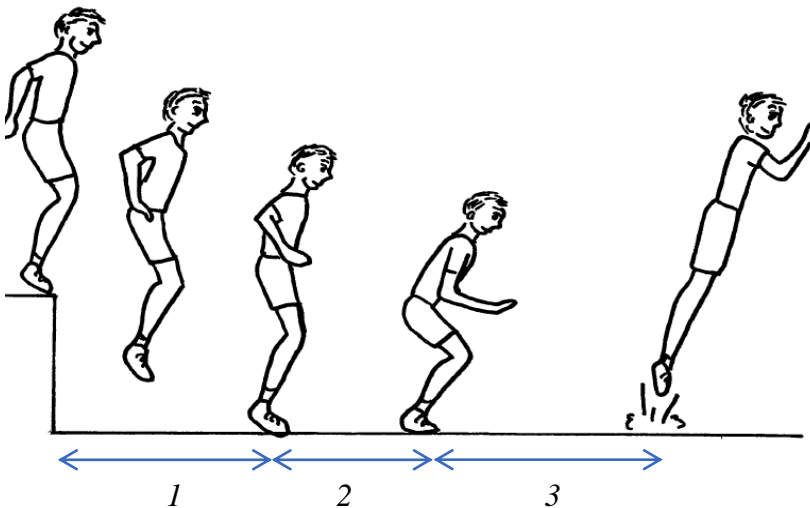
Το κεφάλαιο αυτό θα αναφερθεί στα κατακόρυφα άλματα. Τα βασικότερα είναι τριών ειδών:

- Κατακόρυφο άλμα από ημικάθισμα (SJ, εικόνα 2.1): Στην περίπτωση αυτή, το άτομο κάμπτει αργά την άρθρωση του γόνατος και κατ' επέκταση την άρθρωση του ισχίου και της ποδοκνημικής άρθρωσης. Η κάμψη αυτή των αρθρώσεων σχετίζεται με τον μηχανισμό μεταφοράς ενέργειας όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στην τελική γωνία κάμψης θα μείνει για ένα χρονικό διάστημα 2 sec, και από εκεί αναπηδά. Αρχικά η γωνία αναπήδησης κλασικά προτείνονταν να είναι αυτή των 90°. Αυτό δεν είναι σωστό, διότι έχει διαπιστωθεί ότι για κάθε άτομο η γωνία αναπήδησης επιλέγεται ατομικά. Για να επιλεγεί μία συγκεκριμένη γωνία αναπήδησης για όλους, θα πρέπει να προηγηθεί μία σχετική προπόνηση στην παραπάνω γωνία. Διαφορετικά η απόδοση θα είναι μικρότερη συγκριτικά με την ατομικά επιλεγόμενη γωνία αναπήδησης (Petronijevic et al., 2018).



Εικόνα 2: Τύποι αλμάτων

- Άλμα με προκαταρκτική ταλάντευση των κάτω άκρων από στατική θέση και αναπήδηση (CMJ, εικόνα 2.2): Στην περίπτωση αυτή το άτομο από την όρθια θέση κάμπτεται όσο μπορεί πιο γρήγορα τα πόδια του και κατόπιν αναπηδά κατακόρυφα.



Εικόνα 3: Κύκλος διάτασης βράχυνσης DJ: 1. Πητική φάση Προενεργοποίηση. 2 Φάση ανάσχεσης 3. Φάση Ώθησης. Η ενδιάμεση φάση είναι μεταξύ φάσης 2 και 3. Στην φάση 1 τονίζεται το προκαταρκτικό λύγισμα των ποδιών όπως και στην φάση αρχικής επαφής που πρέπει να γίνεται με το πρώτο τμήμα του πέλματος (Από το βιβλίο Κοτζαμανίδης X 2019)

- Άλμα με πτώση και αναπήδηση (DJ εικόνα 2.3, εικόνα 3): Στην περίπτωση αυτή το άτομο πέφτει από κάποιο προκαθορισμένο ύψος και αμέσως μετά αναπηδά.

Σχέσεις μεταξύ των τριών αλμάτων.

1. Το DJ και CMJ είναι κατά βάση υψηλότερα από το SJ (Bobbert et al., 1996).
2. Συγκριτικά, το CMJ μπορεί να είναι ίδιο, υψηλότερο ή χαμηλότερο του DJ. Αυτό εξαρτάται από το ύψος πτώσης και το επίπεδο του αθλητή (Tsimahidis et al., 2010).

Κοινά στοιχεία και στα τρία άλματα είναι ότι επηρεάζονται:

- Από το Νευρομυϊκό σύστημα
- Την σκληρότητα του Μυοτενόντιου Συμπλέγματος
- Και οι τρεις τύποι αλμάτων εμπεριέχουν τον κύκλο διάτασης βράχυνσης (Kurokawa et al., 2001; 2003). Μάλιστα η ελαστική ενέργεια που παράγεται από τον κύκλο αυτό είναι ίδιος και στο SJ και στο CMJ. Το CMJ έχει μεγαλύτερη αναπήδηση από το SJ γιατί ο χρόνος ενεργοποίησης του νευρομυϊκού συστήματος (active state) διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα CMJ (Bobbert and Casious 2005; Van Hooren and Zolotarjona, 2017)
- Βέβαια ο κύκλος διάτασης/βράχυνσης είναι σημαντικότερος στα άλματα με πτώση και αναπήδηση (DJ).

Άλμα με πτώση και αναπήδηση (DJ)

Το άλμα αυτό είναι πιο σύνθετο σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους αλμάτων, γιατί έχει τις παρακάτω διακριτές φάσεις (κύκλος διάτασης/βράχυνσης, βλ. Lazaridis et al., 2010; 2013) (Εικόνα 2):

- Την πτητική φάση (προενεργοποίηση) στη διάρκεια της πτώσης.
- Την φάση ανάσχεσης αμέσως μετά την προσγείωση. Πραγματοποιείται η έκκεντρη διάταση του μυός (δείτε κεφάλαιο δύναμης), γιατί αντιμετωπίζει την αντίσταση του εδάφους την οποία δεν μπορεί να ξεπεράσει. Για το λόγο αυτό, λυγίζει την ποδοκνημική και την άρθρωση του γόνατος.
- Την ενδιάμεση φάση, που είναι ισομετρική φάση που ακολουθεί την φάση ανάσχεσης, γιατί το Μυοτενόντιο σύμπλεγμα δεν διατείνεται περαιτέρω και σταματάει η κάμψη των παραπάνω αρθρώσεων.
- Την φάση ώθησης, όπου οι μύες των κάτω άκρων απογειώνουν το σώμα. Η σύσπαση των μυών σε αυτήν τη φάση είναι σύγκεντρη, γιατί ξεπερνιέται η αντίσταση του σώματος. Έτσι, το σώμα απογειώνεται και τα γόνατα τεντώνουν, ενώ όπως είδαμε παραπάνω στα παιδιά νηπιακής παραμένουν λυγισμένα.

Στην διάρκεια της φάσης ανάσχεσης το μυοτενόντιο σύμπλεγμα αποθηκεύει ενέργεια την οποία αποδίδει στην φάση ώθησης. Στην αθλητική πράξη, εκείνο που επιδιώκεται είναι η βέλτιστα γρηγορότερη μεταφορά ενέργειας από την φάση ανάσχεσης στην φάση ώθησης. Επιδιώκεται δηλαδή το μυοτενόντιο σύστημα να είναι ευνοϊκά σκληρό (Arampatzis et al., 2001).

Προϋποθέσεις για την ταχύτερη μεταφορά ενέργειας είναι το ότι η διάρκεια της στηρικτικής φάσης (χρονικό σημείο αρχικής επαφής/απογείωσης και της ενδιάμεσης φάσης), να διαρκεί κάτω από 250 msec, διότι διαφορετικά η παραγόμενη ελαστική ενέργεια θα μετατραπεί σε θερμότητα και δεν θα μεταφερθεί στην κίνηση (Bosco et al., 1981). Το ίδιο και η διάρκεια της ενδιάμεσης φάση μεταξύ έκκεντρης και σύγκεντρης φάσης πρέπει να είναι η δυνατόν ελάχιστη.

Άλλες προϋποθέσεις για την ευνοϊκή σκληρότητα του μυοτενόντιου συμπλέγματος είναι η βέλτιστη (Horita et al., 2002):

- ο Προσύσπαση των μυών στη διάρκεια της πτητικής φάσης (προενεργοποίηση) και κατ' επέκταση το προκαταρκτικό λύγισμα των ποδιών στην διάρκεια της φάσης αυτής.
- ο Πρόκληση του μυοτατικού αντανακλαστικού το οποίο προκαλείται λόγω της γρήγορης διάτασης της μυϊκής ατράκτου αμέσως μετά την επαφή με το έδαφος. Το μυοτατικό αντανακλαστικό εμφανίζεται 30-40 msec μετά την αρχική επαφή.

Κέρδος αναπήδησης

Κέρδος αναπήδησης θεωρείται η επιπλέον αναπήδηση του άλματος πέραν του SJ.

Ήδη διαπιστώθηκε ότι το CMJ επιτυγχάνει περισσότερη αναπήδηση σε σχέση με το SJ 3-5 cm (Temfeno et al., 2009; Lazaridis et al., 2013). Το θέμα αυτό είναι ένα ενδιαφέρον αλλά και αντιφατικό φαινόμενο. Για παράδειγμα στα παιδιά, οι Temfeno και συν. (2009) βρήκαν ότι όσο αυξάνει η ηλικία, το κέρδος αναπήδησης στο CMJ βαίνει μειούμενο, ενώ θα έπρεπε να συμβαίνει το αντίθετο. Επίσης, οι Gerodimos και συν. (2008) σε μπασκετμπολίστες δεν βρήκαν επίδραση της ηλικίας στο κέρδος παιδιών και εφήβων. Αντίθετα, οι αθλήτριες ενόργανης γυμναστικής παιδικής και εφηβικής ηλικίας βελτιώνουν το κέρδος αναπήδησης με την αύξηση της ηλικίας (Ciccela et al., 2019). Το θέμα αυτό ίσως θέλει περισσότερη μελέτη για να διευκρινισθεί πλήρως.

Θεωρητικά, η απόδοση του άλματος στο DJ εξαρτάται από το ύψος πτώσης. Βρέθηκε ότι με την αύξηση του ύψους πτώσης, η επίδοση αρχικά αυξάνει και σταδιακά σταθεροποιείται και κατόπιν μειώνεται (Voigt et al., 1995; Peng, 2011; Komi and Bosco, 1978). Η μείωση αυτή της απόδοσης, λόγω της υπερβολικής αύξησης του ύψους πτώσης, προκαλείται κυρίως από το ΚΝΣ για λόγους προστασίας του Μυοτενόντιου Συμπλέγματος. Προκαλείται λόγω της υπερβολικής αύξησης της ταχύτητας διάτασης του αλλά και της αρθρικής γωνιακής ταχύτητας. Όλη αυτή η διαδικασία προκαλεί, με την σειρά της, μια σειρά ανασταλτικών αντανακλαστικών μηχανισμών που προκαλεί αρχικά την σταθεροποίηση και κατόπιν μείωση της απόδοσης (Leukel et al., 2007). Επομένως, από προπονητικής άποψης, τα ύψη πτώσης που θα πρέπει να επιλέγονται είναι αυτά που προκαλούν το μέγιστο ύψος αναπήδησης, όπως περιγράφεται παρακάτω. Για τον παραπάνω λόγο άλλωστε, τόσο στα παιδιά, όσο και στους ενήλικες, με την αύξηση του ύψους πτώσης παρατηρείται μια μείωση της σκληρότητας του Μυοτενόντιου Συμπλέγματος (Αδαμόπουλος, 2016; Peng, 2011). Γίνεται έτσι πιο ελαστικό, για να απορροφά πιο αποτελεσματικά τους κραδασμούς της εδαφικής αντίδρασης.

Η αντίφαση στο φαινόμενο αυτό είναι ότι έχουν παρατηρηθεί δύο τάσεις.

- ο Υπάρχουν αρκετές δημοσιεύσεις οι οποίες δεν ανέφεραν αύξηση του ύψους αναπήδησης (κέρδος) στους ενήλικες παράλληλα με την αύξηση του ύψους πτώσης (Bobbert et al., 1987; Peng et al., 2017; 2019; Walsh et al., 2004).
- ο Υπάρχουν εργασίες που υποστηρίζουν ότι η αύξηση του ύψους πτώσης προκαλεί αύξηση του ύψους αναπήδησης. Το ιδανικό ύψος πτώσης που προκαλεί μεγαλύτερη αναπήδηση επηρεάζεται από μία σειρά παράγοντες όπως είναι η ηλικία, το φύλο και το επίπεδο απόδοσης. Έτσι, για τους αγύμναστους άνδρες είναι περίπου 40 εκ., ενώ για τις γυναίκες γύρω στα 30 εκ. Για τους γυμνασμένους άνδρες, ανάλογα με το επίπεδό τους, κυμαίνεται από 60 έως 100 εκ. (Komi and Bosco, 1978).

Επομένως το θέμα αυτό είναι υπό διερεύνηση.

Τι γίνεται με το κέρδος αναπήδησης στα παιδιά στο DJ μετά από αναπήδηση από διάφορα ύψη; Σειρά ερευνών δικών μας (Bassa et al., 2012) και άλλων ερευνητών (Birat et al., 2020; Gillen et al., 2019) έδειξαν ότι όταν χρησιμοποιούνται σταθερά καθορισμένα ύψη πτώσης (π.χ. 20, 40, 60 εκ), δε βρήκαν βελτίωση του ύψους αναπήδησης με την αύξηση του ύψους πτώσης. Αυτό μάλλον αποδόθηκε στο ότι τα παιδιά δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν αποδοτικά στην φάση ώθη-

σης την παραγόμενη ελαστική ενέργεια στη διάρκεια της φάσης ανάσχεσης (Gilen et al., 2019).

Παρόλα αυτά, όταν χρησιμοποιήσαμε ύψη πτώσης ομαλοποιημένα ως προς το SJ, διαπιστώθηκε ότι σε ύψη πτώσης στο 75, 100, 125, και 150% του SJ παρουσιάστηκε ένα κέρδος αναπήδησης και στα παιδιά και στους ενήλικες, με μια τάση να είναι μεγαλύτερη στο παιδί. Και στις δύο ομάδες, τα ιδανικότερα ύψη αναπήδησης ήταν το 100 και 150%, με μία τάση μειούμενη στο 150% (Αδαμόπουλος, 2016). Φαίνεται ότι στα παιδιά ο κύκλος διάτασης βράχυνσης αποδίδει όταν το ύψος πτώσης εξατομικεύεται στις ατομικές του ικανότητες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα παιδιά που ασκούνται στην ενόργανη γυμναστική παρουσιάζουν κέρδος αναπήδησης από ύψη πτώσης μέχρι 60 εκ. (Marina and Jemni, 2015).

Στρατηγικές DJ

Έχουν παρατηρηθεί δύο στρατηγικές (Horita et al., 2002).

- Η εκρηκτική, που ακολουθούν οι προπονημένοι με διάρκεια στηρικτικής φάσης κάτω των 250 msec.
- Η αργή, που ακολουθούν οι απροπόνητοι με στηρικτική φάση διάρκειας πάνω από 250 msec.

Στην εκρηκτική στρατηγική, η προενεργοποίηση και η κάμψη του γόνατος στον αέρα γίνεται πιο έγκαιρα και σε μεγαλύτερη έκταση. Η διάρκεια της στηρικτικής, καθώς και η κάμψη του γόνατος, είναι μικρότερες. Επιπλέον, η ενεργοποίηση των αγωνιστών μυών, του μυοτατικού αντανακλαστικού, η σκληρότητα του Μυοτενόντιου Συμπλέγματος και η παραγόμενη ισχύς, είναι μεγαλύτερη. Το αντίθετο συμβαίνει με την αργή στρατηγική.

Το παιδί, φαίνεται ότι ακολουθεί το μοντέλο της αργής στρατηγικής του κύκλου διάτασης/βράχυνσης. Η υστέρηση που παρουσιάζει το παιδί στο DJ σε σχέση με τον ενήλικα, εκτός των γενικών παραγόντων που έχουν αναφερθεί παραπάνω, είναι οι παρακάτω (Lazaridis et al., 2010, 2013; Katsikari et al., 2020):

- Μικρότερη προενεργοποίηση και προσύσπαση των γονάτων στην διάρκεια της πτώσης.
- Προσγείωση με τα γόνατα σε μικρότερη κάμψη στην αρχική φάση επαφής με το έδαφος σε σχέση με τον ενήλικα.
- Το μυοτατικό αντανακλαστικό των κάτω άκρων είναι μικρότερο.
- Η μέγιστη κάμψη του γόνατος είναι μεγαλύτερη.

- Η ενεργοποίηση του μυός στην φάση ανάσχεσης και ώθησης είναι μικρότερη.
- Το Μυοτενόντιο Σύμπλεγμα είναι πιο ελαστικό στα παιδιά. Κατ' επέκταση, και η μεταβίβαση της αποθηκευμένης ελαστικής ενέργειας ενδεχομένως να γίνεται πιο αργά και να είναι λιγότερη.

Ένα σχόλιο ακόμη στο σημείο αυτό είναι ότι η μεγαλύτερη κάμψη του γόνατος στην φάση της προσγείωσης ίσως να μην είναι υπόθεση μόνο του ότι το παιδί έχει πιο ελαστικό μυοτενόντιο σύμπλεγμα, αλλά και ότι αποτελεί μια στρατηγική επιλογή μηχανικού χαρακτήρα. Επειδή προτείνεται ότι το παιδί δε μπορεί να αξιοποιήσει αποτελεσματικά την παραγόμενη ελαστική ενέργεια στην φάση ανάσχεσης (έκκεντρη φάση), χρησιμοποιεί ως αντιστάθισμα άλλα μηχανικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, το παιδί κάμπτοντας τα γόνατα παραπάνω, επιτυγχάνει να έχει αναλογικά με τους ενήλικες, μεγαλύτερο διάστημα να επιταχύνει το κέντρο μάζας. Ενδείξεις γι' αυτό αναφέρθηκαν παραπάνω στο κέρδος αναπήδης (Petronijevic et al., 2018).

Προπόνηση Αλτικότητας και παιδί

Προπόνηση αλτικότητας στην αναπτυξιακή περίοδο

Για την προπόνηση αλτικότητας για το παιδί έχουν προταθεί οι παρακάτω μέθοδοι:

Προπονήσεις απλής δομής

- Προπόνηση ενδυνάμωσης με υψηλές εντάσεις (70-80% του 1 RM). Έχει αναλυθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο της δύναμης.
- Προπόνηση ενδυνάμωσης με ασκήσεις άρσης βαρών ολυμπιακού τύπου, δηλαδή με πολλαθρικές ασκήσεις (Chaouachi et al., 2014).
- Πλειομετρική προπόνηση. Θα αναλυθεί παρακάτω.
- Προπόνηση δρομικής ταχύτητας (Kotzamanidis et al., 2003).
- Με συνδυαστικά προγράμματα δύναμης/εκρηκτικών κινήσεων.

Προπόνηση με συνδυαστικά προγράμματα

- Δύναμης και πλειομετρικής προπόνησης (Ingle et al., 2006; Faigenbaum et al., 2007).
- Δύναμης και αερόβιας αντοχής (Marta et al., 2013, Aves et al 2016).
- Πλειομετρική προπόνηση και ισορροπία (Chaouachi et al., 2014).

- Πλειομετρική προπόνηση και επιδεξιότητα (Makhlouf et al., 2018).
Επειδή η περίπτωση της δύναμης έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι μέθοδοι προπόνησης που θα αναλυθούν είναι η πλειομετρική προπόνηση.

Πλειομετρική προπόνηση

Είναι η κλασική περίπτωση εφαρμογής ασκήσεων κύκλου διάταξης/βράχυνσης. Από την πρώτη δημοσίευση που έγινε διεθνώς από εμάς για την πλειομετρική προπόνηση στην παιδική ηλικία (Kotzamanidis, 2006) μέχρι τώρα έχουν δημοσιευθεί δεκάδες παρεμφερείς έρευνες.

Για την πλειομετρική προπόνηση στην παιδική ηλικία έχουν συζητηθεί οι παρακάτω περιπτώσεις:

Ένταση: Η ένταση στις κάθετες αναπηδήσεις καθορίζεται με βάση την αύξηση του ύψους πτώσης. Για τις υπόλοιπες κινήσεις η ένταση καθορίζεται με βάση τις δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους (Chu, 1998; Peng et al., 2019). Διαφορετικά, θα πρέπει να βρεθούν εμπειρικοί τρόποι πχ.

Ρύθμιση έντασης άλματος σε μήκος:

- Άλματα σε μήκος διαδοχικά με τα δύο πόδια.
- Κατόπιν, οριζόντια άλματα διαδοχικά από το αριστερό στο δεξί πόδι.
- Κατόπιν κουτσό στο ένα πόδι.
- Οριζόντια άλματα με ένα ή δύο πόδια πάνω από μικρού ύψους εμπόδια. Αν χρησιμοποιηθεί μακρύς πάγκος, όπου θα εκτελούνται εναλλακτικά πλάγια άλματα κατά μήκος του πάγκου και από τις δύο πλευρές.

Διαδοχικότητα εκτέλεσης αλμάτων για την ρύθμιση της έντασης:

- Διαδοχικά άλματα με δύο πόδια με αρχική προσγείωση πάνω στον πάγκο και μετά από πτώση στο έδαφος από την άλλη πλευρά.
- Διαδοχικά άλματα με δύο πόδια πάνω σε πάγκο με προσγείωση απευθείας στο έδαφος, από την μια πλευρά στην άλλη χωρίς να προσγειώνονται στην επιφάνεια του πάγκου.

Περίπτωση επιτόπιων αλμάτων:

- Επιτόπια κατακόρυφα άλματα με τα πόδια τεντωμένα χωρίς προκαταρκτικό λύγισμα των γονάτων.
- Σταδιακά εκτελούνται με τα πόδια λυγισμένα στο ύψος της λεκάνης.
- Κατόπιν τα γόνατα λυγίζουν στο ύψος του στήθους.

Περίπτωση διαγώνιων οριζοντίων αλμάτων:

- Αρχικά διαγώνια άλματα χωρίς μετατόπιση.
- Κατόπιν τα άλματα αυτά διαγώνια. Τα άλματα να είναι αριστερά και δεξιά του σημείου εκκίνησης (50 εκ).
- Σταδιακά, η διαγώνια απόσταση αυξάνει σύμφωνα με τις δυνατότητες των ασκουμένων.
- Σταδιακή προσθήκη μικρών εμποδίων.

Κατακόρυφα άλματα με εμπόδια:

Το ύψος αναπήδησης αρχικά πρέπει να είναι στο 75% του SJ και σταδιακά να αυξάνει ανά δύο εβδομάδες στο 100% και κατόπιν στο 125% κτλ.

Ποσότητα: Ο ελάχιστος αριθμός αλμάτων (επαφών στο έδαφος) είναι 50-60 ανά προπονητική μονάδα. Η σχετική έρευνα που έγινε έδειξε ότι δοκιμάστηκαν δύο στρατηγικές (Chaabene and Negra, 2017):

- Στην πρώτη, με χαμηλή ένταση, 200-220 άλματα ανά προπονητική μονάδα.
- Στην δεύτερη, με υψηλότερη ένταση αλλά χαμηλότερη ποσότητα, 100-120 άλματα.

Τα σχετικά αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν παρουσιάστηκε διαφορά στη βελτίωση της απόδοσης μεταξύ των ομάδων. Οπότε, είναι προτιμότερη η δεύτερη επιλογή για αποφυγή πιθανών κακώσεων λόγω υπέρχρησης. Η εβδομαδιαία αύξηση της ποσότητας κατά προπονητική μονάδα πρέπει να είναι 10-15 άλματα. Ένα τυπικό πρόγραμμα 10 εβδομάδων με την ρύθμιση της επιβάρυνσης παρουσιάζεται στον Πίνακα 3 (Katsikari et al., 2020).

Πίνακας 3: Ρύθμιση ποσότητας και έντασης σε ένα πλειομετρικό πρόγραμμα (Katsikari et al., 2020).

Εβδομάδες	Ποσότητα
1-3	60-80
4-5	80 -90
6-7	90-100
8-10	100-120

Αριθμός σετ: Το κάθε σετ μπορεί να αποτελείται από 10-15 άλματα. Ο αριθμός των σετ, κατά επέκταση, καθορίζεται από την προβλεπόμενη ποσότητα αλμάτων της προπονητικής μονάδας.

Διάλειμμα: Έχουν αναφερθεί διαλλείματα από 20 έως 180 sec (Moran et al., 2018). Προτιμότερο είναι το διάλειμμα των 60-90 sec. Εκείνο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι η πλειομετρική προπόνηση προκαλεί μικρότερο επίπεδο κόπωσης από την προπόνηση με τα βάρη. Η πλειομετρική προπόνηση προκαλεί περισσότερη συγκέντρωση φλεγμονωδών ουσιών, οι οποίες προκαλούν σε 2-3 ημέρες μετά την προπόνηση τον λεγόμενο καθυστερημένο πόνο (Lazaridis et al., 2018; Marginson et al., 2005). Επίσης, το παιδί και στην πλειομετρική άσκηση κουράζεται λιγότερο από τους ενήλικες (Lazaridis et al., 2018).

Συχνότητα: Έχει αναφερθεί ότι η πλειομετρική προπόνηση παράγει αποτελέσματα με μία ή δύο προπονήσεις την εβδομάδα. Προτιμότερο είναι δύο φορές την εβδομάδα. Τη μία φορά την εβδομάδα τη χρησιμοποιούμε στην αφετηριακή περίοδο της εξοικείωσης, ενώ τις δύο φορές στην κανονική προπόνηση.

Διάρκεια προγράμματος: Το διάστημα από 4-12 εβδομάδες θεωρείται επαρκές να προκαλέσει προσαρμογές (Lloyd et al., 2012; Katsikari et al., 2020).

Επιλογή ασκήσεων: Βασική προϋπόθεση είναι η συνεχής αλλαγή ασκήσεων στην διάρκεια του προγράμματος. Ακόμη και η σειρά των ασκήσεων ανά σετ πρέπει να αλλάζει συνεχώς. Με λίγα λόγια, η στερεότυπη επανάληψη πρέπει να αποφεύγεται. Διαπιστώθηκε ακόμη ότι ο συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων αλμάτων είναι πιο αποδοτικός από όταν αυτοί οι δύο αυτοί τύποι αλμάτων εφαρμοζόταν ξεχωριστά (Ramírez-Campillo et al., 2015).

Σχεδιασμός προγράμματος: Παρουσιάστηκαν δύο μοντέλα (Peitz et al., 2018):

- Της συνεχούς αύξησης της επιβάρυνσης. Στην περίπτωση αυτή, ανά τακτά διαστήματα (ανά μία ή δύο εβδομάδες), αυξάνει σταδιακά η ένταση και η ποσότητα της επιβάρυνσης συνεχόμενα.
- Το περιοδικό, όπου συνήθως, για παράδειγμα, ανά 2 ή 3 εβδομάδες μειώνεται η ποσότητα της επιβάρυνσης για μια εβδομάδα και μετά συνεχίζει και αυξάνει.

Και τα δύο έδωσαν παρεμφερή αποτελέσματα. Προτείνεται το περιοδικό γιατί δίνει περισσότερο χρόνο για αποκατάσταση.

Προσαρμογές που προκαλεί η πλειομετρική προπόνηση στο παιδί

Το θέμα αυτό αναλύεται στην άμεση επίδραση και στην μακρόχρονη επίδραση της προπόνησης. Σε επίπεδο άμεσης επίδρασης, παρουσιάστηκε το παράδοξο να μην προκαλεί αύξηση της σκληρότητας του Μυοτενόντιου συμπλέγματος όπως στους ενήλικες αλλά να την κρατάει σταθερή σε ένα πρόγραμμα τεσσάρων εβδομάδων (Lloyd et al., 2012). Όμως σε ένα δικό μας πρόγραμμα 10 εβδομάδων παρουσιάστηκε (Katsikari et al., 2020) τάση μείωσης της ελαστικότητας του Μυοτενόντιου Συμπλέγματος. Απεναντίας, σε άλλη μέτρησή μας επιλεγμένων προεφήβων κοριτσιών ενόργανης γυμναστικής (Christoforidou et al., 2017), που είχαν διάρκεια προπονητικής δραστηριότητας 6 ετών, διαπιστώθηκε ότι έχουν την συμπεριφορά των ενηλίκων δηλαδή προκάλεσαν μεγαλύτερη σκληρότητα στο Μυοτενόντιο Σύμπλεγμα από τα απροπόνητα κορίτσια.

Φαίνεται ότι αρχικά, επειδή το παιδί δεν μπορεί να αξιοποιήσει την παραγόμενη ελαστική ενέργεια, επιλέγει το μηχανικό πλεονέκτημα που δίνει το μεγαλύτερο λύγισμα των ποδιών, για να έχουν μεγαλύτερο διάστημα επιτάχυνσης που επηρεάζει και την δύναμη ώθησης (Domire and Challis, 2007; Sánchez-Sixto et al., 2018). Το άλμα στην περίπτωση αυτή αυξάνει μεν, αλλά γίνεται πιο αργό. Αντίθετα, η χρόνια προπόνηση μαθαίνει στο παιδί να σκληραίνει το Μυοτενόντιο Σύμπλεγμα, να λυγίζει λιγότερο τα γόνατά του, να εκμεταλλεύεται την παραγόμενη ελαστική ενέργεια και να ητδάει πιο ψηλά και γρήγορα.

Μορφές πλειομετρικής προπόνησης

Το θέμα αυτό αναφέρεται στην μορφή του εδάφους που θα προσγειωθεί ο αθλητής. Βασική προϋπόθεση είναι η προσγείωση να μην γίνεται σε σκληρή επιφάνεια, όπως τσιμέντο κλπ., ούτε σε έδαφος με ανώμαλη επιφάνεια, π.χ. πέτρες και λακκούβες, γιατί και τα δύο εγκυμονούν κινδύνους τραυματισμού. Με βάση την εμπειρία των ενηλίκων έχουν παρουσιαστεί οι παρακάτω περιπτώσεις.

Προσγείωση:

- Σε επίπεδη επιφάνεια: πλαστικό, ξύλο.
- Σε επικλινή επιφάνεια. Η περίπτωση αυτή δοκιμάστηκε πρόσφατα (Kanas et al., 2011; 2012). Οι αθλητές προσγειωνόταν σε επικλινείς επιφάνειες 15°. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί, με αυτήν την γωνία προσγείωσης, οι γαστροκνήμιοι βρίσκουν την ιδανική γωνία σύσπασης, άρα και απόδοσης.

- Σε χορτάρι. Θεωρείται ότι είναι πιο χαλαρωτικό για το Μυοτενόντιο Σύμπλεγμα (Impellizzeri et al., 2008).
- Σε ασταθή επιφάνεια, π.χ. μαλακές μπάλες από σφουγγάρι (Negra et al., 2017).
- Στην άμμο (Arazi et al., 2014; Impellizzeri et al., 2008).
- Στο νερό (Sporri et al., 2018).

Στο παιδί έχει δοκιμασθεί μέχρι τώρα η πρώτη περίπτωση.

Πλεονεκτήματα της πλειομετρικής προπόνησης στην απόδοση του παιδιού

Η πλειομετρική προπόνηση προκαλεί τα παρακάτω (Behm et al., 2017; Bogdanis et al., 2019; Diallo et al., 2001; McKinlay et al., 2018):

- Βελτιώνει τη δύναμη και τη μυϊκή μάζα.
- Βελτιώνει τις εκρηκτικές κινήσεις.
- Βελτιώνει την οστική πυκνότητα.
- Βελτιώνει την ισορροπία.
- Βελτιώνει την ευκινησία.
- Συντηρεί το προπονητικό αποτέλεσμα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μετά την διακοπή της προπόνησης σε σχέση άλλες μορφές προπόνησης ενδυνάμωσης.
- Βελτιώνει ενδεχομένως και την αντοχή βελτιώνοντας την δρομική οικονομία.

Εισαγωγή της πλειομετρικής προπόνησης στο παιδί

1ο Στάδιο

Προπόνηση επιδεξιότητας, καθημερινές αλτικές κινήσεις και μάθηση των κινήσεων. Στη μάθηση των κινήσεων λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω:

- Προσγείωση στο πρόσθιο τμήμα του πέλματος και μετά στη φτέρνα. Έτσι απορροφούνται αποδοτικότερα οι εδαφικοί κραδασμοί.
- Για τον ίδιο λόγο. Η πρώτη επαφή με το έδαφος να γίνεται με τα γόνατα επαρκώς λυγισμένα.
- Η προσγείωση να γίνεται με τα γόνατα όχι σε βλαισή θέση. Τα γόνατα θα είναι ανοικτά στο ύψος των ώμων.
- Μετά τη φάση της προσγείωσης, το σώμα πρέπει να λυγίζει και όχι να είναι όρθιο.

Παρατήρηση: Το παιδί κινδυνεύει λιγότερο από τον ενήλικα από τραυματισμούς γιατί (Marginson et al., 2005):

- Είναι πιο εξοικειωμένο με τα άλματα, γιατί είναι κομμάτι της καθημερινής του κίνησης.
- Έχει πιο ελαστικό Μυοτενόντιο Σύμπλεγμα.
- Έχει μεγαλύτερη κατανομή αργών μυών.

2ο Στάδιο

Αφού έχει συντελεστεί η μάθηση των ασκήσεων, αρχίζει η συστηματική επαναληπτικότητα ασκήσεων χαμηλής έντασης. Παραδείγματα:

- Επιτόπια άλματα μικρής αναπήδησης.
- Οριζόντια άλματα με δύο πόδια.
- Τα άλματα με δύο πόδια προς όλες τις κατευθύνσεις: Πλάγια, εμπρός, πίσω, διαγώνια.
- Οριζόντια άλματα εναλλακτικά σε κάθε πόδι.
- Συνεχή άλματα με κουτσό.

Μεθοδολογική παρατήρηση: Τα άλματα γίνονται σε σετ 10 επαναλήψεων, 1 σετ για κάθε άσκηση, 4-10 ασκήσεις

3ο Στάδιο

Οι ασκήσεις γίνονται πιο έντονες. Παραδείγματα:

- Διαγώνια άλματα συνεχή.
- Οριζόντια άλματα με υπερπήδηση μικρών εμποδίων.

Σταδιακά αυξάνονται και τα σετ. Μπορούν να προστεθούν δύο επιπλέον σετ σε σχέση με τον προηγούμενο στάδιο.

4ο Στάδιο

- Υπάρχει σταδιακή αύξηση της έντασης με την χρήση κατακόρυφων αλμάτων με χρήση εμποδίων που κυμαίνονται στα όρια του 50-75% του SJ.
- Σταδιακή αύξηση των ασκήσεων και του αριθμού σετ.

5ο Στάδιο

Η συστηματική προπόνηση με ύψη αναπήδησης από 75 έως 150% του SJ.

Προπονητικές παρατηρήσεις

Υπάρχουν αναφορές που υποστηρίζουν ότι οι αναφερόμενοι μέθοδοι ενδυνάμωσης, πλειομετρίας και συνδυαστικών προγραμμάτων επιδρούν διαφορετικά σε προπονημένα ή απροπόνητα παιδιά (Behm et al., 2017). Ακόμη, ότι η επίδραση τους εξαρτάται από τη βιολογική ηλικία, αλλά αυτό είναι δευτερεύον θέμα.

- Απαιτείται συνεχής αλλαγή των ασκήσεων.

- Η διάρκεια του κάθε σταδίου εξαρτάται από τη δεκτικότητα της μάθησης των ασκήσεων.
- Να ληφθεί υπόψη ότι η σχετική βιβλιογραφία αναφέρει ότι παιδιά ηλικίας 3-5 χρ. εφάρμοσαν πλειομετρικό πρόγραμμα ετήσιας βάσης με στόχο την αύξηση της οστικής πυκνότητας (Johannsen et al., 2003 -βλ. Πίνακα 4).

Πίνακας 4: Πρόγραμμα Πλειομετρικής προπόνησης σε παιδιά ηλικίας 3-5 ετών.

Στοιχεία επιβάρυνσης	Χαρακτηριστικά επιβάρυνσης
Ύψος αναπήδησης	45 cm
Συχνότητα ανά εβδομάδα	5
Ποσότητα αλμάτων	25
Διάρκεια προγράμματος	12 εβδομάδες

Θα πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι τα παιδιά προσχολικής ηλικίας που είχαν αυξημένη κινητική δραστηριότητα παρουσίασαν βελτίωση της οστικής πυκνότητας. Οπότε τα πιο κινητικά δραστήρια παιδιά είναι πιο έτοιμα να ακολουθήσουν ένα πλειομετρικό πρόγραμμα (Pate et al., 2019).

Η Πλειομετρική προπόνηση μπορεί να ενταχθεί σύμφωνα με τον MC Celvi (2001) το παρακάτω πρόγραμμα. Αλτικό Πρόγραμμα ενταγμένο στο πρόγραμμα Φυσικής Αγωγής που στοχεύει στην βελτίωση της Οστικής Πυκνότητας.

Πίνακας 5. Πλειομετρικό πρόγραμμα ΦΑ που στοχεύει στην οστική πυκνότητα

Διάρκεια	7 μήνες
Διάρκεια προπόνησης	10-12 min
Μορφή	Κυκλική προπόνηση
Σταθμοί	5
Διάρκεια σταθμών	1,5 με 2 min
Αλματα ανα σταθμό	10-20

Σε περίπτωση που δεν επιδιώκεται η οστική πυκνότητα το πρόγραμμα αυτό μπορεί να εφαρμόζεται στα πλαίσια εμπλουτισμού της διδακτέας υλης»

Σύνοψη-Πρακτική εφαρμογή

Η παραπάνω ανάλυση έδειξε ότι για την βελτίωση της αλτικότητας πέραν της φυσιολογικής ανάπτυξης, μπορούν να εφαρμοσθούν μέθοδοι για την βελτίωση του συντονισμού των αρθρώσεων, αλλά και προπόνηση ενδυνάμωσης. Η προτεινόμενη μέθοδος είναι η πλειομετρική προπόνηση συνδυαστικά με επιδεξιότητα και ισορροπία. Επιπλέον, οι προπονήσεις αυτές συμβάλουν και στην αύξηση της οστικής πυκνότητας.

Κεντρικά σημεία του κεφαλαίου

- Βασικό στοιχείο της προπόνης πρέπει να είναι η προπόνηση τεχνικής και επιδεξιότητας για την βελτιστοποίηση της διαρθρικής μεταφοράς ενέργειας που υστερεί το παιδί και ιδιαίτερα το κορίτσι.
- Η μάθηση της σωστής προσγείωσης με λυγισμένα γόνατα για αποφυγή τραυματισμών.
- Απαραίτητη είναι και η βελτίωση της ισχύος με την εφαρμογή των αντιστοίχων μεθόδων φυσικής κατάστασης, όπως η ενδυνάμωση με εξωτερικές αντιστάσεις, η πλυομετρική προπόνηση και τα συνδυαστικά προγράμματα ενδυνάμωσης.
- Προυπόθεση για την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων είναι η προκαταρκτική σωστή εκτέλεση, από τεχνική άποψη, των υπό εκτέλεση ασκήσεων.
- Το συνδυαστικό πρόγραμμα ισορροπίας και ενδυνάμωσης με εξωτερικές αντιστάσεις συστήνεται για την αποτροπή κακώσεων του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου.

Βιβλιογραφία

Αδαμόπουλος, Η., 2016. Συγκριτική ανάλυση της αλτικότητας μετά από πτώση από διαφορετικό ύψος πτώσης μεταξύ ενηλίκων ανδρών και προέφηβων αγοριών. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τ.Ε.Φ.Α.Α.-Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

- Alves, A.R., Marta, C.C., Neiva, H.P., Izquierdo, M., Marques, M.C., 2016. Concurrent training in prepubescent children: the effects of 8 weeks of strength and aerobic training on explosive strength and VO₂max. *J. Strength Cond. Res.* 30(7), 2019-2032.
- Arampatzis, A., Schade, F., Walsh, M., Bruggemann, G., 2001. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 11, 355–364.
- Arazi, H., Mohammadi, M., Asadi, A., 2014. Muscular adaptations to depth jump plyometric training: Comparison of sand vs. land surface. *Int. Med. Appl. Sci.* 6(3), 125–130.
- Barker, L., Harry, J., Mercer, J., 2018. Relationships between countermovement jump ground reaction forces and jump height, reactive strength index, and jump time. *J. Strength Cond. Res.* 32 (1), 248-254
- Bassa, E.I., Patikas, D.A., Panagiotidou, A.I., Papadopoulou, S.D., Pyliaididis, T.C., Kotzamanidis, C.M., 2012. The effect of dropping height on jumping performance in trained and untrained prepubertal boys and girls. *J. Strength Cond. Res.* 26(8), 2258-2264.
- Behm, D.G., Young, J.D., Whitten, J.H., Reid, J.C., Quigley, P.J., Low, J., Li, Y., Lima, C.D., Hodgson, D.D., Chaouachi, A., Prieske, O., Granacher, U., 2017. Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: A systematic review and meta-analysis. *Front. Physiol.* 8, 423.
- Birat, A., Sebillaud, D., Bourdier, P., Doré, E., Duché, P., Blazevich, A., Patikas, D., Ratel, S., 2020. Effect of drop height on vertical jumping performance in pre-, circa-, and post-pubertal boys and girls. *Pediatr. Exerc. Sci.* 32(1), 23-29.
- Bobbert, M.F., Casius L.J.R., 2005. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(3), 440–446.
- Bobbert, M.F., Gerritsen, K.G., Litjens, M.C., van Soest, A.J., 1996. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med. Sci. Sports Exerc.* 28, 1402-1412.

- Bobbert, M.F., Huijting, P.A., van Ingen Schenau, G.J., 1987. Drop jumping II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19, 339–346.
- Bobbert, M.F., van Ingen Schenau, G.J., 1988. Coordination in vertical jumping. *J. Biomech.* 21(3), 249-262.
- Bogdanis, G.C., Donti, O., Papia, A., Donti, A., Apostolidis, N., Sands, W.A., 2019. Effect of plyometric training on jumping, sprinting and change of direction speed in child female athletes. *Sports* 7(5), 116.
- Bosco, C., Komi, P.V. & Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.* 111, 135–140.
- Chaabene, H., Negra, Y., 2017. The effect of plyometric training volume in prepubertal male soccer players' athletic performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 12(9), 1205-1211.
- Chaouachi, A., Othman, A.B., Hammami, R., Drinkwater, E.J., Behm, D.G., 2014. The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children. *J. Strength Cond. Res.* 28(2), 401-412.
- Christoforidou, A., Patikas, D., Paraschos, I., Lazaridis, S., Christoforidis, C., Kotzamanidis, C., 2017. Landing from different heights: biomechanical and neuromuscular strategies in trained gymnasts and untrained prepubescent girls. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 32, 1-8.
- Chu, D.A., 1998. *Jumping Into Plyometrics*, 2nd ed. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Cicchella, A., Mannai, M., Erelina, J., Paasuke, M., Gapeyeva, H., 2019. Jump performance and thigh muscle cross-sectional area in young female rhythmic gymnasts. *Gazzetta Medica Italiana-Archivio per le Scienze Mediche*, 178(3), 106-11.
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., Van Praagh, E., 2001. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 41(3), 342-348.
- Domire, Z.J., Challis, J.H., 2007. The influence of squat depth on maximal vertical jump performance. *J. Sports Sci.* 25(2), 193-200.
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Keiper, F.B., Tevlin, W., Ratamess, N.A., Kang, J., Hoffman, J.R., 2007. Effects of a short-term plyometric and

- resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J. Sports Sci. Med.* 6(4), 519-525.
- Gerodimos, V., Zafeiridis, A., Perkos, S., Dipla, K., Manou, V., Kellis, S., 2008. The contribution of stretch-shortening cycle and arm-swing to vertical jumping performance in children, adolescents, and adult basketball players. *Pediatr. Exerc. Sci.* 20, 379-389.
- Gillen, Z., Jahn, L., Shoemaker, M., McKay, M., Mendez, M., Bohannon, N., Cramer, J., 2019. Effects of eccentric preloading on concentric vertical jump performance in youth athletes. *J. Appl. Biomech.* 35, 327-335.
- Gorostiaga, E.M., Granados, C., Ibañez, J., González-Badillo, J.J., Izquierdo, M., 2006. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38, 357–366.
- Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., Fukashiro, S., 2006. The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *J. Biomech.* 39(13), 2503-2511.
- Horita, T., Komi, P., Nicol, K., Kyrolainen, H., 2002. Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: Implications to performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88, 76–84.
- Impellizzeri, E.M., Rampinini, E., Castagna, C., Martino, F., Fiorini, S., Wisloff, U., 2008. Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *Br. J. Sports Med.* 42(1), 42-46.
- Ingle, K., Sleaf, M., Tolfrey, K., 2006. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J. Sports Sci.* 24(9), 987-997.
- Johannsen, N., Binkley, T., Englert, V., Neiderauer, C., Specker, B., 2003. Bone response to jumping is site-specific in children: A randomized trial. *Bone* 33, 533–539.
- Kannas, T.M., Kellis, E., Amiridis, I., 2012. Incline plyometrics-induced improvement of jumping performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112(6), 2353-2361.
- Kannas, T.M., Kellis, E., Amiridis, I.G., 2011. Biomechanical differences between incline and plane hopping. *J. Strength Cond. Res.* 25(12), 3334–3341.

- Katsikari, K., Bassa, E., Skoufas, D., Lazaridis, S., Kotzamanidis, C., Patikas, D.A., 2020. Kinetic and kinematic changes in vertical jump in prepubescent girls after 10 weeks of plyometric training. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 32(2), 81-88.
- Kollias, I., Hatzitaki, V., Papaiakovou, G., Giatsis, G., 2001. Using Principal Components Analysis to identify individual differences in vertical jump performance. *Res. Q. Exerc. Sport* 72(1), 63-67.
- Komi, P.V., Bosco, C., 1978. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports* 10(4), 261-265.
- Κοτζαμανίδης, Χ., 2019. Θεωρία και μεθοδική του Χάντμπολ: Μία προπονητική και παιδαγωγική προσέγγιση. Εκδόσεις Αφοι Κυριακίδη Α.Ε., Θεσσαλονίκη.
- Kotzamanidis, C., 2006. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J. Strength Cond. Res.* 20(2), 441-445.
- Kotzamanidis, C., 2003. The effect of sprint training on running performance and vertical jumping in preadolescent boys. *J. Hum. Mov. Stud.* 44, 225-240.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakovou G., Patikas, D., 2005. The effect of a combined high intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 19(2), 369-375.
- Kurokawa, S., Fukunaga, T., Fukashiro, S., 2001. Behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping. *J. Appl. Physiol.* 90, 1349-1358.
- Kurokawa, S., Fukunaga, T., Nagano, A., Fukashiro, S., 2003. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J. Appl. Physiol.* 95, 2306-2314.
- Lazaridis, S., Patikas, D.A., Bassa, E., Tsatalas, T., Hatzikotoulas, K., Ftikas, C., Kotzamanidis, C., 2018. The acute effects of an intense stretch-shortening cycle fatigue protocol on the neuromechanical parameters of lower limbs in men and prepubescent boys. *J. Sports Sci.* 36(2), 131-139.
- Lazaridis, S.N., Bassa, E.I., Patikas, D., Hatzikotoulas, K., Lazaridis, F.K., Kotzamanidis, C.M., 2013. Biomechanical comparison in different jumping tasks between untrained boys and men. *Pediatr.Exerc. Sci* 25(1), 101-113.

- Lazaridis, S., Bassa, E., Patikas, D., Giakas, G., Gollhofer, A., Kotzamanidis, C., 2010. Neuromuscular differences between prepubescent boys and adult men during drop jump. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110(1), 67-74.
- Leukel, C., Taube, W., Gruber, M., Hodapp, M., Gollhofer, A., 2007. Influence of falling height on the excitability of the soleus H-reflex during drop-jumps. *Acta Physiol.* 1748–1716.
- Lloyd, R.S., Oliver, J.L., Hughes, M.G., Williams, C.A., 2012. Age-related differences in the neural regulation of stretch-shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 22, 37–43.
- Makhlouf, I., Chaouachi, A., Chaouachi, M., Ben Othman, A., Granacher, U., Behm, D.G., 2018. Combination of agility and plyometric training provides similar training benefits as combined balance and plyometric training in young soccer players. *Front. Physiol.* 9, 1611.
- Marginson, V., Rowlands, A., Gleeson, N., Eston, R., 2005. Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *J. Appl. Physiol.* 99, 1174–1181.
- Marina, M., Jemni, M., 2014. Plyometric training performance in elite-oriented prepubertal female gymnasts. *J. Strength Cond. Res.* 28(4), 1015–1025.
- Markovic, G. Jaric, S., 2007. Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *J. Sports Sci.*, 25(12), 1355–1363.
- Marta, C., Marinho, D.A., Barbosa, T.M., Izquierdo, M., Marques, M.C., 2013. Effects of concurrent training on explosive strength and VO₂max in prepubescent children. *Int. J. Sports Med.* 34, 888–896.
- Matić, M., Ranisavljev, I., 2019. Maximal muscular strength as a predictor of optimum drop height. *Facta Universitatis Series: Phys. Ed. Spor.* 16(3), 577–585.
- McKinlay, B.J., Wallace, P., Dotan, R., Long, D., Tokuno, C., Gabriel, D.A., Falk, B., 2018. Effects of plyometric and resistance training on muscle strength, explosiveness, and neuromuscular function in young adolescent soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 32(11), 3039-3050.
- Methenitis, S.K., Zaras, N.D., Spengos, K.M., Stasinaki, A.N.E, Karampatsos, G.P., Georgiadis, G.V., Terzis, G.D., 2016. Role of muscle morphology in

- jumping, sprinting, and throwing performance in participants with different power training duration experience. *J. Strength Cond. Res.* 30(3), 807–817.
- Moran, J., Clark, C., Ramirez-Campillo, R., Davies, M.J., Drury, B., 2018. A meta-analysis of plyometric training in female youth: its efficacy and shortcomings in the literature. *J. Strength Cond. Res.* 31(2), 552-565.
- Negra, Y., Chaabene, H., Sammoud, S., Bouguezzi, R., Mkaouer, B., Hachana, Y., Granacher, U., 2017. Effects of plyometric training on components of physical fitness in prepuberal male soccer athletes: the role of surface instability. *J. Strength Cond. Res.* 31(12), 3295-3304.
- Panoutsakopoulos, V., Papachatzis, N., Kollias, I.A., 2014. Sport specificity background affects the principal component structure of vertical squat jump performance of young adult female athletes. *J. Sport Health Sci.* 3(3), 239-247.
- Pate, R.R., Hillman, C.H., Janz, K.F., Katzmarzyk, P.T., Powell, K.E., Torres, A., Whitt-Glover, M.C., 2019. Physical activity and health in children younger than 6 years: A systematic review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51(6), 1282-1291.
- Pedersen, S., Heitmann, K.A., Sagelv, E.H., Johansen, D., Pettersen, S.A., 2019. Improved maximal strength is not associated with improvements in sprint time or jump height in high-level female football players: A cluster randomized controlled trial. *BMC Sports Sci. Med. Rehab.* 11(1), 20.
- Peitz, M., Behringer, M., Granacher, U., 2018. A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth-What do comparative studies tell us? *PLOS one* 13(10), e0205525.
- Peng, H.T., 2011. Changes in biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *J. Strength Cond. Res.* 25, 2510–2518.
- Peng, H.T., Khuat, C.T., Kernozek, T.W., Wallace, B.J., Lo, S.L., Song, C.Y., 2017. Optimum drop jump height in Division III athletes: under 75% of vertical jump height. *Int. J. Sports Med.* 38(11), 842-846.
- Peng, H.T., Song, C.Y., Wallace, B.J., Kernozek, T.W., Wang, M.H., Wang, Y.H., 2019. Effects of relative drop heights of drop jump biomechanics in male volleyball players. *Int. J. Sports Med.* 40(13), 863-870.
- Petronijevic, M.S., Ramos, A.G., Mirkov, D.M., Jaric, S., Valdevit, Z., Knezevic, O.M., 2018. Self-preferred initial position could be a viable alternative to

- the standard squat jump testing procedure. *J. Strength Cond. Res.* 32(11), 3267-3275.
- Radnor, J.M., Oliver, J.L., Waugh, C.M., Myer, G.D., Moore, I.S., Lloyd, R.S., 2018. The influence of growth and maturation on stretch-shortening cycle function in youth. *Sports Med.* 48(1), 57-71.
- Ramírez-Campillo, R., Gallardo, F., Henriquez-Olguín, C., Meylan, C.M., Martínez, C., Álvarez, C., Caniuqueo, A., Cadore, E.L., Izquierdo, M., 2015. Effect of vertical, horizontal, and combined plyometric training on explosive, balance, and endurance performance of young soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 29(7), 1784-1795.
- Rouis, M., Courdat, L., Jaafar, H., Filliard, J.R., Vandewalle, H., Barthelemy, Y., Driss T., 2015. Assessment of isokinetic knee strength in elite young female basketball players: Correlation with vertical jump. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 55(12), 1502-1508.
- Sánchez-Sixto, A., Harrison, A.J., Floría, P., 2018. Larger countermovement increases the jump height of countermovement jump. *Sports* 6(4), 131.
- Sherill, C., 2016. Προσαρμοσμένη φυσική δραστηριότητα, Αναψυχή και Σπορ (μετάφραση: Ευαγγελινού, Χ.). Εκδόσεις Πασχαλίδης, Αθήνα.
- Sporri, D., Ditroilo, M., Pickering Rodriguez, E.C., Johnston, R.J., Sheehan, W.B., Watsford, M.L., 2018. The effect of water-based plyometric training on vertical stiffness and athletic performance. *PLOS One* 13(12), e0208439.
- Temfeno, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S.H., Ahmaidi, S., 2009. Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *Eur. J. Pediatr.* 168(4), 457-464.
- Tsimahidis, K., Galazoulas, C., Skoufas, D., Papaiakevou, G., Bassa, E., Patikas, D., Kotzamanidis, C., 2010. The effect of sprinting after each set of heavy resistance training on the running speed and jumping performance of young basketball players. *J. Strength Cond. Res.* 24(8), 2102-2108.
- Ugarkovic, D., Matavulj, D., Kukolj, M., Jaric, S.J., 2002. Standard anthropometric, body composition, and strength variables as predictors of jumping performance in elite junior athletes. *J. Strength Cond. Res.* 16(2), 227-230.

- Van Hooren, B., Zolotarjova, J., 2017. The difference between countermovement and squat jump performances: a review of underlying mechanisms with practical applications. *J. Strength Cond. Res.* 31(7), 2011-2020.
- Van Soest, A.J., Schwab, A.L., Bobbert, M.F., van Ingen Schenau, G.J., 1993. The influence of the biarticularity of the gastrocnemius muscle on vertical-jumping achievement. *J. Biomech.* 26(1), 1-8.
- Villagra, F., Cooke, C.B., McDonagh, M.J., 1993. Metabolic cost and efficiency in two forms of squatting exercise in children and adults. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 67(6), 549-553.
- Voigt, M., Simonsen, E.B., Dyhre-Poulsen, P., Klausen, K., 1995. Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *J. Biomech.* 28, 293-307.
- Walsh, M., Arampatzis, A., Schade, F., Brüggemann, G.P., 2004. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed and moment of force. *J. Strength Cond. Res.* 18, 561-566.
- Winkstrom, R.L., 1983. *Fundamental motor pattern* (3rd edition). Lea & Febiger, Philadelphia.
- Winkstrom, R.L., 1977. *Fundamental motor pattern* (2nd edition). Lea & Febiger, Philadelphia.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., Hoff, J., 2004. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.* 38, 285-288.
- Wisløff, U., Helgerud, J., Hoff, J., 1998. Strength and endurance of elite soccer players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(3), 462-467.
- Zatsiorsky, V.M., Lanka, G.E., Shalmanov, A.A., 1981. Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 9(1), 353-389.

Ανάπτυξη και προπόνηση ευλυγισίας

Ολόβια Δόντη, Γρηγόρης Μπογδάνης

Περίληψη

Ως ευλυγισία ορίζεται το μέγιστο εύρος κίνησης μιας άρθρωσης ή μιας ομάδας αρθρώσεων και διακρίνεται σε παθητική και ενεργητική. Η παθητική ευλυγισία εξαρτάται από ανατομικούς και νευρικούς παράγοντες ενώ η ενεργητική εξαρτάται επιπλέον από τον κινητικό έλεγχο, τη μυϊκή δύναμη και την αντοχή των μυών που κινούν και σταθεροποιούν τις αρθρώσεις. Κύριος στόχος της προπόνησης ευλυγισίας σε νέους αθλητές είναι η απόκτηση του βέλτιστου εύρους κίνησης ανάλογα με το άθλημα, την ηλικία και το επίπεδό τους. Το αυξημένο εύρος κίνησης των αρθρώσεων σχετίζεται με βελτίωση της αθλητικής απόδοσης καθώς και με μείωση του κινδύνου τραυματισμού. Η συστηματική προπόνηση ευλυγισίας προτείνεται να ξεκινά από την παιδική ηλικία και να συνεχίζεται σε όλα τα στάδια προετοιμασίας νέων αθλητών, με την ηλικία των 6-10 ετών να χαρακτηρίζεται ως «ευαίσθητη περίοδος» για μορφολογικές προσαρμογές. Για τη βελτίωση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων σε νεαρούς αθλητές προτείνεται να εφαρμόζονται αρχικά στατικές διατάσεις μικρής διάρκειας και ήπιας έντασης σε συνδυασμό με ελεγχόμενες δυναμικές διατάσεις, ενώ στη συνέχεια η διάρκεια και η ένταση να αυξάνονται σταδιακά. Νευρομυϊκοί μηχανισμοί όπως η αυξημένη ανοχή στη διάταση και αλλαγές στη σκληρότητα των μυοτενόντιων μονάδων, ευθύνονται για την αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων μετά την εφαρμογή διατάσεων. Επίσης, η μακροχρόνια προπόνηση ευλυγισίας η οποία ξεκινά από την παιδική ηλικία, φαίνεται να προκαλεί και μορφολογικές προσαρμογές στους μύες, όπως είναι το αυξημένο μήκος των μυϊκών δεματίων. Η εφαρμογή παρατεταμένων στατικών διατάσεων (>60 s) προκαλεί πρόσκαιρη μείωση της μυϊκής δύναμης και ισχύος στους ενήλικες. Ωστόσο, τα παιδιά φαίνεται να επηρεάζονται αρνητικά σε μικρότερο βαθμό από τις παρατεταμένες μυϊκές διατάσεις. Συμπερασματικά, η προπόνηση ευλυγισίας συμβάλλει στη διατήρηση της υγείας του μυοσκελετικού συστήματος καθώς και στη βελτίωση της απόδοσης. Η

προπόνηση ευλυγισίας είναι σημαντική σε όλα τα στάδια ανάπτυξης, αρκεί να προγραμματίζεται με βάση τόσο τις απαιτήσεις του αθλήματος όσο και τις δυνατότητες των παιδιών.

Ευλυγισία

Η προπόνηση ευλυγισίας με στόχο τη διάταση των μυών του ανθρώπινου σώματος και την αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων, αποτελεί διαδεδομένη πρακτική σχεδόν σε όλες τις αθλητικές δραστηριότητες (Alter, 2004; Gleim and McHugh, 1997). Για τους περισσότερους αθλητές, και ιδιαίτερα σε αθλήματα που απαιτούν μεγάλο εύρος κίνησης όπως η ρυθμική γυμναστική και ο χορός, η προπόνηση ευλυγισίας αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι προετοιμασίας για τη βελτίωση της απόδοσής τους και τη μείωση της συχνότητας τραυματισμών (Behm et al., 2016; Da Costa and Vieira, 2008; Sands et al., 2016; Douda et al., 2008). Ως «**ευλυγισία**» ορίζεται το μόνιμο, μέγιστο εύρος κίνησης το οποίο μετριέται σε μια άρθρωση ή σε μια ομάδα αρθρώσεων (Magnusson and Renström, 2006) και από πλευράς λειτουργικής ικανότητας εκδηλώνεται ως η ικανότητα κίνησης μιας άρθρωσης ή ομάδας αρθρώσεων σε ένα μεγάλο εύρος, χωρίς περιορισμό, τραυματισμό ή πόνο (Heyward, 1984). Εκφράζει μια εγγενή ιδιότητα των ιστών του σώματος η οποία σε μεγάλο βαθμό καθορίζει το μέγιστο εύρος στο οποίο μπορούν να κινηθούν οι αρθρώσεις (Holt et al, 1996). Η ευλυγισία είναι «εξειδικευμένη» ικανότητα, ανάλογα με την άρθρωση και δεν γενικεύεται απαραίτητα για όλες τις αρθρώσεις ενός σώματος (Corbin and Noble, 1980). Για παράδειγμα, μπορεί κάποιος αθλητής να έχει μεγάλο εύρος κίνησης στο ισχίο αλλά όχι στην ποδοκνημική, ανεξαρτήτως προπόνησης.

Είδη ευλυγισίας και μέθοδοι αξιολόγησης

Η ευλυγισία διακρίνεται σε **παθητική και σε ενεργητική, ανάλογα με το εάν επιτυγχάνεται** μέσω ενεργητικής σύσπασης των μυών του ασκούμενου (ενεργητική) ή όχι (παθητική) (Knudson et al., 2000).

Παθητική ευλυγισία

Η **παθητική ευλυγισία** αποτυπώνει το μέγιστο εύρος το οποίο μπορεί να επιτευχθεί κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων (π.χ. της βαρύτητας, της βοήθειας από προπονητή ή συνασκούμενο) και έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την

απουσία μυϊκής σύσπασης. Το παθητικό εύρος κίνησης προσδιορίζεται υποκειμενικά από την αντίληψη πόνου του ασκούμενου (Knudson et al., 2000; Weppler and Magnusson, 2010). Αξιολογείται με όργανα μέτρησης όπως τα γωνιόμετρα τα οποία μετρούν τις γωνίες των αρθρώσεων, τα ψηφιακά κλισιόμετρα που μετρούν το εύρος κίνησης των αρθρώσεων και τα αρθρόμετρα τα οποία μπορούν να αξιολογήσουν την προσθιοπίσθια μετατόπιση της κνήμης σε σχέση με το μηρό. Το εύρος κίνησης των αρθρώσεων μπορεί να μετρηθεί και με τη λήψη φωτογραφιών, οι οποίες στη συνέχεια αναλύονται με ειδικά προγράμματα λογισμικού που διατίθενται στο διαδίκτυο, όπως είναι το Kinovea (Kinovea 0.8.15) ή το Tracker (Tracker 4.91 Copyright© 2016 Douglas Brown).

Ενεργητική ευλυγισία

Για την **ενεργητική ευλυγισία** υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί με επικρατέστερο τον όρο «λειτουργικό εύρος κίνησης» το οποίο εκφράζει το μέγιστο εύρος στο οποίο μπορεί να κινηθεί ένα μέλος μέσω ενεργητικής σύσπασης των μυών του ασκούμενου (Clippinger, 1988). Πιο συγκεκριμένα, οι ανταγωνιστές των υπό διάταση μυών συσπώνται, ώστε να κινήσουν το μέλος του σώματος έως το τέλος του ενεργητικού εύρους της άρθρωσης (Haff, 2006). Το ενεργητικό εύρος κίνησης εμπεριέχει τις ικανότητες της μυϊκής δύναμης, συναρμογής, ισορροπίας και κινητικού ελέγχου, προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια συγκεκριμένη κίνηση σε συγκεκριμένη τροχιά και ταχύτητα. Οι Siff και Verkhoshansky (1999) διέκριναν την ενεργητική ευλυγισία **σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:**

- (α) ενεργητική κίνηση σε μέγιστο εύρος με μεγάλη ταχύτητα
- (β) ενεργητική κίνηση σε μέγιστο εύρος με μεγάλη δύναμη και
- (γ) αντοχή στην εκτέλεση επαναλαμβανόμενων ενεργητικών κινήσεων σε μεγάλο εύρος.

Πρέπει να αναφερθεί ότι το ενεργητικό εύρος κίνησης των αρθρώσεων είναι πάντα μικρότερο από το εύρος στο οποίο μπορεί παθητικά να κινηθεί ένα μέλος κι αυτό έχει σημασία για τον σχεδιασμό προγραμμάτων προπόνησης (Knudson et al., 2000) και ιδιαίτερα για αναπτυσσόμενους αθλητές.

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το εύρος κίνησης των αρθρώσεων

Το εύρος κίνησης των αρθρώσεων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι εκ των οποίων είναι οι ακόλουθοι:

Ανατομική κατασκευή των αρθρώσεων

Οι αρθρώσεις, ανάλογα με την οστική τους δομή και τον βαθμό κίνησης που επιτρέπουν, ταξινομούνται σε συναρθρώσεις, στις οποίες παρουσιάζεται ανεπαίσθητη ή καθόλου κίνηση (π.χ. κερκιδωλενική συνδέσμωση), αμφιαρθρώσεις οι οποίες επιτρέπουν περιορισμένη κίνηση και διαρθρώσεις στις οποίες εκτελούνται κινήσεις ελεύθερα (Alter, 2004). Οι διαρθρώσεις ταξινομούνται πάλι ανάλογα με το είδος των αρθρικών επιφανειών, τους βαθμούς ελευθερίας και τον τύπο της κίνησης σε (Agur and Dalley, 2009).

1. Ολισθαίνουσες: π.χ. μεσοκαρπικές, μεσοταρσικές,
2. Γίγγλυμες: π.χ. αγκώνας, μεσοφαλαγγικές,
3. Τροχοειδείς: π.χ. κερκιδωλενική, ατλαντο-αξονική,
4. Κονδυλοειδείς: π.χ. γόνατο,
5. Ωοειδείς ή Ελλειψοειδείς: π.χ. κερκιδοκαρπική,
6. Εφιπποειδείς: π.χ. καρπομετακάρπια του αντίχειρα,
7. Σφαιροειδείς: π.χ. γληνοβραχιόνια άρθρωση ώμου

Η μορφολογία της άρθρωσης καθορίζει τον τύπο της κίνησης (π.χ. κύλιση, ολίσθηση, στροφή, έλξη ή συμπίεση) που μπορεί να πραγματοποιηθεί στην άρθρωση. Για παράδειγμα, η άρθρωση του ώμου έχει τη μεγαλύτερη κινητικότητα παρουσιάζοντας κίνηση γύρω από τον εγκάρσιο, προσθιοπίσθιο, κάθετο άξονα καθώς και γύρω από τον επιμήκη άξονα του βραχιονίου οστού (Agur and Dalley, 2009):

Διατασιμότητα των ιστών που διατρέχουν την άρθρωση

Ο αρθρικός θύλακας, οι μύες και οι περιτονίες, ο τένοντας και ο δερματικός ιστός καθορίζουν την αντίσταση της άρθρωσης στην επιμήκυνση, σε ποσοστό 47%, 41%, 19% και 2% , αντίστοιχα (Johns and Wright, 1962).

Μύες

Κάθε μυς περιβάλλεται από το επιμύιο, το οποίο αποτελεί μια «μεμβράνη» ινώδους συνδετικού ιστού, η οποία επεκτείνεται εντός του (περιμύιο) και διαχωρίζει τις μυϊκές ίνες σε ομάδες ή «δεμάτια» (De Vries, 1980). Ένα μυϊκό δεμάτιο αποτελείται από οργανωμένες μυϊκές ίνες (5-50) (Friedrich and Brand, 1990; Huijing, 1985; Lieber and Friden, 2000) οι οποίες δημιουργούν μια λειτουργική μονάδα (Trotter, 1993). Κάθε μυϊκή ίνα σε ένα δεμάτιο δεν διατρέχει απαραίτητα ολόκληρο το μυϊκό δεμάτιο κατά μήκος (Loeb et al., 1987). Επιπλέον, μυϊκές ίνες διαφορετικού τύπου είναι πιθανόν να οργανώνονται μαζί στο ίδιο δεμάτιο (π.χ. ίνες τύπου I, Ια ή Ιβ) (Sjöström et al., 1986).

Τα τελευταία χρόνια με τη μέθοδο της υπερηχογραφίας είναι δυνατή η αξιολόγηση των αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών των μυών τόσο σε ηρεμία (Narici et al., 1992; Kuno and Fukunaga, 1995; Fukunaga et al., 1997), όσο και κατά τη σύσπαση ή διάταση του μύος (Herbert and Gandevia, 1995; Maganaris et al., 1998). Το **μήκος των μυϊκών δεματίων** είναι σημαντικός παράγοντας για την ταχύτητα σύσπασής του και κατ' επέκταση, την ταχύτητα σύσπασης του μύος (Aagaard et al., 2001). Εκτός από το μήκος των δεματίων, δύο άλλα χαρακτηριστικά (γωνία πρόσφυσης και «πάχος» του μύος) διαμορφώνουν τη λειτουργικότητα του κάθε μύος (Narici et al., 1992). Η **γωνία πρόσφυσης** είναι η γωνία που δημιουργείται μεταξύ μυϊκών δεματίων και του άξονα δράσης του μύος, η οποία πρακτικά ορίζεται ως η γωνία μεταξύ δεματίων και απονευρώσεων (Huijing, 1985; Spector et al., 1980; Spoor et al., 1981). Το **«πάχος» του μύος (thickness)** ορίζεται ως η κάθετη απόσταση μεταξύ των απονευρώσεων και συνδέεται με την εγκάρσια διατομή του μύος (Gans and Vree, 1987).

Η προπόνηση με αντιστάσεις και η έκκεντρη προπόνηση αυξάνουν το μήκος των μυϊκών δεματίων στην κατάσταση ηρεμίας (Baroni et al., 2013; Blazeovich et al., 2007). Έρευνες σε ζώα έχουν δείξει ότι η μακροχρόνια διάταση αυξάνει το μήκος δεματίων των μυών, κυρίως μέσω προσθήκης σαρκομερίων σε σειρά (Goldspink, 1977). Επίσης μετά από έρευνα σε ζώα, οι Mutungi και Ranatunga (1996) ανέφεραν την πιθανότητα οι ίνες ταχείας και βραδείας συστολής να διαφέρουν ως προς τις γλοιοελαστικές τους ιδιότητες και τη διατασιμότητά τους. Στον άνθρωπο δεν είναι γνωστό εάν ακολουθείται η ίδια διαδικασία προσθήκης σαρκομερίων, μετά από χρόνιο ερέθισμα επιμήκυνσης και τα μέχρι στιγμής ερευνητικά δεδομένα για παρεμβάσεις διάρκειας μέχρι 8 εβδομάδων, είναι αντικρουόμενα

(Blazevich et al., 2014; Freitas and Mil-Homens, 2015; Lima et al., 2015; Simpson, 2015). Ωστόσο, πρόσφατες συγχρονικές μελέτες που συνέκριναν αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής και χορεύτριες κλασικού χορού με αθλήτριες πετοσφαίρισης ή φυσικά δραστήριες ασκούμενες, βρήκαν μεγαλύτερο μήκος μυϊκών δεματίων της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου κατά την ηρεμία στις προπονημένες σε ευλυγισία αθλήτριες, το οποίο συνδέονταν με μεγαλύτερο εύρος ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής (Donti et al., 2019; Moltubakk et al., 2018). Η έρευνα των Donti και συνεργατών (2019) βρήκε ότι οι αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής υψηλού επιπέδου είχαν μεγαλύτερο μήκος δεματίων ηρεμίας σε σχέση με αθλήτριες πετοσφαίρισης τόσο στον κεντρικό (στο μέσο της γαστέρας) όσο και στον περιφερικό τομέα του μυός (κοντά στην κατάφυση), καθώς και μεγαλύτερο μήκος δεματίων κατά τη διάταση στον περιφερικό τομέα του μυός. Παρά το γεγονός ότι γενετικοί ή άλλοι παράγοντες (π.χ. επιλογή αθλητριών) μπορεί να επιδρούν στην αρχιτεκτονική των μυών, τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι υπάρχουν διαφορές στο μήκος δεματίων μεταξύ αθλητριών με διαφορετικό υπόβαθρο προπόνησης ευλυγισίας και οι διαφορές αυτές μπορεί να μην είναι ομοιόμορφα κατανομημένες κατά μήκος του μυός.

Περιτονίες

Ο όρος «Περιτονία» περιγράφει μια δεσμίδα ή μεμβράνη από ινώδη μαλακό συνδετικό ιστό που προσκολλάται, περιβάλλει, ή διαχωρίζει όλα τα εσωτερικά όργανα και τους σκελετικούς μύες (Behm and Wilke, 2019). Πρόσφατα δεδομένα αναφέρουν ότι οι περιτονίες συνδέουν ενότητες μυών σε μυοπεριτονιακές αλυσίδες (chains) (Wilke, 2016). Ο Myers (2014) υποστήριξε τη συνεργική δράση κατά μήκος των μυοπεριτονιακών διαδρομών, οι οποίες ανταποκρίνονται συντονισμένα ως μια ενότητα. Αυτό σημαίνει ότι η κάθε περιτονία που διατείνεται «διανέμει» δυνάμεις τάσης στις γειτονικές μυοπεριτονιακές δομές. Έτσι, η φόρτιση του μυοσκελετικού συστήματος με τη μορφή τάσεων ή επιμηκύνσεων κατανέμεται σε όλο το σώμα μέσω των ανατομικών αυτών αλυσίδων (Myers, 2014). Όταν η περιτονία είναι φυσιολογική και ενυδατωμένη, τότε αυτή διατείνεται και κινείται χωρίς περιορισμό. Ένας μυοσκελετικός τραυματισμός ή/και η σωματική αδράνεια συχνά επιφέρουν μείωση της λίπανσης ανάμεσα στις ίνες του κολλαγόνου, με συνέπεια αυτές να “κολλάνε” μεταξύ τους και να συμπεριφέρονται ως κοντύτερες και σκληρότερες, ασκώντας πίεση στους παρακείμενους ιστούς (Paolini, 2009).

Οι ειδικές φυσικοθεραπευτικές τεχνικές μυοπεριτονιακής απελευθέρωσης (κυρίως μέσω μάλαξης ή αυτομάλαξης με διολίσθηση σε αφρώδη κύλινδρο-foam rolling) αυξάνουν σε σημαντικό βαθμό την ενυδάτωση των κολλαγόνων ινών και του συνόλου της περιτονίας (Paolini, 2009). Ως αποτέλεσμα, διευρύνεται η απόσταση μεταξύ των κολλαγόνων ινών, αποκαθίσταται η ελαστικότητα της περιοχής και μειώνεται η πίεση που ασκείται στις παρακείμενες δομές. Οι διατάσεις επίσης επιδρούν θετικά στη διατασιμότητα των περιτονιών και μάλιστα η επίδρασή τους δεν περιορίζεται τοπικά. Ο Wilke και συνεργάτες (2016) αναφέρουν ότι η εφαρμογή στατικών διατάσεων (3 x 30 s) στο γαστροκνήμιο και στους οπίσθιους μηριαίους βελτίωσαν σημαντικά, εκτός από το εύρος κίνησης των ισχίων, και το εύρος κίνησης του αυχένα. Το αποτέλεσμα αυτό επετεύχθη μέσω της διάτασης της επιπολής περιτονίας της οπίσθιας γραμμής, η οποία συνδέει τους οπίσθιους μηριαίους και τους μύες του ιερωνωτιαίου συστήματος.

Τένοντες-σύνδεσμοι

Οι τένοντες είναι δομές συνδετικού ιστού και ενώνουν τα οστά με τους μύες (Alter, 2004). Οι τένοντες αποτελούνται από ίνες κολλαγόνου και ελαστίνη και μοιάζουν με μιάντες οι οποίοι μεταφέρουν τη μυϊκή τάση στα οστά, ώστε να παραχθεί κίνηση. Επιπλέον, σταθεροποιούν τις αρθρώσεις κατά τη στάση και τις κινήσεις, συμβάλλοντας στον κινητικό έλεγχο (Nordin and Frankel, 2001). Οι τένοντες εμφανίζουν αλλαγές στις μηχανικές τους ιδιότητες και στην εγκάρσια διατομή (επιφάνεια), ως προσαρμογή στην άσκηση (Magnusson et al., 2007; Morse et al., 2008). Ωστόσο, λόγω της σύστασής τους, έχουν μειωμένη ικανότητα διάτασης σε σχέση με τους μύες. Για παράδειγμα, ακόμα και μια διάταση μεγάλης διάρκειας (180 s) αλλάζει τη σκληρότητα της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μύος αλλά όχι του Αχίλλειου τένοντα (Konrad et al., 2019; Kubo et al., 2002).

Οι σύνδεσμοι ενώνουν τα οστά μεταξύ τους, ενώ σταθεροποιούν και υποστηρίζουν τις αρθρώσεις. Οι σύνδεσμοι έχουν μικρότερο ποσοστό κολλαγόνου από τους τένοντες και για το λόγο αυτό έχουν μικρότερη διατασιμότητα από ότι οι τένοντες, προβάλλοντας μεγαλύτερη αντίσταση στις εξωτερικές δυνάμεις που επιδρούν στην άρθρωση (Agur and Dalley, 2009).

Νευρικοί παράγοντες

Αντανακλαστικά

Κάθε κίνηση απαιτεί τη συντονισμένη δράση μυών. Ο συντονισμός των συσπάσεων για την από κοινού δράση ανεξάρτητων μυών ονομάζεται κινητικός συντονισμός. Η πλέον στοιχειώδης μορφή του κινητικού συντονισμού είναι τα αντανακλαστικά (Gandevia et al., 1992). Η αντανακλαστική απόκριση εξαρτάται από τη θέση, το είδος και την ισχύ του ερεθίσματος και προστατεύει τον μυ από την εφαρμογή υπερβολικά μεγάλης δύναμης ή πολύ μεγάλης ή πολύ γρήγορης επιμήκυνσης (Gandevia et al., 1992). Οι τεχνικές διάταξης βασίζονται κυρίως στο μυοτατικό και το αντίστροφο μυοτατικό αντανακλαστικό τα οποία οφείλονται στην ενεργοποίηση μηχανοϋποδοχέων, με κυριότερους τη μυϊκή άτρακτο και το όργανο Golgi.

Οι μυϊκές άτρακτοι περιέχουν ενδοατράκτιες μυϊκές ίνες οι οποίες βρίσκονται σε παράλληλη διάταξη με τις εξωατράκτιες ίνες. Οι απολήξεις των ενδοατράκτιων ινών είναι συσταλτές και νευρώνονται με γ – φυγόκεντρες ίνες. Στην κεντρική περιοχή της μυϊκής ατράκτου υπάρχουν πρωτεύουσες αισθητικές απολήξεις οι οποίες αντιδρούν στις μεταβολές του μήκους και της ταχύτητας διάτασης (κεντρομόλες ίνες Ia), και δευτερεύουσες που βρίσκονται στα πλευρά των πρωτεύοντων και αντιδρούν κυρίως στη μεταβολή του μήκους του μυός (κεντρομόλες ίνες II) (Fox, 1984; Gandevia et al., 1992).

Το τενόντιο όργανο του Golgi, είναι ένας άλλος μηχανοϋποδοχέας ο οποίος βρίσκεται στα όρια μεταξύ μυός και τένοντα και αντιδρά τόσο στις μεταβολές μυϊκής τάσης (δύναμης) όσο και στον ρυθμό των μεταβολών δύναμης (Fox, 1984)

Όταν ένας μυς **διατείνεται**, οι **κύριοι μηχανοϋποδοχείς του μυοτατικού αντανακλαστικού (μυϊκή άτρακτος)** στέλνουν ώσεις στο κεντρικό νευρικό σύστημα (νωτιαίος μυελός) για την αύξηση του μήκους του μυός. Σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από τη διάταση (κατά μέσο όρο 30 ms), φυγόκεντρες ώσεις επιστρέφουν από το νωτιαίο μυελό προς τον μυ και προκαλούν την αντανακλαστική σύσπαση του μυός, ο οποίος αντιστέκεται στη διάταση (μυοτατικό αντανακλαστικό) (Epoika, 2002; Gandevia et al., 1992). Κατά τη διάρκεια της διάτασης πρέπει να αποφεύγεται ο ερεθισμός των μυϊκών ατράκτων και η ακόλουθη ενεργοποίηση του μυοτατικού αντανακλαστικού γιατί η κίνηση θα περιοριστεί από την αντανακλαστική μυϊκή σύσπαση. Εάν οι μυϊκές άτρακτοι δεν ερεθιστούν και

η διάταση του μυός συνεχισθεί ήπια και για παρατεταμένο χρονικό διάστημα (μεγαλύτερο των 6 δευτερολέπτων) οι ώσεις από τους αισθητήρες τάσεως (κεντρομόλες ίνες Ib από τα όργανα Golgi) υπερκαλύπτουν τις ώσεις από τις μυϊκές ατράκτους. **Οι νευρικές ώσεις από τα όργανα Golgi** σε αντίθεση με τις νευρικές ώσεις από τις μυϊκές ατράκτους, προκαλούν την αντανακλαστική χαλάρωση του μυός (αντίστροφο μυοτατικό αντανακλαστικό ή αυτογενής αναστολή). Αυτή η αντανακλαστική χαλάρωση χρησιμεύει ως προστατευτικός μηχανισμός από την υπερβολική ανάπτυξη τάσης και επιτρέπει στον μυ να αυξήσει το μήκος του μέσω της χαλάρωσής του (Enoka, 2002).

Τα νευρομυϊκά αντανακλαστικά προσαρμόζονται στη συστηματική διάταση και μεταβάλλουν την ικανότητα χαλάρωσης του μυός με αποτέλεσμα την προστασία του. Γνωρίζοντας τη λειτουργία αυτών των αντανακλαστικών, μπορούμε να επιτύχουμε αυξημένο βαθμό χαλάρωσης του μυός και συνεπώς μεγαλύτερη διάταση (Nelson and Bandy, 2004; Nelson and Bandy, 2005). Ο ρόλος του μυοτατικού αντανακλαστικού κατά τη διάταση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της διάτασης που εκτελείται. Οι Nelson και συνεργάτες (2005) αναφέρουν ότι το μυοτατικό αντανακλαστικό ενεργοποιείται σε γρήγορες και απότομες αυξήσεις του μήκους του μυός όπως κατά τις βαλλιστικές διατάσεις αυξάνοντας τον κίνδυνο τραυματισμού.

Αμοιβαία αναστολή

Οι μύες λειτουργούν συνήθως σε ζεύγη και όταν μια ομάδα μυών συσπάται (αγωνιστές μύες της κίνησης), προκαλείται χαλάρωση στους ανταγωνιστές της κίνησης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **αμοιβαία αναστολή** (Alter, 2004; Nelson and Bandy, 2004). Πιο συγκεκριμένα, όταν οι κινητικοί νευρώνες ενός μυός δέχονται ερεθίσματα σύσπασης, οι κινητικοί νευρώνες του ανταγωνιστή της κίνησης μυός δέχονται ανασταλτικά νευρικά ερεθίσματα (χαλάρωση) σχεδόν την ίδια στιγμή με τη σύσπαση του αγωνιστή (Enoka, 2002). Για παράδειγμα όταν ο πήχης κάμπτεται προς τον βραχίονα, μέσω σύσπασης του δικέφαλου βραχιονίου, ο τρικέφαλος βραχιόνιος ο οποίος εκτείνει τον αγκώνα πρέπει να χαλαρώσει. Αυτό το σύστημα συντονισμένης και αντίθετης δράσης των αγωνιστών-ανταγωνιστών μυών της κίνησης, δηλαδή η **αμοιβαία αναστολή**, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί το εύρος κίνησης κατά τη διάταση.

Ηλικία και φύλο

Τα ευρήματα σχετικά με την ηλικία και την ευλυγισία είναι αντικρουόμενα και ειδικά αυτά που αφορούν τη μείωση ή όχι του εύρους κίνησης κατά τη διάρκεια της φάσης της ραγδαίας αύξησης του αναστήματος των παιδιών (peak height velocity ή PHV). Η σύγκριση μεταξύ ερευνών είναι δύσκολη διότι έχουν εξεταστεί διαφορετικοί πληθυσμοί και διαφορετικές αρθρώσεις οι οποίες μπορεί να επηρεάζονται πολύ από την αύξηση του αναστήματος (όπως π.χ. το ισχίο) ή να μην επηρεάζονται ιδιαίτερα (όπως π.χ. ο ώμος) (Corbin and Noble, 1980; Feldman et al., 1999). Σε γενικές γραμμές τα παιδιά είναι πιο ευλύγιστα από τους ενήλικες και βαθμιαία το εύρος κίνησης μειώνεται ελαφρά σε κάποιες αρθρώσεις μέχρι την εφηβεία (Corbin and Noble, 1980; Malina et al., 2004). Σε μία από τις πρώτες έρευνες ευλυγισίας σε παιδικό πληθυσμό εξετάστηκαν 4.500 παιδιά ηλικίας από τη νηπιακή ηλικία έως την ενηλικίωση. Βρέθηκε ότι στην ηλικία των 5 ετών το 86% των παιδιών μπορούσε να αγγίξει με τεντωμένα γόνατα τα δάχτυλα των ποδιών του (Kendall et al., 1948). Από την ηλικία των 6 έως την ηλικία των 12 ετών το ποσοστό μειώθηκε στο 30% και μετά την ηλικία των 13 ετών σταδιακά αυξήθηκε ελαφρά (Kendall et al., 1948). Φυσικά, η μελέτη αυτή είχε περιορισμούς, όπως για παράδειγμα τη διαφορετική αναλογία μήκους κορμού και άκρων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης.

Άλλες έρευνες, επίσης σε γενικό πληθυσμό, ανέφεραν ότι το εύρος κίνησης παρέμεινε αμετάβλητο κατά την εφηβεία (Feldman et al., 1999) ενώ έρευνες σε αθλητές καταδύσεων βρήκαν ότι η ραγδαία κατά μήκος ανάπτυξη των οστών επιδρά αρνητικά στη βελτίωση ή διατήρηση του εύρους κίνησης (Malina, 2007). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε αθλήματα με μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης στα οποία κατά την εφηβεία οι τεχνικές απαιτήσεις αυξάνονται (Douda et al., 2007; Donti et al., 2018; Malina, 2007). Μετά την εφηβεία η ευλυγισία σταθεροποιείται, ενώ μετά την ενηλικίωση μειώνεται σταδιακά (Malina et al., 2004).

Σε ό,τι αφορά το φύλο, προηγούμενες έρευνες αναφέρουν ότι οι γυναίκες είναι γενικά πιο ευλύγιστες από τους άντρες (Haley et al., 1986; Malina et al., 2004). Διάφοροι παράγοντες, όπως η μικρότερη μυϊκή μάζα και μυϊκή ισχύς των γυναικών, η γεωμετρία και μορφολογία των αρθρώσεων των γυναικών (π.χ των ισχιών), οι ορμονικές διαφορές, καθώς και διαφορές στο κολλαγόνο συμβάλουν στη μεγαλύτερη ευλυγισία των γυναικών (Ichinose et al., 1998).

Προθέρμανση

Η προθέρμανση είναι ένας «εξωτερικός» παράγοντας που συμβάλλει στην «οξεία» (δηλαδή πρόσκαιρη) αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων. Η προθέρμανση, περιλαμβάνει διάφορους τύπους δραστηριότητας οι οποίοι αποσκοπούν στη βέλτιστη προετοιμασία του οργανισμού για το κύριο μέρος της προπόνησης ή του αγώνα. Επιδρά στην ακόλουθη αύξηση της απόδοσης μέσω μηχανισμών που συνδέονται με την άνοδο της θερμοκρασίας καθώς και μέσω μεταβολικών μηχανισμών (Bishop, 2003). Η άνοδος της θερμοκρασίας αυξάνει τη διατασιμότητα των ιστών, επιφέρει αυξημένο μυϊκό μεταβολισμό, νευρομυϊκή αγωγιμότητα καθώς και βελτίωση της κινητικής $\dot{V}O_2$ (Woods et al., 2007). Έχει βρεθεί επίσης θετική συσχέτιση μεταξύ αύξησης θερμοκρασίας στους μύες και βελτίωσης της μυϊκής ισχύος (1 °C αύξηση της θερμοκρασίας, επιφέρει βελτίωση 2-5% στην μυϊκή ισχύ ανάλογα με τον τύπο και την ταχύτητα της μυϊκής σύσπασης) (Bishop, 2003). Σημείο προσοχής για την προθέρμανση αποτελεί το ότι η θερμοκρασία του μυός ανεβαίνει γρήγορα από τα αρχικά επίπεδα (35–37 °C) και φτάνει σε σχετική ισορροπία μετά από 10-20 min προθέρμανσης (Bishop and Maxwell, 2009; McGowan et al., 2015). Η άνοδος της θερμοκρασίας παρόλο που επιδρά θετικά στη διατασιμότητα των ιστών, δεν επαρκεί από μόνη της για να αυξηθεί σημαντικά το εύρος κίνησης των αρθρώσεων και πρέπει να συνδυάζεται με στατικές και δυναμικές διατατικές ασκήσεις και ενεργητικές κινήσεις στο λειτουργικό εύρος κίνησης της άρθρωσης (Knudson, 2008; Shrier and Gossal, 2000).

Η ικανότητα της ευλυγισίας στο σύστημα προετοιμασίας νέων αθλητών

Μοντέλο μακρόχρονης ανάπτυξης νέων αθλητών

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον σχετικά με την ενασχόληση των παιδιών και εφήβων με την άσκηση, διότι παρατηρείται ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός νέων που δεν ασχολούνται με τη φυσική δραστηριότητα σε βαθμό επαρκή ώστε να διασφαλίζεται η σωματική και ψυχική τους υγεία (Barker et al., 2014; European Commission, 2014). Ο σύγχρονος τρόπος ζωής, η πολύωρη ενασχόληση των παιδιών με καθιστικές δραστηριότητες και οι ακατάλληλες διατροφικές συνήθειες, θεωρούνται οι κυριότερες αιτίες αυτού του φαινομένου (Lloyd et al., 2016; National Association for Sport and Physical Education, 2012).

Οι σημαντικές, βιολογικές, ψυχολογικές και κοινωνικές διαφορές, που έχουν αναφερθεί μεταξύ νέων και ενηλίκων ασκούμενων, καθιστούν αναγκαίο τον σχεδιασμό εξειδικευμένων, αναπτυξιακά κατάλληλων προγραμμάτων άσκησης τα οποία θα έχουν ως στόχο την ολόπλευρη ανάπτυξη, τη μείωση του κινδύνου τραυματισμού και την υιοθέτηση ενός κινητικά δραστήριου τρόπου ζωής (Lloyd et al., 2016). Ιδιαίτερο κεφάλαιο αποτελούν οι νέοι αθλητές γιατί συχνά υπόκεινται σε προπονητικές και αγωνιστικές επιβαρύνσεις σχεδιασμένες για ενήλικες, ενώ έχουν ανεπαρκή φυσική κατάσταση, έλλειμμα μακροχρόνιων προσαρμογών και αυξημένες πιθανότητες τραυματισμού και εγκατάλειψης του αθλήματος (Lloyd et al., 2016).

Πρόσφατα, προτάθηκαν διάφορα μοντέλα μακρόχρονης ανάπτυξης νέων αθλητών τα οποία αποτυπώνουν γενικές κατευθύνσεις αθλητικής προετοιμασίας (Balyi and Hamilton, 2000; Barker et al., 2014; Lloyd et al., 2015a; Lloyd et al., 2015b). Ένα από τα πιο γνωστά είναι το «**Long-term athletic development**» (LTAD) (Balyi and Hamilton, 2000; Lloyd et al., 2015a, b). Σε αυτό το μοντέλο, προτείνεται η από μικρή ηλικία, συστηματική, έντονη και δομημένη άσκηση για τουλάχιστον 3 φορές την εβδομάδα, καθώς και ο προσδιορισμός του περιεχομένου της προπόνησης με βάση την ανάπτυξη και την ωρίμανση των παιδιών, την πιθανή εξειδίκευση σε ένα άθλημα, τον κίνδυνο τραυματισμού (Lloyd et al., 2015a) ενώ λαμβάνονται υπόψη και οι περιορισμοί των μέχρι σήμερα προπονητικών πρακτικών (π.χ των ωρών προπόνησης) (Lloyd et al., 2015a,b). Ένα πρόσφατο μοντέλο το οποίο αποτελεί παραλλαγή του LTAD για τη μακρόχρονη ανάπτυξη νέων αθλητών, είναι το «**Youth Physical Development Model**» (Lloyd and Oliver, 2012). Βασική κατεύθυνση για νέους αθλητές είναι η εντατικοποίηση της προπόνησης για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης κοντά την ενηλικίωση, εστιάζοντας σε μακροπρόθεσμους στόχους έναντι «γρήγορων» επιτυχιών κατά τις αναπτυξιακές ηλικίες (Lloyd and Oliver, 2012; Pichardo et al., 2018). Κύριος στόχος της προπόνησης στην παιδική και εφηβική ηλικία είναι η ανάπτυξη όλων των φυσικών ικανοτήτων και η εκμάθηση σωστών κινητικών προτύπων (Behm et al., 2008; Behm et al., 2017; Lloyd et al., 2011; Lloyd and Oliver, 2012) (Σχήμα 1). Επιπλέον, υιοθετείται η ηλικία κατά την οποία παρατηρείται ο **μέγιστος ρυθμός αύξησης του αναστήματος (Peak Height Velocity, PHV)** ως δείκτης βιολογικής ωρίμανσης, ο οποίος αφενός αναδεικνύει την ανάγκη εξατομικευμένης προπονητικής προσέγγισης και αφετέρου δείχνει ότι η ανάπτυξη των φυσικών

ικανοτήτων και κινητικών δεξιοτήτων δεν βρίσκεται απαραίτητα σε γραμμική σχέση με την χρονολογική ηλικία (Lloyd and Oliver, 2012; Papaϊακονου et al., 2009). Σε αυτό το μοντέλο οι Lloyd και Oliver (2012) προτείνουν την ανάπτυξη της ευλυγισίας από τη νηπιακή ηλικία (Σχήμα 1). Συνεπώς, η συστηματική προπόνηση ευλυγισίας είναι καλό να ξεκινά από την προσχολική ηλικία, με την ηλικία των 6-10 ετών να προτείνεται ως «ευαίσθητη περίοδος» για μορφολογικές προσαρμογές. Η ηλικία αυτή προτείνεται και από άλλους συγγραφείς, ως «ευαίσθητη περίοδος» ανάπτυξης της ευλυγισίας (Drabik, 1996; Sands and McNeal, 2019) Η προπόνηση με διατάσεις μετά την ηλικία των 10 ετών για τα κορίτσια και 12 για τα αγόρια, πιθανόν επιφέρει μικρότερη βελτίωση της ευλυγισίας (Σχήμα 1). Ωστόσο, η ευλυγισία αποτελεί σημαντική φυσική ικανότητα η οποία δεν πρέπει να παραμελείται σε κανένα στάδιο προετοιμασίας νέων αθλητών (Σχήμα 1).

Η ικανότητα των παιδιών να κινηθούν σε ένα μεγάλο εύρος προσδιορίζεται τόσο από δομικές (ανατομικές και μορφολογικές) όσο και από λειτουργικές παραμέτρους (Sands and McNeal, 2019). Εμπειρέχει ένα βέλτιστο παθητικό εύρος κίνησης για τις πιο σημαντικές αρθρώσεις, και, επιπρόσθετα, μυϊκή δύναμη, μυϊκή αντοχή στους σταθεροποιούς μύες και κινητικό έλεγχο σε αυτό το εύρος. Κατά την προπόνηση ευλυγισίας σε νέους αθλητές πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή θέση σώματος και στην ευθυγράμμιση των αρθρώσεων για να διασφαλιστεί η σωστή διάταση των δομών που συμμετέχουν σε κάθε κίνηση. Το ακριβές περιεχόμενο και η ένταση της προπόνησης ευλυγισίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το άθλημα. Σε αθλήματα με μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης, όπως τα αθλήματα γυμναστικής, στην ηλικία των 6-11 ετών δίνεται πολύ μεγαλύτερη έμφαση στην προπόνηση ευλυγισίας από ότι σε άλλα (Mc Neal and Sands, 2006; Sands, 2002; Sands et al., 2016; Wormhoudt et al., 2018). Για την προπόνηση ευλυγισίας είναι επίσης σημαντική η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ προσαρμογών προπόνησης και ανάπτυξης (θετικών και αρνητικών προσαρμογών) (Brodie and Royce, 1998; Feldman et al., 1999). Χρειάζεται ωστόσο περαιτέρω έρευνα για τον προσδιορισμό τόσο των πρωτοκόλλων προπόνησης όσο και των δοκιμασιών ευλυγισίας που είναι κατάλληλες για κάθε ηλικιακό στάδιο και άθλημα.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΚΟΡΙΤΣΙΑ (YOUTH PHYSICAL DEVELOPMENT MODEL), Προσαρμοσμένο από Lloyd & Oliver (2012)																							
ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ (ΕΤΗ)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+			
ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΙ	ΠΡΩΙΜΗ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ			ΜΕΣΗ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ					ΕΦΗΒΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ							ΕΝΗΛΙΚΙΩΣΗ							
ΡΥΘΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ	ΤΑΧΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ			↔			ΣΤΑΘΕΡΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ			↔			ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ "ΕΚΡΗΣΗ"			↔			ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ				
ΩΡΙΜΑΝΣΗ	ΕΤΗ ΠΡΙΝ ΡΗV								↔								ΡΗV		↔			ΕΤΗ ΜΕΤΑ ΡΗV	
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ	ΚΥΡΙΩΣ ΝΕΥΡΙΚΕΣ (ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ)								↔												ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΜΟΝΙΚΩΝ (ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ)		
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ	ΘΚΔ	ΘΚΔ	ΘΚΔ	ΘΚΔ																			
	ΕΚΔ	ΕΚΔ	ΕΚΔ	ΕΚΔ																			
	ΕΥΛΥΓΣΙΑ	ΕΥΛΥΓΣΙΑ			ΕΥΛΥΓΣΙΑ																		
	ΕΥΚΙΝΗΣΙΑ	ΕΥΚΙΝΗΣΙΑ			ΕΥΚΙΝΗΣΙΑ							ΕΥΚΙΝΗΣΙΑ											
	ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ			ΤΑΧΥΤΗΤΑ							ΤΑΧΥΤΗΤΑ											
	ΔΥΝΑΜΗ	ΔΥΝΑΜΗ			ΔΥΝΑΜΗ							ΔΥΝΑΜΗ											
	ΙΣΧΥΣ	ΙΣΧΥΣ			ΙΣΧΥΣ							ΙΣΧΥΣ											
	ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ			ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ	ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ							ΥΠΕΡΤΡΟΦΙΑ											
	ΑΝΤΟΧΗ & ΚΕ	ΑΝΤΟΧΗ & ΚΕ			ΑΝΤΟΧΗ & ΚΕ							ΑΝΤΟΧΗ & ΚΕ											
	ΔΟΜΗ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ	ΧΩΡΙΣ ΔΟΜΗ			«ΧΑΛΑΡΑ» ΔΟΜΗΜΕΝΗ					ΜΕΤΡΙΑ ΔΟΜΗΜΕΝΗ			ΑΥΣΤΗΡΑ ΔΟΜΗΜΕΝΗ			ΠΟΛΥ ΑΥΣΤΗΡΑ ΔΟΜΗΜΕΝΗ							

ΡΗV = PEAK HEIGHT VELOCITY (φάση «ραγδαίας αύξησης του αναστήματος»), ΚΕ= κινητικός έλεγχος, ΕΚΔ= εξειδικευμένες κινητικές δεξιότητες ανάλογα με το άθλημα, ΘΚΔ= Θεμελιώδεις κινητικές δεξιότητες

Σχήμα 1. Το μοντέλο ανάπτυξης φυσικών ικανοτήτων (Youth Physical Development Model) για κορίτσια. Το μέγεθος των γραμμάτων δείχνει τη σημασία της κάθε ικανότητας στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Το ανοιχτό ροζ χρώμα στα κελιά αποτυπώνει την προεφηβική ηλικία, το σκούρο ροζ την εφηβεία. Προσαρμοσμένο από Lloyd & Oliver (2012)

Παράγοντες που επηρεάζουν την ευλυγισία κατά την ανάπτυξη

Η ικανότητα της ευλυγισίας μεταβάλλεται κατά την ανάπτυξη λόγω του διαφορετικού ρυθμού ανάπτυξης του σκελετού και των μυοτενόντιων δομών (Malina et al., 2004). Η ηλικία των 6-10 ετών θεωρείται βέλτιστο χρονικό πλαίσιο για την ανάπτυξη της ευλυγισίας (Lloyd and Oliver, 2012; Sands and Mc Neal, 2019) ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα σε παιδιά και εφήβους σχετικά με λειτουργικές και αρχιτεκτονικές προσαρμογές μετά από συστηματική και πολυετή προπόνηση ευλυγισίας.

Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών κατά την ανάπτυξη

Η μυϊκή απόδοση εξαρτάται από τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και το μέγεθος της μυοτενόντιας μονάδας. Ο όρος αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών αναφέρεται στο μήκος των μυϊκών δεματίων, στη γωνία πρόσφυσης των

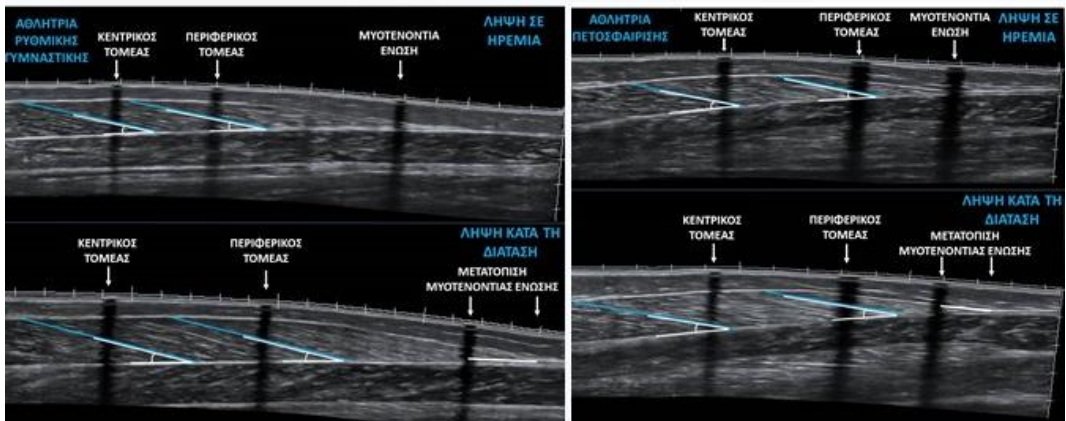
δεματίων και στην απόσταση μεταξύ των απονευρώσεων («πάχος» του μυός) (Aaagard and Thorstensson, 2003; Huijing, and Woittiez, 1984; Lieber and Frieden, 2000). Συνήθως, το μήκος της μυοτενόντιας μονάδας αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του μήκους των οστών (Benard et al., 2011; Legerlotz et al., 2011). Όμως, κατά την περίοδο της ραγδαίας αύξησης του αναστήματος, παρατηρούνται συχνά μεγαλύτερες μεταβολές στο μήκος των οστών σε σύγκριση με το μήκος της μυοτενόντιας μονάδας, με συνέπεια τη μείωση της ευλυγισίας (Benard et al., 2011; Legerlotz et al., 2010).

Η ικανότητα των μυών να προσαρμόζονται στο μήκος τους εξαρτάται σημαντικά από το μήκος των μυϊκών δεματίων (Franchi et al., 2016). Οι O' Brien και συν (2010) εξέτασαν τους εκτεινόμενους μύες του γόνατος σε παιδιά και ενήλικες και των δύο φύλων και ανέφεραν ότι τα παιδιά έχουν μικρότερο μήκος μυϊκών δεματίων σε σχέση με τους ενήλικες, γεγονός που δείχνει μικρότερη ικανότητα επιμήκυνσης και ταχύτητας σύσπασης. Στην ίδια έρευνα, δεν βρέθηκε διαφορά στην αναλογία του μήκους των μυϊκών δεματίων προς το μήκος του μυός, ωστόσο υπήρχαν μεγάλες διαφορές στο μήκος των τενόντων μεταξύ των υπό εξέταση ομάδων (O' Brien et al., 2010). Από τα μέχρι στιγμής ερευνητικά δεδομένα σε έρευνες που έχουν εξετάσει παιδιά και εφήβους, φαίνεται ότι το μήκος των μυϊκών δεματίων αυξάνεται κατά 4% ανά έτος έως την ενηλικίωση (Benard et al., 2011).

Οι τένοντες έχουν μικρότερη σκληρότητα σε αγόρια παιδικής ηλικίας από ό,τι σε αγόρια εφηβικής ηλικίας και σε ενήλικες, πιθανόν διότι ο μυοτενόντιος ιστός των αθλητών κατά τη διάρκεια της προεφηβείας είναι πιο «ελαστικός» σε σύγκριση με αθλητές μεγαλύτερης ηλικίας (Kubo et al., 2001). Η ανάπτυξη των τενόντων κατά την παιδική και εφηβική ηλικία γίνεται τόσο ως προς τις διαστάσεις (μήκος και εγκάρσια διατομή τένοντα) όσο και προς τις ιδιότητές τους (Kubo et al., 2001; Kubo et al., 2007).

Σημαντικό ερέθισμα για την ανάπτυξη των μυών είναι η επιμήκυνσή τους. Από έρευνες σε ζώα έχει βρεθεί ότι η αύξηση της επιμήκυνσης του μυός οφείλεται σε αύξηση του αριθμού των σαρκομερίων σε σειρά (Herring et al., 1984; Huijing, 1981; Huijing and Jaspers, 2005). Πρόσφατη έρευνα των Panidi και συνεργατών (2020) που εξέτασε την αρχιτεκτονική της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου σε αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής και πετοσφαίρισης παιδικής ηλικίας (9-10 ετών), δεν βρήκε διαφορές μεταξύ αθλητριών στο μήκος δεματίων, τη γωνία πρόσφυσης και την απόσταση μεταξύ των απονευρώσεων, κατά τη συνθήκη ηρεμίας

(Panidi et al., 2020). Ωστόσο, κατά τη διάταση, οι αθλήτριες ρυθμικής παρουσίασαν μεγαλύτερη επιμήκυνση μυϊκών δεματίων τόσο στο κεντρικό όσο και στον περιφερικό τομέα του μυός κατά 23% και 47%, αντίστοιχα και μεγαλύτερη ραχιαία κάμψη της ποδοκνημικής κατά 33% (Panidi et al., 2020). Κατά τους συγγραφείς, η μεγαλύτερη ικανότητα επιμήκυνσης των μυϊκών δεματίων κατά τη διάταση στις προπονημένες σε ευλυγισία αθλήτριες, πιθανόν αποτελεί μια πρόιμη προσαρμογή για την αύξηση του μήκους των μυϊκών δεματίων σε ηρεμία που έχει παρατηρηθεί σε κάποιες περιπτώσεις σε ενήλικους αθλητές (Freitas et al., 2008; Simpson et al., 2017). Η επίδραση της διάτασης στις αρχιτεκτονικές παραμέτρους του μυός απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Πανοραμική υπερηχογραφική απεικόνιση της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου αθλητριών πετοσφαίρισης (δεξιά) και ρυθμικής γυμναστικής (αριστερά) παιδικής ηλικίας. Απεικονίζονται το μήκος και η γωνία πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων, στον κεντρικό και περιφερικό τομέα του μυός, σε συνθήκη ηρεμίας και διάτασης. (Τροποποιημένο από Panidi et al., 2020)

Εύρος κίνησης των αρθρώσεων και ανάπτυξη

Υπάρχει περιορισμένος αριθμός μελετών σχετικά με το εύρος κίνησης διαφορετικών αρθρώσεων σε αναπτυσσόμενα παιδιά και ιδιαίτερα αθλητές. Σε κάποιες έρευνες σε γενικό πληθυσμό έχει παρατηρηθεί μείωση του εύρους κίνησης κατά την ανάπτυξη. Ο Benard και συν. (2011) ανέφερε ότι το εύρος κίνησης της ποδοκνημικής άρθρωσης, μειώθηκε κατά 1.5° ανά έτος από την ηλικία των 5 έως 12

ετών, σε παιδιά που δεν υπήρχε μηχανικό ερέθισμα αύξησης, όπως η προπόνηση. Παρόμοια μείωση (κατά 2^ο ανά έτος) ανέφερε και ο Cheng και συν. (1991).

Η σωματική ανάπτυξη επηρεάζει το εύρος κίνησης κάποιων αρθρώσεων και ιδιαίτερα τις διαφορές μεταξύ των φύλων. Η σωματική ανάπτυξη κατά την παιδική ηλικία είναι σχετικά σταθερή (κατά μέσο όρο το ανάστημα αυξάνεται κατά 5-7,6 cm ανά έτος), χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ φύλων (Malina et al., 2004). Σε αντίθεση στην εφηβεία, στα αγόρια, το ανάστημα και η σωματική μάζα μπορεί να αυξηθούν περισσότερο από 10 cm και 10 kg ανά έτος, ενώ οι μεταβολές αυτές στα κορίτσια είναι μικρότερες (5-7 cm και 4-6 kg) και εμφανίζονται κατά κανόνα 1-2 χρόνια νωρίτερα (Berk, 2017). Γενικά, κατά την εφηβεία η αύξηση του μήκους των μακρών οστών, συνοδεύεται και από αύξηση του μήκους της μυοτενόντιας μονάδας η οποία οφείλεται στην αύξηση των μυϊκών δεματίων και της διαμέτρου τους. Με περισσότερες μυϊκές δομές σε σειρά η αντίσταση στην επιμήκυνση είναι μεγαλύτερη (αυξημένη μυϊκή σκληρότητα) (Benard et al., 2011). Αυτές οι μεταβολές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για νέους αθλητές. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι η αύξηση του αναστήματος επιδρά αρνητικά στην αύξηση τους εύρους κίνησης κατά την εφηβεία και ιδιαίτερα σε αθλήματα με μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης όπως οι καταδύσεις, στα οποία κατά την εφηβεία οι απαιτήσεις εκτέλεσης δύσκολων τεχνικά στοιχείων σε ασυνήθιστα μεγάλο εύρος κίνησης, αυξάνονται (Malina, 2007).

Πρέπει να επισημανθεί ότι η επιλογή δοκιμασιών αξιολόγησης της ευλυγισίας ανάλογα με την ηλικία και το φύλο, είναι καθοριστική για τον σχεδιασμό προγραμμάτων προπόνησης για τη βελτίωσή της. Προγενέστερη έρευνα, που διεξήχθη σε γενικό πληθυσμό, εξέτασε το εύρος κίνησης στη δοκιμασία «sit and reach» και βρήκε ότι η διατασιμότητα των οπισθίων μηριαίων και των μυών της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης είναι αμετάβλητη από την ηλικία των 5 έως 11 ετών στα κορίτσια, αυξάνεται σημαντικά έως την ηλικία των 15 ετών και μετά σταθεροποιείται, ενώ στα αγόρια, μειώνεται σταδιακά από την ηλικία των 5 έως 13 ετών και μετά αυξάνεται σταδιακά έως την ηλικία των 18 ετών (Malina et al., 2004). Όμως, μεγάλο μέρος των διαφορών στην ευλυγισία μεταξύ των δύο φύλων οφείλονται στη διαφορετική αύξηση του μήκους των οστών των σκελών και του κορμού. Κατά τη διάρκεια της φάσης που παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του αναστήματος στα κορίτσια, αυξάνεται περισσότερο το καθιστό ύψος (δηλαδή, αυξάνεται το μήκος του κορμού περισσότερο από αυτό των σκελών), βελ-

τιώνοντας την επίδοσή τους σε αυτήν τη δοκιμασία. Ταυτόχρονα, αυξάνεται το μήκος των οστών των άνω άκρων βελτιώνοντας την απόσταση που μπορούν να φθάσουν τα χέρια τους κατά τη μέτρηση. Αντίθετα, στα αγόρια η μεγαλύτερη μείωση στο σκορ αυτής της δοκιμασίας συμβαίνει κατά τη μέγιστη ταχύτητα αύξησης του αναστήματος λόγω αύξησης του μήκους των σκελών ενώ αργότερα βελτιώνεται το εύρος κίνησης λόγω της ταυτόχρονης αύξησης του μήκους του κορμού και των άνω άκρων. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή αυτής της δοκιμασίας αξιολόγησης, διαστρεβλώνει την πραγματική εικόνα των μεταβολών της ευλυγισίας. Συνεπώς, οι γνώσεις σχετικά με το ρυθμό ανάπτυξης των διαφόρων μελών του σώματος των παιδιών είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό προγραμμάτων βελτίωσης της ευλυγισίας κατά την ανάπτυξη.

Σημασία της ευλυγισίας για την αθλητική απόδοση

Στα επόμενα δύο υπο-κεφάλαια θα εξεταστεί η ευλυγισία ως χρόνια προσαρμογή και όχι ως άμεση απόκριση στο ερέθισμα της διάτασης, καθώς και το πώς αυτή σχετίζεται με την αθλητική απόδοση και τον κίνδυνο τραυματισμού. Παλαιότερες έρευνες οι οποίες εξέτασαν τη σημασία της ευλυγισίας ως παράμετρο ευρωστίας σε γενικό πληθυσμό ανέφεραν ότι συνδέεται με την κινητική επάρκεια των ασκουμένων (Leighton, 1960) και πιο πρόσφατα, ότι αποτελεί βασική παράμετρο φυσικής κατάστασης σε γενικό πληθυσμό (Corbin and Noble, 1980; Magnusson and Renström, 2006). Ωστόσο, η σημασία της ευλυγισίας για την αθλητική απόδοση και ιδιαίτερα για αναπτυσσόμενους αθλητές, είναι λιγότερο τεκμηριωμένη (Sands, et al., 2016).

Σε κάποια αθλήματα, όπως τα αθλήματα γυμναστικής, η συγχρονισμένη κολύμβηση το καλλιτεχνικό πατινάζ, οι καταδύσεις και ο κλασικός χορός απαιτείται ασυνήθιστα μεγάλο εύρος κίνησης στις περισσότερες αρθρώσεις (Moltubakk et al., 2018; Sands et al., 2016). Σε αυτά τα αθλήματα η προπόνηση ευλυγισίας ξεκινά από πολύ μικρή ηλικία (6-7 ετών) και οι απαιτήσεις εύρους κίνησης αυξάνονται όσο το επίπεδο απόδοσης των αθλητών ανεβαίνει (Donti et al., 2016). Σε άλλα αθλήματα όπως οι πολεμικές τέχνες, η πετοσφαίριση, η άρση βαρών η κολύμβηση και συγκεκριμένα αθλήματα του στίβου (π.χ δρόμος μετ' εμποδίων ή ακόντιο), απαιτείται μεγάλο εύρος κίνησης σε συγκεκριμένες αρθρώσεις, όπως το ισχίο, ο ώμος ή η ποδοκνημική (Bak and Magnusson, 1997; Jagomägi and Jürimäe, 2005; Stickley et al., 2008; Stone et al., 2006). Τέλος, σε αθλήματα ό-

πως ο μαραθώνιος δρόμος δεν απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο εύρος σε καμία άρθρωση. Η σημασία συνεπώς, της ευλυγισίας για την αθλητική απόδοση διαφοροποιείται ανάλογα με το άθλημα και τις παραμέτρους τεχνικής που πρέπει να εκτελέσει ο αθλητής. Στόχος της προπόνησης ευλυγισίας και ιδιαίτερα για νέους αθλητές πρέπει να είναι η απόκτηση βέλτιστου και όχι μέγιστου εύρους κίνησης, ανάλογα με το άθλημα, την ηλικία, το επίπεδο και τις ανατομικές ιδιαιτερότητες του κάθε αθλητή.

Έχει βρεθεί ότι σε αθλήματα με μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης, οι αθλητές έχουν σημαντικά μεγαλύτερο εύρος κίνησης σε κάποιες αρθρώσεις, σε σύγκριση με φυσικά δραστήριους ασκούμενους ή αθλητές άλλων αθλημάτων, ενώ αυτή η διαφορά γίνεται εμφανής ήδη από την παιδική και εφηβική ηλικία (Bennell et al., 199; Cho et al., 2017; Hawrylak et al., 2015; Holt et al., 2017; Kibler and Chandler, 2003; Kirby et al., 1981). Σε αυτά τα αθλήματα, έχει βρεθεί γραμμική σχέση μεταξύ ευλυγισίας και απόδοσης, δηλαδή, το μεγαλύτερο εύρος κίνησης συνδέεται γενικά με καλύτερη αθλητική απόδοση. Για παράδειγμα, το εύρος κίνησης του ώμου και του ισχίου ήταν σημαντικά μεγαλύτερα σε έφηβες αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής υψηλού επιπέδου σε σύγκριση με αθλήτριες χαμηλότερου επιπέδου (Douda et al., 2008). Το εύρος κίνησης των ίδιων αρθρώσεων (ώμων και ισχίων) ήταν επίσης μεγαλύτερο σε αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής παιδικής ηλικίας που προκρίθηκαν στον τελικό του εθνικού πρωταθλήματος σε σχέση με αυτές που δεν προκρίθηκαν (Donti et al., 2016). Σε άλλη έρευνα σε αθλητές αναρρίχησης αναφέρεται επίσης ότι οι υψηλότερου επιπέδου αθλητές είχαν μεγαλύτερο εύρος κίνησης στην άρθρωση του ισχίου σε σχέση με αθλητές χαμηλότερου επιπέδου (Grant et al., 1996).

Το μεγάλο εύρος κίνησης αυξάνει επίσης το εύρος στο οποίο εφαρμόζονται δυνάμεις και αποτελεί καθοριστική παράμετρο για την εκτέλεση της τεχνικής κάποιων αθλημάτων. Ωστόσο, παρόλο που τα μέχρι στιγμής ευρήματα σε ενήλικες αθλητές δείχνουν ότι η χρόνια αύξηση του εύρους κίνησης συνδέεται με βελτίωση παραμέτρων μυϊκής δύναμης και ισχύος (Ryan et al., 2011; Worell et al., 1994) δεν υπάρχουν μελέτες σε αναπτυσσόμενους αθλητές, για τη σχέση μεταξύ εύρους κίνησης και μυϊκής δύναμης, ισχύος και τεχνικής. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι, το εύρος κίνησης στις υπάρχουσες εργασίες εξετάζεται με γενικές δοκιμασίες και όχι με εξειδικευμένες ανάλογα με το άθλημα ή το επίπεδο απόδοσης των αθλητών (Mc Guigan, 2014). Οι γενικές δοκιμασίες ωστόσο, μπορεί να

μην είναι αρκετά «ευαίσθητες» για να εντοπίσουν μικρές διαφορές στο εύρος κίνησης μεταξύ προπονημένων σε ευλυγισία νέων αθλητών. Για παράδειγμα, η γενική δοκιμασία “sit and reach” δεν έδειξε διαφορές στη διατασιμότητα των οπίσθιων μηριαίων μεταξύ αθλητριών ρυθμικής γυμναστικής 10-12 ετών, υψηλότερου και χαμηλότερου επιπέδου αγωνιστικής απόδοσης (24 καλύτερες αθλήτριες του σύνθετου ατομικού ή συμμετέχουσες σε εθνικό πρωτάθλημα) (Donti et al., 2016). Αντιθέτως, στην ίδια έρευνα, η εξειδικευμένη για το άθλημα δοκιμασία ευλυγισίας «développé à la seconde» (απαγωγή, έξω στροφή και άρση του σκέλους στο πλάι) έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ επιπέδων των αθλητριών και επίσης προέβλεψε την αγωνιστική τους απόδοση (Donti et al., 2016). Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι η αγωνιστική απόδοση είναι πολυπαραγοντική. Το γεγονός ότι δεν μπορεί εύκολα να απομονωθεί μία φυσική παράμετρος που να προβλέπει ή να συσχετίζεται με την αθλητική απόδοση δεν σημαίνει ότι αυτή η παράμετρος από μόνη της είτε σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους φυσικής κατάστασης (τεχνική, μυϊκή δύναμη) δεν είναι σημαντική.

Σημείο προσοχής για νέους αθλητές είναι η απόκτηση βέλτιστου εύρους κίνησης σε μικρή ηλικία και η μακροχρόνια διατήρησή του. Για παράδειγμα, έχει βρεθεί ότι οι κολυμβητές ηλικίας 12-13 και 16-17 ετών είχαν μεγαλύτερο εύρος έσω στροφής της άρθρωσης του ώμου από ό,τι οι ενήλικες κολυμβητές ακόμα και υψηλού επιπέδου (Riemann et al., 2011) ενώ αθλητές του μπίτζμπολ 11 ετών είχαν ίδιο εύρος κίνησης ώμου με ενήλικες αθλητές επαγγελματικού επιπέδου (Oliver and Weimar, 2016). Συνεπώς, η διατήρηση του εύρους κίνησης που αποκτήθηκε κατά την παιδική ηλικία μπορεί να είναι κύριος προπονητικός στόχος για τα μεταγενέστερα στάδια αθλητής ανάπτυξης (Falsone, 2014).

Επίδραση της ευλυγισίας στον κίνδυνο τραυματισμού

Η σχέση μεταξύ αθλητικών τραυματισμών και βαθμού ευλυγισίας είναι αμφιλεγόμενο θέμα και είναι δύσκολο να αποδοθούν αιτιώδεις σχέσεις, κυρίως γιατί οι τραυματισμοί οφείλονται σε πολυπαραγοντικά αίτια, συχνά διαφορετικά για τους οξείς και για τους χρόνιους. Προγενέστερες έρευνες υποστήριξαν ότι η αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων και η βελτίωση της διατασιμότητας της μυοτενόντιας μονάδας μέσω μακροχρόνιας προπόνησης ευλυγισίας, μειώνουν τον κίνδυνο τραυματισμού (Hilyer et al., 1990; Gleim and McHugh, 1997). Από την άλλη μεριά, έχει εκφραστεί η άποψη ότι η αύξηση του εύρους κίνησης μιας άρ-

θρωσης δεν σχετίζεται με τη μείωση της πιθανότητας τραυματισμών μαλακών μοριών, αφού οι μυϊκές θλάσεις συμβαίνουν συνήθως σε έκκεντρες μυϊκές συσπάσεις και σε κανονικό/μέτριο εύρος κίνησης (Thacker, 2004). Αν και το ζήτημα που αφορά στην προστατευτική επίδραση της χρόνιας αύξησης του εύρους κίνησης χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που δείχνουν ότι οι χρόνιες προσαρμογές που επιφέρει η προπόνηση ευλυγισίας μειώνουν την πιθανότητα τραυματισμών κατά 32% και είναι σημαντικές για τη σωστή λειτουργία του μυοσκελετικού συστήματος (Hartig and Henderson, 1997; Hilyer et al., 1990). Ιδιαίτερο κεφάλαιο για τους νέους αθλητές αποτελούν οι χρόνιοι τραυματισμοί οι οποίοι επέρχονται μέσα από πολλούς επαναλαμβανόμενους μικροτραυματισμούς πάνω από το φυσιολογικό όριο αντοχής των ιστών, οι οποίοι παρουσιάζουν αρχικά μικρό πόνο και φλεγμονή. Τα συμπτώματα αυτών των χρόνιων τραυματισμών ή τραυματισμών «υπέρχρησης» (overuse injuries), εμφανίζονται σταδιακά και διαρκούν αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, αντιπροσωπεύουν ποσοστό μεγαλύτερο του 50% των αθλητικών κακώσεων και έχουν πολλές πιθανότητες επανεμφάνισης στο μέλλον (Madden et al., 2013).

Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις στη βιβλιογραφία, ότι το μειωμένο εύρος κίνησης σε κάποιες αρθρώσεις όπως ο ώμος ή το ισχίο και η μειωμένη διατασιμότητα κάποιων μυϊκών ομάδων σε νέους αθλητές, συνδέονται με αυξημένο κίνδυνο χρόνιου τραυματισμού (Hrysomallis, 2009; Maniar et al., 2026). Αυτό πιθανόν συμβαίνει λόγω της μείωσης του εύρους που εφαρμόζονται ή απορροφώνται δυνάμεις καθώς και της συνακόλουθης τροποποίησης της τεχνικής. Για παράδειγμα, το μειωμένο εύρος οριζόντιας απαγωγής του ώμου (<39°), βρέθηκε ότι αυξάνει τον κίνδυνο τραυματισμού της άρθρωσης σε νέους κολυμβητές (Cejudo, et al., 2019). Σε άλλη έρευνα σε έφηβους κολυμβητές ο μεγάλος αριθμός επαναλήψεων τεχνικής, η ανεπαρκής διάταση των έσω στροφών και η ανεπαρκής δύναμη των έξω στροφών του ώμου, δημιούργησαν ανατομικό πρόβλημα (προς τα εμπρός κλίση των ώμων), η οποία συνδέονταν με αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού του ώμου (Hibberd et al., 2016). Το μειωμένο εύρος κίνησης του ώμου συνδυαστικά με το έλλειμμα δύναμης σε έξω στροφή και το φορτίο προπόνησης αναφέρθηκαν επίσης ως αυξημένος παράγοντας κινδύνου σε αθλητές χειροσφαίρισης ηλικίας 14-18 ετών και νέους αθλητές μπέιζμπολ (8-18 ετών) (Møller et al. 2017; Shanley et al., 2015). Σε έρευνα που εξέτασε για τρία χρόνια έφηβες αθλήτριες ποδοσφαίρου, βρέθηκε ότι το μειωμένο εύρος έσω στροφής και απαγωγής ισχίου πιθανόν

αλλάζει τη μηχανική φόρτιση των κάτω άκρων και συσχετίζεται με κίνδυνο ρήξης του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου (Nguyen et al., 2017).

Ενδιαφέρον είναι το εύρημα ότι τόσο το μειωμένο εύρος κίνησης όσο και το υπερβολικά μεγάλο, χωρίς επαρκή μυϊκή δύναμη, εύρος κίνησης συνδέονται με κίνδυνο τραυματισμού. Σε έρευνα που εξέτασε τους παράγοντες τραυματισμού της άρθρωσης του ώμου σε κολυμβητές υψηλού επιπέδου, αναφέρεται ότι, το πολύ μεγάλο εύρος κίνησης του ώμου, σε συνδυασμό με ανεπαρκή μυϊκή δύναμη των έξω στροφέων της άρθρωσης συμβάλλει στην αύξηση του κινδύνου τραυματισμού της άρθρωσης (Guth, 1995). Επίσης, η μεγαλύτερη διατασιμότητα των οπίσθιων μηριαίων σχετίστηκε με αυξημένη συχνότητα πόνου στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης σε νεαρές αθλήτριες γυμναστικής (Kirby et al., 1981). Συμπερασματικά, για αναπτυσσόμενους αθλητές συνιστάται η απόκτηση βέλτιστου και όχι μέγιστου εύρους κίνησης σε κάθε άρθρωση με ταυτόχρονη βελτίωση της μυϊκής δύναμης και αντοχής των σταθεροποιών μυών της άρθρωσης.

Προπόνηση για τη βελτίωση της ευλυγισίας

Είδη μυϊκών διατάσεων

Ο όρος «μυϊκές διατάσεις» χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο χειρισμών οι οποίοι αυξάνουν παροδικά το εύρος κίνησης μιας άρθρωσης ή μιας ομάδας αρθρώσεων (Alter, 2004).

Οι μυϊκές διατάσεις μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες (Haff, 2006; Page, 2012):

1. **Στατικές διατάσεις**, όπου η θέση διάτασης διατηρείται σταθερή για ένα χρονικό διάστημα που συνήθως κυμαίνεται από 10 έως 30 s. Στόχο έχουν την επιμήκυνση των ιστών σε ένα «καινούργιο» μήκος και τη διατήρηση αυτής της θέσης (Magnusson and Renström, 2006). Η επιμήκυνση των ιστών καθορίζεται από την υποκειμενική αντίληψη πόνου του ασκούμενου και συνιστάται να σταματά στο σημείο ήπιας ενόχλησης για τους περισσότερους ασκούμενους (Weppler and Magnusson, 2010). Οι στατικές διατάσεις είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος διάτασης και αποτελούν προϋπόθεση για την εφαρμογή άλλων τρόπων διάτασης.

Οι στατικές διατάσεις μπορεί να είναι **ενεργητικές ή παθητικές** (Bandy et al., 1994; Page, 2012).

- **Ενεργητικές** ονομάζονται όταν η θέση διάτασης διατηρείται με την ενεργητική σύσπαση/ δύναμη των αγωνιστών μυών της κίνησης (π.χ. άρση του τενωμένου σκέλους από τους καμπτήρες του ισχίου και διατήρηση της θέσης του σκέλους ψηλά, ώστε να διατείνονται οι εκτεινόντες, δηλ. οι ισχιοκνημιαίοι).
 - **Παθητικές** ονομάζονται όταν η θέση διάτασης διατηρείται με εξωτερική «βοήθεια», δηλαδή με τη βαρύτητα ενός μέλους του ασκούμενου, ή με βοήθιο.
2. **Δυναμικές διατάσεις**, όπου εκτελούνται κινήσεις σε ένα αυξανόμενο εύρος κίνησης με σταθερή ή αυξανόμενη ταχύτητα κίνησης για 8-12 φορές (Opplert and Babault, 2018). Στις δυναμικές διατάσεις εκτελούνται ελεγχόμενες αιωρητικές κινήσεις έως το τέλος του ενεργητικού εύρους κίνησης της άρθρωσης οι οποίες συνήθως αποτελούν μέρος αθλητικών κινήσεων (Behm, 2018; Opplert and Babault, 2018).
- Οι δυναμικές διατάσεις είναι ένας διαδεδομένος τρόπος διάτασης και μεγάλος αριθμός μελετών προτείνει την εκτέλεση δυναμικών διατάσεων στην προθέρμανση αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με στατικές διατάσεις και ειδικά σε συνθήκες αγώνα, λόγω της ομοιότητας που έχουν με τις αγωνιστικές κινήσεις (Behm and Chaouachi, 2011; Behm et al., 2016). Έχει βρεθεί ότι η εκτέλεση δυναμικών διατάσεων αυξάνει το εύρος κίνησης, την καρδιακή συχνότητα (Fletcher and Jones, 2004; Yamaguchi and Ishii, 2005) τη θερμοκρασία (Costa et al., 2013; Fletcher et al., 2010) και την ενεργοποίηση του νευρομυϊκού συστήματος (Costa et al., 2013) ενώ δεν είναι γνωστή η επίδρασή τους στη μείωση της μυϊκής σκληρότητας. Σημείο προσοχής για τη βελτίωση του εύρους κίνησης, είναι η εκτέλεση ενεργητικής και ελεγχόμενης κίνησης σε πλήρη κάμψη ή/και έκταση της άρθρωσης, έως το σημείο του ήπιου πόνου. Οι ενεργητικές κινήσεις ή δραστηριότητες που δεν εκτελούνται έως το τέλος του ενεργητικού εύρους της άρθρωσης αλλά χρησιμοποιούν το χρόνιο, μόνιμο εύρος κίνησης του ασκούμενου, συμβάλλουν στη διατήρηση της κινητικότητας της άρθρωσης αλλά δεν έχουν την ίδια επίδραση στη διατασιμότητα των ιστών.
3. **Βαλλιστικές διατάσεις**, οι οποίες περιλαμβάνουν ταλαντεύσεις σε ακραίες θέσεις διάτασης, χρησιμοποιώντας την ορμή του σώματος ή των μελών του (Behm, 2018; Haff, 2006; Opplert and Babault, 2018). Χρησιμοποιούν, την αδράνεια ενός μέλους ή μέρους του σώματος για να επιμηκύνουν τους μύες με

έντονες κινήσεις που ακολουθούνται από ίση μικρή περίοδο χαλάρωσης (Snyder, 2004). Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ταχύτητα κίνησης. Κατά τη διάρκεια της βαλλιστικής διάτασης, οι μυϊκές άτρακτοι διεγείρονται επαναλαμβανόμενα προκαλώντας αντανακλαστική σύσπαση του υπό διάταση μυός και αναστέλλοντας την αποτελεσματικότητα της διάτασης (Snyder, 2004). Επιπρόσθετα, επειδή η τελική θέση διάτασης δεν διατηρείται, τα όργανα Golgi διεγείρονται για πολύ σύντομες χρονικές περιόδους, κάτι το οποίο δυσχεραίνει τη διαδικασία αυτογενούς αναστολής (Snyder, 2004). Αυτή η γρήγορη παραγωγή υψηλής τάσης μέσα στους μύες και η ενεργοποίηση του μυοτατικού αντανακλαστικού - σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι σε άλλα είδη διάτασης - αυξάνουν τον κίνδυνο τραυματισμού (Nelson and Kokkonen, 2001; Orplert and Babault, 2018). Συνεπώς οι βαλλιστικές διατάσεις πρέπει να γίνονται με προσοχή και υπό την επίβλεψη ειδικών και ειδικά σε ασκούμενους χωρίς εμπειρία σε διατάσεις.

4. **Διατάσεις νευρομυϊκής διευκόλυνσης (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation ή PNF)**, όπου χρησιμοποιούνται ενεργητικές και παθητικές διατάσεις σε συνδυασμό με ισομετρικές συσπάσεις των αγωνιστών ή ανταγωνιστών μυών, με στόχο να αξιοποιηθούν οι αντιδράσεις των ιδιοδεκτικών υποδοχέων των μυών και των τενόντων (όργανα Golgi και μυϊκή άτρακτος), για να επιτευχθεί μεγαλύτερη διάταση (Borges et al., 2018; Hindle et al., 2012) Εκτελούνται με τη βοήθεια προπονητή, συνασκούμενου ή φυσιοθεραπευτή. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές διατάσεων νευρομυϊκής διευκόλυνσης, όπως για παράδειγμα η ισομετρική σύσπαση του υπό διάταση μυός η οποία ακολουθείται από παθητική διάτασή του με τη χρήση εξωτερικής βοήθειας από έμπειρο βοηθό/συνασκούμενο (Hindle et al., 2012). Είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος διάτασης και ειδικά για την αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων αλλά απαιτείται εμπειρία τόσο από αυτόν που εφαρμόζει τη διάταση όσο και από αυτόν που την υφίσταται.

Μηχανισμοί αύξησης του εύρους κίνησης

Η εφαρμογή διατάσεων επιφέρει αύξηση στο μέγιστο εύρος κίνησης των αρθρώσεων (Alter, 2004; Behm, 2018). Δυο κυρίως μηχανισμοί έχουν προταθεί για να ερμηνεύσουν αυτήν την αύξηση:

(α) αυξημένη «ανοχή» στη διάταση (μετά την παρέμβαση διάτασης, η μυοτενόντια μονάδα μπορεί να υποστεί μεγαλύτερη παθητική τάση χωρίς να αυξηθεί η αντίσταση της άρθρωσης στην επιμήκυνση) (Blazevich et al., 2012; Weppler and Magnusson, 2010) και

(β) αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες της μυοτενόντιας μονάδας (μείωση της «σκληρότητας» των ιστών) ή των αρχιτεκτονικών της χαρακτηριστικών (αύξηση του μήκους των μυϊκών δεματίων) (Freitas et al., 2018; Morse et al., 2008; Nakamura et al., 2012)

Η άμεση αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων μέσω των διατάσεων είναι παροδική, αρχίζει αμέσως μετά τη διάταση και διατηρείται για λίγα λεπτά μετά. Αυτή η παροδική προσαρμογή της ικανότητας διάτασης οφείλεται κυρίως σε αυξημένη «ανοχή» στη διάταση (Blazevich et al., 2012; Weppler and Magnusson, 2010). Ωστόσο, και χρόνιες παρεμβάσεις έδειξαν αύξηση στο εύρος κίνησης των αρθρώσεων μετά από προπόνηση διατάσεων 2-8 εβδομάδων χωρίς μεταβολές στη σκληρότητα ή στο μήκος της μυοτενόντιας μονάδας (Harvey et al., 2003; Magnusson et al., 1996; Reid and Mc Nair, 2004) και συμπέραναν ότι το αυξημένο εύρος κίνησης οφείλεται σε αυξημένη «ανοχή» στη διάταση και σε τροποποίηση της αίσθησης του πόνου παρά στην επιμήκυνση των ιστών (Magnusson, 1996). Η αυξημένη ανοχή στη διάταση οφείλεται τόσο σε μείωση των ερεθισμάτων από τον εγκέφαλο προς τους μύες όσο και σε αλλαγή της απόκρισης του κεντρικού νευρικού συστήματος στα ερεθίσματα που προέρχονται από τους μύς (Trajano et al., 2017).

Οι χρόνιες προσαρμογές στις διατάσεις, δηλαδή η αύξηση της ευλυγισίας περιλαμβάνουν μεταβολές στις μηχανικές ιδιότητες των ιστών, είτε μειώνοντας τη σκληρότητα της μυοτενόντιας μονάδας είτε αλλάζοντας τη μηκοδυναμική σχέση λειτουργίας του μυός (Fowles et al., 2000; Cramer et al., 2007; Nakamura et al., 2012). Για παράδειγμα η **μείωση της σκληρότητας του τένοντα** μετά από παρατεταμένη και έντονη διάταση, μπορεί να επιδρά αρνητικά στη μεταφορά δύναμης από τον τένοντα στον μυ και να μειώνει την παραγωγή δύναμης (McHugh and Cosgrave, 2010). Ωστόσο, η **μείωση της σκληρότητας της μυοτενόντιας μονάδας** είναι αμφιλεγόμενο ζήτημα στη βιβλιογραφία, διότι κάποιες μελέτες δεν αναφέρουν μεταβολή τη σκληρότητα του τένοντα μετά από διάταση και η πιθανή αύξηση της ενδοτικότητας του μυός αφορά μόνο τη συνθήκη ηρεμίας και όχι σύσπασης (Kay and Blazevich, 2008; Kay and Blazevich, 2009).

Τα ερευνητικά δεδομένα σχετικά με την αύξηση του μήκους των μυϊκών δεματίων είναι περιορισμένα και τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα για την **επίδραση της μακροχρόνιας προπόνησης ευλυγισίας** (6-8 εβδομάδες) **στην αρχιτεκτονική των μυών** είναι αντικρουόμενα (Lima et al., 2015; Simpson et al., 2017). Για παράδειγμα, η Simpson και συν. (2017), βρήκε ότι τα μυϊκά δεμάτια της έξω κεφαλής του γαστροκνήμιου επιμηκύνθηκαν κατά 25%, στην περιοχή της μυοτενόντιας ένωσης σε 11 άνδρες μετά 6 εβδομάδες προπόνησης με διατάσεις. Αντιθέτως, οι Lima, και συν. (2015), δεν παρατήρησαν αλλαγές στην αρχιτεκτονική του δικέφαλου μηριαίου και του έξω πλατύ, 12 ανδρών που ακολούθησαν 8 εβδομάδες προπόνησης με διατάσεις, και οι συγγραφείς θεώρησαν ότι τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου (όγκος, διάρκεια ή/και ένταση) δεν ήταν επαρκή για να προκαλέσουν αλλαγές στη δομή των μυών.

Έρευνες σε ζώα έχουν δείξει ότι η διάταση τροποποιεί τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά των μυών, κυρίως μέσω της διαδικασίας προσθήκης σαρκομερίων σε σειρά (Goldspink, 1977; Goldberg et al., 1975) Ωστόσο, στον άνθρωπο δεν είναι γνωστό αν ακολουθείται η ίδια διαδικασία προσθήκης σαρκομερίων, μετά από χρόνιο ερέθισμα επιμήκυνσης (Freitas et al., 2015). Επιπλέον, πρόσφατη έρευνα αναφέρει ότι οι μυϊκές ίνες αναδομούνται με διαφορετικό ρυθμό στους διαφορετικούς τομείς των μυών (Jackobsen et al., 2018), ενδεχομένως λόγω του διαφορετικού ποσοστού συγκέντρωσης των δορυφορικών κυττάρων (Kinney et al., 2017). Συνεπώς, ένα ερέθισμα επιμήκυνσης μπορεί να προκαλέσει διαφορετικές προσαρμογές κατά μήκος του μυός αποκαλύπτοντας πιθανούς μηχανισμούς στους οποίους οφείλεται η επιμήκυνση των μυϊκών δεματίων.

Επίδραση των διατάσεων στην αθλητική απόδοση

Άμεση επίδραση των διατάσεων στην αθλητική απόδοση

Ως άμεση, ορίζεται η παροδική επίδραση των διατάσεων (αμέσως μετά και έως 20 min από την εφαρμογή της διάτασης αναλόγως με τη διάρκεια της διάτασης) οι οποίες εκτελούνται ως μέρος προθέρμανσης πριν την προπόνηση ή τον αγώνα (Avela et al., 1999; Behm et al., 2001).

Επίδραση στο εύρος κίνησης

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει εξετάσει την άμεση επίδραση διάφορων τύπων διάτασης στο εύρος κίνησης ενηλίκων και έχει βρει ότι όλοι οι τύποι διά-

τασης αυξάνουν το εύρος κίνησης των αρθρώσεων, με τις στατικές και τις διατάσεις ιδιοδεκτικής νευρομυϊκής διευκόλυνσης να προτείνονται ως πιο αποτελεσματικοί τρόποι (Babault et al., 2010; Behm et al., 2016; Chaabene et al., 2019; Hindel et al., 2012; Kay and Blazevich, 2012). Σε κάποιες έρευνες αναφέρεται ότι οι δυναμικές ή οι βαλλιστικές διατάσεις επιφέρουν παρόμοια με τις στατικές αύξηση στο εύρος κίνησης των αρθρώσεων (Amiri-Khorasani et al., 2011; Wiemann and Hahn, 1997), ωστόσο αυτό εξαρτάται από την άρθρωση που εξετάζεται και τον υπό εξέταση πληθυσμό. Ως γενική αρχή, η άμεση αύξηση του εύρους κίνησης έχει αναφερθεί ότι εξαρτάται περισσότερο από την ένταση της διάτασης (Freitas et al., 2015), άποψη που αμφισβητείται και προτείνεται να λαμβάνονται υπόψη και τα άλλα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου διάτασης (διάρκεια, θέση, διάλειμμα μεταξύ διατάσεων, υπό εξέταση μυς) (Behm et al., 2016). Ωστόσο, περιορισμένος αριθμός μελετών έχει εξετάσει την άμεση επίδραση των διατάσεων στο εύρος κίνησης νέων αθλητών και ασκούμενων.

Η άμεση εφαρμογή μέτριας διάρκειας (30-60 s) στατικών διατάσεων αυξάνει το εύρος κίνησης ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής και της κάμψης και έκτασης του ισχίου σε αθλήτριες παιδικής ηλικίας (Donti et al., 2018; Panidi et al., 2020; Papiia et al., 2018). Σε άλλη έρευνα σε αγόρια και κορίτσια εφηβικής ηλικίας, η άμεση εφαρμογή στατικών και δυναμικών διατάσεων 40 s αύξησε το εύρος κίνησης των ισχίων, με μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται στη στατική σε σχέση με τη βαλλιστική διάταση (12,1% vs. 5,6%). Πρέπει να επισημανθεί ωστόσο, ο μικρός αριθμός ερευνών που έχει εξετάσει την άμεση επίδραση διαφορετικών πρωτοκόλλων διάτασης σε νέους αθλητές και η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα στις αναπτυξιακές ηλικίες.

Επίδραση σε παραμέτρους μυϊκής δύναμης, ισχύος και τεχνικής

Η επίδραση των διατάσεων σε παραμέτρους δύναμης, ισχύος και τεχνικής προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου διάτασης με σχέση «δόσης-απόκρισης». Μεγαλύτερη διάρκεια (45-60 s) και ένταση στατικών διατάσεων επιφέρει μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης σε ενήλικες και ιδιαίτερα σε παραμέτρους μυϊκής δύναμης και ισχύος (Behm and Chaouachi, 2011; Behm et al., 2016). Αυτό, ωστόσο εξαρτάται από το προπονητικό υπόβαθρο των ασκούμενων και την παράμετρο που εξετάζεται (Bogdanis et al., 2019; Donti et al., 2014; Kallerung and Gleeson, 2013). Για τις δυναμικές και βαλλιστικές διατάσεις τα

ευρήματα των ερευνών αναφέρουν ότι η μεγαλύτερη διάρκεια και ένταση έχουν γενικά θετική επίδραση στην απόδοση (Opplert and Babault, 2018).

Μικρός αριθμός μελετών εξέτασε την επίδραση διατάσεων σε παραμέτρους απόδοσης παιδιών και εφήβων. Για παράδειγμα οι Paradisis και συνεργάτες (2013) εξέτασαν την επίδραση στατικών και δυναμικών διατάσεων διάρκειας 40 s σε έφηβους ασκούμενους και βρήκαν ότι οι στατικές διατάσεις είχαν αρνητική επίδραση (2,5%) στην επίδοση σε sprint 20 m ενώ και τα δύο είδη διατάσεων μείωσαν την απόδοση των ασκούμενων στο κατακόρυφο άλμα (6,3% και 2,2% μείωση μετά από στατικές και δυναμικές διατάσεις, αντίστοιχα). Οι Mc Neal και Sands (2003) ανέφεραν μείωση στον χρόνο πτήσης χωρίς μεταβολή στον χρόνο επαφής με το έδαφος, μετά από 180 s στατικών διατάσεων σε έφηβες αθλήτριες ενόργανης γυμναστικής. Σε άλλη έρευνα η Di Cagno και συν. (2010) βρήκαν μείωση στον χρόνο πτήσης γυμναστικών αλμάτων κατά 7%, μετά από 10 min στατικών διατάσεων (4 ασκήσεις x 3 επαναλήψεις x 30 s), σε 38 έφηβες αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής (14,1 ± 3,2 έτη). Σε αντίθεση, άλλη έρευνα σε αθλήτριες παιδικής ηλικίας ενόργανης γυμναστικής δεν βρήκε μείωση της απόδοσης στο κατακόρυφο άλμα μετά από 3 x 30 s στατικών διατάσεων και οι συγγραφείς συμπέραναν ότι η αυξημένη διατασιμότητα της μυοτενόντιας μονάδας κατά την παιδική ηλικία σε συνδυασμό με το προπονητικό υπόβαθρο των αθλητριών ήταν οι αιτίες αυτού του ευρήματος (Paria et al., 2018). Συμπερασματικά, δεν είναι γνωστό εάν η αυξημένη διατασιμότητα των ιστών και ο μικρότερος βαθμός ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων, που παρατηρούνται στα παιδιά σε σχέση με τους ενήλικες (Dotan et al., 2012) μπορεί να μεταβάλλουν την απόκρισή τους στη διάταση ενώ μόνο μία έρευνα έχει εξετάσει την επίδρασή τους σε τεχνικές παραμέτρους (Di Cagno et al., 2010).

Μακροχρόνια επίδραση των διατάσεων

Ως μακροχρόνια, θεωρείται η αθροιστική επίδραση του προπονητικού ερεθίσματος των διατάσεων (>6 εβδομάδες), η οποία αξιολογείται με μετρήσεις που έγιναν πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση.

Επίδραση στο εύρος κίνησης

Η μακροχρόνια εφαρμογή διατάσεων έχει μελετηθεί σε ενήλικες και τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν ότι η προπόνηση ευλυγισίας βελτιώνει σημαντικά το εύρος κίνησης των αρθρώσεων (Freitas et al., 2015; Simpson et al., 2017) Γε-

νικά, από πλευράς προπονητικής επιβάρυνσης, πιο σημαντική παράμετρος για τη βελτίωση της ευλυγισίας σε ενήλικες θεωρείται ο συνολικός χρόνος διάτασης κατά τη διάρκεια μιας προπόνησης και λιγότερο ο χρόνος παραμονής σε κάθε επανάληψη (Cirigliani et al., 2003). Ωστόσο, σε παιδιά και εφήβους υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα, με κάποιες εξαιρέσεις μελετών που έγιναν σε σχολικό περιβάλλον ή σε αθλήτριες γυμναστικής. Η Donti και συν. (2018) εξέτασε την επίδραση δυο διαφορετικών πρωτοκόλλων στατικής διάτασης διάρκειας (3 x 30 s vs. 90 s) για 12 εβδομάδες, στην κάμψη του ισχίου αθλητριών γυμναστικής παιδικής ηλικίας και βρήκε ότι και τα δυο πρωτόκολλα αύξησαν σημαντικά το εύρος κίνησης της άρθρωσης. Ωστόσο, το πρωτόκολλο των διαλειμματικών διατάσεων επέφερε σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση σε σύγκριση με αυτό των συνεχόμενων διατάσεων. Σε έρευνα σε σχολικό περιβάλλον με παιδιά 9-10 ετών, βρέθηκε αύξηση της επίδοσης στη δοκιμασία «sit and reach» μετά από 8 εβδομάδες παρέμβασης, (Mayorga et al., 2014) ενώ σε ακόμα μικρότερα παιδιά (5-6 ετών) στα οποία εφαρμόστηκε μόνο για δυο φορές την εβδομάδα προπόνηση διατάσεων, βρέθηκε επίσης αύξηση στο εύρος κίνησης της κάμψης του ισχίου μετά από 8 εβδομάδες παρέμβασης (Merino-Marban et al., 2015). Επισημαίνεται, ότι δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής ερευνητικά δεδομένα σχετικά με το κατάλληλο προπονητικό ερέθισμα διάτασης στις αναπτυξιακές ηλικίες ούτε για το αναμενόμενο μέγεθος βελτίωσης.

Επίδραση σε παραμέτρους μυϊκής δύναμης, ισχύος και τεχνικής

Παρά την ύπαρξη συγχρονικών μελετών που εξέτασαν τη σχέση μεταξύ ευλυγισίας (ως χρόνιο εύρος) και παραμέτρων απόδοσης σε νέους αθλητές, απουσιάζουν από τη βιβλιογραφία έρευνες που να έχουν εξετάσει την επίδραση μακροχρόνιας παρέμβασης διατάσεων στη μυϊκή δύναμη, ισχύ ή στην τεχνική νέων αθλητών. Προγενέστερες έρευνες σε ενήλικες αναφέρουν ότι, σε κάποιες περιπτώσεις, η μακροχρόνια προπόνηση ευλυγισίας μπορεί να βελτιώσει τη μέγιστη δύναμη και ισχύ των κάτω άκρων (Handel et al., 2002). Για παράδειγμα, οι Ryan και συνεργάτες (2011) βρήκαν αύξηση της μέγιστης δύναμης και ισχύος κατά 14% σε 31 άρρενες ασκούμενους ενώ στην ομάδα ελέγχου, η οποία δεν υποβλήθηκε σε προπόνηση ευλυγισίας, διαπιστώθηκε μείωση της δύναμης κατά 1%. Σε νέους αθλητές αυτά τα δεδομένα απουσιάζουν.

Επίδραση των διατάσεων στον κίνδυνο τραυματισμού

Παλαιότερες έρευνες υποστηρίζουν ότι η χρόνια αύξηση του εύρους κίνησης των αρθρώσεων και η βελτίωση της διατασιμότητας των ιστών με τη μακροχρόνια προπόνηση διατάσεων μειώνουν την πιθανότητα μυϊκών τραυματισμών (Amakao et al., 2003). Οι Weldon και Hill (2003) αναφέρουν ότι δεν είναι επαρκώς τεκμηριωμένη η θετική επίδραση της άμεσης και της μακροχρόνιας εφαρμογής διατάσεων στον κίνδυνο τραυματισμού. Παρά τους σοβαρούς μεθοδολογικούς περιορισμούς αυτών των μελετών (π.χ. βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις, διάκριση μεταξύ του είδους των τραυματισμών) το ζήτημα αυτό χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι, συγχρονικές μελέτες που εξέτασαν αθλητές διαφόρων ηλικιών με πολυετή προπόνηση ευλυγισίας (περισσότερο από 3 χρόνια) βρήκαν ότι το μειωμένο εύρος κίνησης συνδέεται γενικά με αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού. Συνεπώς, ανεξάρτητα από τη βελτίωση της ικανότητας επιμήκυνσης των ιστών και την άμεση αύξηση του εύρους κίνησης με διατάσεις που εκτελούνται σε μία προπονητική ημέρα ή σε λίγες μέρες, η χρόνια αύξηση του μόνιμου εύρους κίνησης (ευλυγισία) πρέπει να είναι κύριος στόχος της προπόνησης για νέους αθλητές.

Κατευθύνσεις για τον σχεδιασμό προγραμμάτων ανάπτυξης της ευλυγισίας σε νέους αθλητές

Ενσωμάτωση διατάσεων στην προπόνηση νέων αθλητών

Διατάσεις κατά την προθέρμανση

Η προθέρμανση πριν την προπόνηση, τη μέτρηση ή τον αγώνα είναι σημαντική παράμετρος για την απόδοση των αθλητών και υπόκειται στις ίδιες προπονητικές αρχές που αφορούν το κύριο μέρος της προπόνησης και ανάπτυξης όλων των ικανοτήτων. Συνεπώς, η ενσωμάτωση διατάσεων στην προθέρμανση νέων αθλητών πρέπει να γίνεται με γνώμονα την προπονητική περίοδο (προπαρασκευαστική, προαγωνιστική, αγωνιστική), τα χαρακτηριστικά και το περιεχόμενο της προπόνησης που ακολουθεί.

Μεγάλος αριθμός μελετών σε ενήλικες αναφέρει αρνητική επίδραση των στατικών διατάσεων σε παραμέτρους μυϊκής δύναμης, ισχύος και ταχύτητας (Behm et al., 2016) και το ίδιο έχει αναφερθεί σε κάποιες από τις έρευνες που έγιναν σε νέους (Di Cagno et al., 2010; Mc Neal and Sands, 2003). Η επίδραση αυτή ωστό-

σο, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου διάτασης όπως, η διάρκεια και η ένταση των διατάσεων, το διάλειμμα μεταξύ διατάσεων, τη θέση της διάτασης, την υπό εξέταση παράμετρο και το προπονητικό υπόβαθρο των ασκούμενων (Kay and Blazevich, 2012). Επειδή η επίδραση της διάτασης είναι παροδική, επίσης, σημαντική παράμετρος είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ διατάσεων και έναρξης της ακόλουθης δραστηριότητας.

Έχει βρεθεί ότι **στατικές διατάσεις** συνολικής διάρκειας μεγαλύτερης των 45-60 s ανά μυϊκή ομάδα, μειώνουν τη μυϊκή δύναμη και ισχύ περίπου κατά 5% (Behm et al., 2016). Σε κάποια αθλήματα με μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης όπως τα αθλήματα γυμναστικής, χρησιμοποιούνται διατάσεις μεγαλύτερης διάρκειας και αναφέρεται ότι οι αθλητές/τριες προσαρμόζουν τη μυϊκή τους λειτουργία ώστε αυτή να μειώνεται λιγότερο ως επακόλουθο της διάτασης (Δόντη και συν., 2014). Όμως, όλες οι έρευνες συμφωνούν ότι διατάσεις μικρότερης διάρκειας (15-30 s) έχουν ουδέτερη ή και θετική επίδραση στην απόδοση (Behm et al., 2016, Behm and Chaouachi, 2011; Kay and Blazevich, 2012;).

Οι **δυναμικές διατάσεις** προτείνεται να εκτελούνται με μέτρια ένταση και ταχύτητα και σε ελεγχόμενο εύρος (Orplert and Babault, 2018). **Βαλλιστικές διατάσεις** που εκτελούνται με μεγάλη ταχύτητας ή σε πολύ μεγάλο εύρος, το οποίο που φτάνει στο όριο κίνησης της άρθρωσης, ενέχει τον κίνδυνο τραυματισμού και επιδρά αρνητικά στην απόδοση (Orplert and Babault, 2018). **Η ένταση της διάτασης** είναι επίσης σημαντική παράμετρος. Ως γενική αρχή, η ένταση της διάτασης πρέπει να φτάνει σε σημείο ήπιας ενόχλησης. Διατάσεις με μεγάλη ένταση, είναι πιθανόν να προκαλέσουν μυϊκό σπασμό και φλεγμονή και πρέπει να αποφεύγονται (Apostolopoulos et al., 2015). **Η θέση της διάτασης** (απλή ή σύνθετη θέση στην οποία να διατείνονται πολλές μυϊκές ομάδες) μπορεί επίσης να αιτία μυϊκού σπασμού και «πιασίματος» στους μύες διότι σε δύσκολες θέσεις, αυξάνεται το μηχανικό φορτίο της διάτασης και η αντίσταση της άρθρωσης στην επιμήκυνση από όλες τις εμπλεκόμενες δομές (μύες, τένοντες, περιτονίες, περιμύιο, ενδομύιο). **Τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου διάτασης**, για παράδειγμα εάν η διάταση θα είναι **συνεχόμενη ή διαλειμματική**, ίδιας συνολικής διάρκειας, επηρεάζουν την ακόλουθη απόδοση (Bogdanis et al., 2019; Donti et al., 2018) . Διαλειμματικές διατάσεις, ακόμα και μεγαλύτερης συνολικής διάρκειας (3 x 30 s) έχει βρεθεί ότι αυξάνουν το εύρος κίνησης αθλητριών παιδικής ηλικίας και βελτιώνουν την απόδοση ενηλίκων αθλητών (Bogdanis et al., 2019; Donti et al.,

2018). Όταν τις στατικές διατάσεις μεγάλης διάρκειας και έντασης ακολουθούν ασκήσεις μυϊκής δύναμης, μπορεί να υπάρξει μικρή μείωση στην απόδοση. Ωστόσο, σε δραστηριότητες του «κύκλου διάτασης -βράχυνσης» (Kallerund and Gleeson, 2013) καθώς και σε ασκούμενους με μακροχρόνια προπονητική εμπειρία διατάσεων, παρατηρείται μικρότερη μείωση ή ακόμα και βελτίωση της μυϊκής απόδοσης (Donti et al., 2014) **Τέλος, όταν μετά τη διάταση μεσολαβούν λίγα λεπτά αποκατάστασης, η αρνητική νευρομυϊκή επίδραση αντιστρέφεται** (Budini and Tilp, 2016).

Το πιο σημαντικό εύρημα των μελετών είναι πως **όταν οι στατικές διατάσεις ακολουθούνται από δυναμικές διατάσεις ή/και ασκήσεις ενεργοποίησης** ή εξειδικευμένα ανάλογα με το άθλημα προθέρμανση, τότε μειώνεται ή ακόμα και **αντιστρέφεται η αρνητική τους επίδραση στην απόδοση** (δηλαδή αυξάνεται η απόδοση) (Blazevich et al., 2018). Συμπερασματικά, για την προθέρμανση νέων αθλητών πριν τον αγώνα ή τη μέτρηση, προτείνεται αρχικά να εκτελούνται στατικές, διαλειμματικές διατάσεις μικρής διάρκειας και ήπιας έντασης, σε γνωστές, βασικές θέσεις και να ακολουθούνται πάντα από δυναμικές διατάσεις και από ασκήσεις ενεργοποίησης εξειδικευμένες ανάλογα με το άθλημα.

Διατάσεις και αποθεραπεία

Στην προπονητική πρακτική προτείνεται η εφαρμογή διατάσεων στο τέλος της προπόνησης καθώς και η χρήση τους ως μέσο αποκατάστασης με στόχο κυρίως τη μείωση του αυξημένου μυϊκού τόνου μετά από έντονη προπόνηση (Herbert et al., 2011). Η μείωση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου (μυϊκού «πιασίματος») με την εφαρμογή διατάσεων στο τέλος της προπόνησης δεν υποστηρίζεται από ερευνητικά δεδομένα. Πρόσφατες έρευνες αναφέρουν μικρό μέγεθος βελτίωσης του μυϊκού πόνου μετά την εφαρμογή διατάσεων είτε στην αρχή είτε στο τέλος της προπόνησης, ενώ δεν υπάρχουν έρευνες σε αθλητικό πληθυσμό νέων (Herbert et al., 2011).

Χαρακτηριστικά προπόνησης ευλυγισίας

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν σαφείς κατευθύνσεις για την μεθοδολογία ανάπτυξης της ευλυγισίας σε νέους αθλητές ούτε είναι γνωστό το κατάλληλο προπονητικό ερέθισμα για την ανάπτυξη της ευλυγισίας νέων αθλητών διαφορετικών αθλημάτων, ηλικιών και επιπέδων. Η εκτέλεση διατάσεων μεγαλύτερης διάρκειας και έντασης επιφέρει μεγαλύτερες αυξήσεις στο εύρος κίνησης σε ενήλικες

(Freitas et al., 2015). Ωστόσο, η διάρκεια της διάτασης εξαρτάται και από τις απαιτήσεις του αθλήματος.

Στατικές διατάσεις μέτριας διάρκειας (30-45 s ανά μυϊκή ομάδα) μπορούν να εκτελούνται ως μέρος της προπόνησης ευλυγισίας νέων αθλητών είτε στο τέλος της προπόνησης είτε να ενσωματώνονται σε προθέρμανση προπαρασκευαστικής περιόδου.

Στατικές διατάσεις μεγάλης διάρκειας (> 45 s – 2 min ανά μυϊκή ομάδα) χρησιμοποιούνται συχνά σε αθλήματα με ασυνήθιστα μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης, όπως είναι η ρυθμική γυμναστική. Οι στατικές καθώς και οι δυναμικές διατάσεις πρέπει να προηγούνται των άλλων τύπων διάτασης στην προπόνηση ευλυγισίας. Είναι σημαντικό πρώτα να αποκλείεται ένα παθητικό εύρος κίνησης μέσω αύξησης της διατασιμότητας των ιστών και ακολούθως να προπονείται η ελεγχόμενη κίνηση της άρθρωσης σε μεγαλύτερη τροχιά και με αυξημένη ταχύτητα κίνησης μέσω των δυναμικών διατάσεων.

Η ένταση της διάτασης για νέους αθλητές πρέπει να παραμένει ήπια. Η ανοχή στον πόνο της διάτασης βελτιώνεται μέσα από την προπόνηση ευλυγισίας και σύμφωνα με ειδικούς στο πεδίο της ευλυγισίας «μαθαίνεται» όπως οι τεχνικές δεξιότητες (Sands and Mc Neal, 2019). Η μεγάλη ένταση διάτασης ωστόσο, αυξάνει τον κίνδυνο τραυματισμού και επιδρά αρνητικά στη συμμετοχή των παιδιών (ειδικά μικρής ηλικίας) σε προγράμματα ευλυγισίας.

Η εφαρμογή διατάσεων δυο φορές την εβδομάδα θεωρείται ως η χαμηλότερη συχνότητα η οποία βελτιώνει το εύρος κίνησης των αρθρώσεων. Ωστόσο, **η καθημερινή προπόνηση** έχει καλύτερα αποτελέσματα και προτείνεται για αθλήματα με μεγάλες απαιτήσεις εύρους κίνησης. Οι διατάσεις μπορούν να εκτελούνται στην αρχή, στο τέλος ή ενδιάμεσα στην προπόνηση (κυρίως δυναμικές ή βαλλιστικές για καλύτερη μυϊκή ενεργοποίηση). Η εκτέλεση παρατεταμένων κι έντονων διατάσεων σε ξεχωριστή προπονητική μονάδα που προτείνεται για ενήλικες δεν είναι εύκολα πραγματοποιήσιμη για νέους αθλητές, οι οποίοι με βάση τα προτεινόμενα μοντέλα ανάπτυξης, ασκούνται 3-5 φορές την εβδομάδα για 1,2 -2 ώρες τη φορά (Lloyd et al., 2015). Μετά την απόκτηση ενδεδειγμένου εύρους κίνησης, η διατήρηση του εύρους κίνησης κατά την περίοδο από-προπόνησης είναι ένα σημαντικό θέμα για τον σχεδιασμό προγραμμάτων άσκησης. Έρευνα που εξέτασε το εύρος κίνησης του ισχίου αθλητριών γυμναστικής 9-10 ετών, μετά την εφαρμογή στατικών διατάσεων για 12 εβδομάδες και τη διακοπή της προπόνησης

για 3 εβδομάδες, βρήκε ότι το εύρος κίνησης διατηρήθηκε αυξημένο σε σχέση με το αρχικό επίπεδο (Donti et al., 2018). Ενδιαφέρουσα ωστόσο είναι η παρατήρηση ότι οι αθλήτριες εκτελούσαν δυναμικές δραστηριότητες και ασκήσεις γυμναστικής, γεγονός που δείχνει ότι οι δυναμικές κινήσεις είναι ένας κατάλληλος τρόπος για να διατηρηθεί η κινητικότητα της άρθρωσης, αλλά όχι για να αυξηθεί περαιτέρω.

Σύνοψη

Συμπερασματικά, η ευλυγισία εξαρτάται από ανατομικούς (μορφολογία αρθρώσεων, μήκος μυϊκών δεματίων και τενόντων) και νευρικούς παράγοντες, είναι γενικότερα μεγαλύτερη στα κορίτσια σε σύγκριση με τα αγόρια και μεταβάλλεται με την ηλικία. Η συστηματική προπόνηση ευλυγισίας είναι καλό να ξεκινά από την προσχολική ηλικία, με την ηλικία των 6-10 ετών να προτείνεται ως «ευαίσθητη περίοδος» για μορφολογικές προσαρμογές. Κατά τη φάση της ραγδαίας αύξησης του αναστήματος, η ευλυγισία φαίνεται να μειώνεται, λόγω ασύμμετρου ρυθμού ανάπτυξης του μήκους των οστών και των μυοτενόντιων μονάδων. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα παιδιά με μακροχρόνια εμπειρία στην προπόνηση διατάσεων έχουν μεγαλύτερη ικανότητα επιμήκυνσης μυϊκών δεματίων κατά τη διάταση. Η συστηματική προπόνηση με διατάσεις φαίνεται ότι μπορεί να μειώσει τους χρόνιους τραυματισμούς ή τραυματισμούς «υπέρχρησης» και συσχετίζεται με καλύτερη αθλητική απόδοση. Τα παιδιά φαίνεται να επηρεάζονται αρνητικά σε μικρότερο βαθμό ως προς την παραγωγή ισχύος από τις παρατεταμένες μυϊκές διατάσεις, σε σύγκριση με τους ενήλικες. Τα πρόσφατα μοντέλα προπόνησης νεαρών αθλητών υποστηρίζουν ότι η προπόνηση ευλυγισίας είναι σημαντική σε όλα τα στάδια ανάπτυξης, αρκεί αυτή να προσαρμόζεται τόσο στις απαιτήσεις του αθλήματος όσο και στις δυνατότητες των παιδιών.

Κεντρικά σημεία κεφαλαίου

- Η σημασία της ευλυγισίας για την προετοιμασία νέων αθλητών είναι εξειδικευμένη ανάλογα με το άθλημα. Κύριος στόχος της προπόνησης ευλυγισίας είναι η απόκτηση βέλτιστου και όχι μέγιστου εύρους κίνησης, ανάλογα με το άθλημα και την ηλικία
- Η αύξηση του εύρους κίνησης μιας άρθρωσης σχετίζεται με βελτίωση της αθλητικής απόδοσης και μείωση του κινδύνου τραυματισμού
- Η προπόνηση ευλυγισίας πρέπει να ενσωματώνεται σε όλα τα στάδια προετοιμασίας νέων αθλητών, με την ηλικία των 6-10 ετών να προτείνεται ως βέλτιστη για μορφολογικές προσαρμογές
- Η μακροχρόνια προπόνηση ευλυγισίας βελτιώνει το εύρος κίνησης και προκαλεί μορφολογικές προσαρμογές στους μύες
- Για τη βελτίωση του λειτουργικού εύρους κίνησης των αρθρώσεων νέων αθλητών προτείνεται να εφαρμόζονται στατικές διατάξεις μικρής διάρκειας και ήπιας έντασης σε συνδυασμό με ελεγχόμενες δυναμικές διατάξεις

Βιβλιογραφία

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S.P., Halkjaer-Kristensen, J., Simonsen, E.B., 2001. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J. Physiol.* 53 (2), 613–623.
- Aagaard, P., Thorstensson, A., 2003. Neuromuscular aspects of exercise—adaptive responses evoked by strength training. In: Kjaer M (Ed) *Textbook of Sport Medicine*. Blackwell, London, pp 70–106.
- Alter, M. J., 2004. *Science of flexibility* (3rd ed.) Champaign, IL: Human Kinetics, pp.17- 373.
- Agur, A. M., & Dalley, A.F., 2009. *Grant's atlas of anatomy*. Lippincott Williams & Wilkins.

- Amakao, M., Oda, T., Masuoka, K., Yokoi, H., Campisi, P., 2003. Effect of static stretching on prevention of injuries for military recruits. *Mil. Med.* 168(6), 442-446.
- Amiri-Khorasani, M., Osman, N.A.A., Yusof, A., 2011. Acute effect of static and dynamic stretching on hip dynamic range of motion during instep kicking in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 25(6), 1647-1652.
- Apostolopoulos, N., Metsios, G.S., Flouris, A.D., Koutedakis, Y., Wyon, M.A., 2015. The relevance of stretch intensity and position—a systematic review. *Front. Psychol.* 6, 1128.
- Avela, J., Kyrolainen, H., Komi, P.V., 1999. Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J. Appl. Physiol.* 86(4), 1283-1291.
- Babault, N., Kouassi, B.Y., Desbrosses, K., 2010. Acute effects of 15 min static or contract-relax stretching modalities on plantar flexors neuromuscular properties. *J. Sci. Med. Sport.* 13(2), 247-252.
- Bak, K., Magnusson, S.P., 1997. Shoulder strength and range of motion in symptomatic and pain-free elite swimmers. *Am. J. Sports Med.* 25(4), 454-459.
- Bandy, W.D., Irion, J.M., & Briggler M., 1997. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 77(10), 1090-1096.
- Balyi, I., Hamilton, A., 2000. Key to success: long-term athlete development. *Sports Coach.* 23, 30-42.
- Barker, A., Lloyd, R.S., Buchheit, M., Williams, C., Oliver, J.L., 2014. The BASES expert statement on trainability during childhood and adolescence. *Sport Exerc. Sci.* 41, 22-23.
- Baroni, B. M., Geremia, J.M., Rodrigues, R., De Azevedo Franke, R., Karamanidis, K., Vaz, M.A., 2013. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis. *Muscle Nerve*, 48(4), 498-506.
- Behm, D.G., 2018. The science and physiology of flexibility and stretching: implications and applications in sport performance and health. Routledge. <https://www.routledge.com/The-Science-and-Physiology-of-Flexibility-and-Stretching-Implications-and/Behm/p/book/9781138086913>

- Behm, D.G., Blazevich, A.J., Kay, A.D., McHugh, M., 2016. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41(1), 1-11.
- Behm, D.G., Button, D.C., Butt, J.C., 2001. Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Can. J. Appl. Physiol.* 26, 261-272.
- Behm, D.G., Chaouachi, A.A., 2011. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 111, 2633-2651.
- Behm, D.G., Faigenbaum, A.D., Falk, B., Klentrou, P., 2008. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33,547-561.
- Behm, D.G., Wilke, J., 2019. Do self-myofascial release devices release myofascial? Rolling mechanisms: A narrative review. *Sports Med.*, 49(8), 1173-1181.
- Behm, D.G., Young, J.D., Whitten, J.H., Reid, J.C., Quigley, P. J., Low, J., Li, Y., Lima, C.D., Hodgson, D.D., Chaouachi, A., Prieske, O., 2017. Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: a systematic review and meta-analysis. *Front. Physiol.* 8, 423. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00423>
- Benard, M.R., Harlaar, J., Becher, J.G., Huijing, P. A., Jaspers, R.T., 2011. Effects of growth on geometry of gastrocnemius muscle in children: a three-dimensional ultrasound analysis. *J. Anat.* 219(3), 388-402.
- Bennell, K., Khan, K.M., Matthews, B., De Gruyter, M., Cook, E., Holzer, K., Wark, J. D. 1999. Hip and ankle range of motion and hip muscle strength in young female ballet dancers and controls. *Br. J. Sports Med.* 33(5), 340-346.
- Berk, L.E., 2017. Exploring lifespan development. Pearson.
- Bishop, D., 2003. Warm up I. *Sports medicine*, 33(6), 439-454.
- Bishop, D., 2003. Warm up II. *Sports medicine*, 33(7), 483-498.
- Bishop, D., Maxwell, N.S., 2009. Effects of active warm up on thermoregulation and intermittent-sprint performance in hot conditions. *J. Sci. Med. Sport.* 12(1), 196-204
- Blazevich, A.J., Cannavan, D., Coleman, D.R., Horne, S. 2007. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J. Appl. Physiol.*, 103(5), 1565-1575.

- Blazevich, A.J., Cannavan, D., Waugh, C.M., Miller, S.C., Thorlund, J.B., Aagaard, P., Kay, A.D., 2014. Range of motion neuromechanical and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. *J. Appl. Physiol.* 117(5), 452–462.
- Blazevich, A.J., Cannavan, D., Waugh, C.M., Fath, F., Miller, S.C., Kay, A.D., 2012. Neuromuscular factors influencing the maximum stretch limit of the human plantar flexors. *J. Appl. Physiol.*, 113(9), 1446-1455.
- Blazevich, A.J., Gill, N.D., Kvorning, T., Kay, A.D., Goh, A.G., Hilton, B., .. Behm, D.G., 2018. No Effect of Muscle Stretching within a Full, Dynamic Warm-up on Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 50(6), 1258-1266.
- Bogdanis, G.C., Donti, O., Tsolakis, C., Smilios, I., Bishop, D.J., 2019. Intermittent but not continuous static stretching improves subsequent vertical jump performance in flexibility-trained athletes. *J. Strength Cond. Res.* 33(1), 203-210.
- Borges, M.O., Medeiros, D.M., Minotto, B.B., Lima, C.S., 2018. Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *Physiother. Theory Pract.* 20(1), 12-19.
- Brodie, D.A., Royce, J., 1998. Developing flexibility during childhood and adolescence. In: *Pediatric Anaerobic Performance*. E Van Praagh, (Ed), Champaign, IL: Human Kinetics, pp 65–93.
- Budini, F., Tilp M., 2016. Changes in H-reflex amplitude to muscle stretch and lengthening in humans. *Rev. Neurosci.* 27, 511-522.
- Cejudo, A., Sánchez-Castillo, S., Sainz de Baranda, P., Gámez, J. C., Santonja-Medina, F., 2019. Low Range of Shoulders Horizontal Abduction Predisposes for Shoulder Pain in Competitive Young Swimmers. *Front. Psychol.* 10, 478.
- Chaabene, H., Behm, D.G., Negra, Y., Granacher, U., 2019. Acute effects of static stretching on muscle strength and power: An attempt to clarify previous caveats. *Front. Psychol.* 10, 1468.
- Cheng, J.C., Chan, P.S., Hui, P.W., 1991. Joint laxity in children. *J. Pediatr. Orthop.* 11(6), 752-756.

- Cho, N.M., Giorgi, H.P., Liu, K.P., Bae, Y.H., Chung, L.M., Kaewkaen, K., Fong, S.S., 2017. Proprioception and flexibility profiles of elite synchronized swimmers. *Percept. Mot. Skills* 124(6), 1151-1163.
- Cipriani, D., Abel, B., Pirrwitz D., 2003. A comparison of two stretching protocols on hip range of motion: implications for total daily stretch duration. *J. Strength Cond. Res.*, 17(2), 274-278.
- Clippinger-Robertson K., 1988. Principles of dance training, - Science of dance training, - Human Kinetics Champaign, IL.
- Corbin, C.B., Noble, L., 1980. Flexibility: a major component of physical fitness. *J. Phys. Educ. Recreat.* 51(6), 23-60.
- Costa, P.B., Herda, T.J., Herda, A.A., Cramer, J.T., 2013. Effects of dynamic stretching on strength, muscle imbalance, and muscle activation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 46(3),586-593.
- Cramer, J.T., Beck, T.W., Housh, T.J., Massey, L.L., Marek, S.M., Danglemeier, S., Purkayastha, S., Culbertson, J.Y., Fitz, K.A., Egan, A.D., 2007. Acute effects of static stretching on characteristics of the isokinetic angle-torque relationship, surface electromyography, and mechanomyography. *J. Sports Sci.* 25(6), 687-98.
- Da Costa, B.R., Vieira, E.R., 2008. Stretching to reduce work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *J. Rehabil. Med.* 40(5),321-328.
- DeVries, H.A., 1980. *Physiology of Exercise*, 3rd Ed. New York: WCB/McGraw-Hill, 462-472.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Gallotta, M.C., Videira, M., Piazza, M., Guidetti, L. 2010. Pre-exercise static stretching effect on leaping performance in elite rhythmic gymnasts. *J. Strength Cond. Res.* 24(8), 1995-2000.
- Donti, O., Bogdanis, G.C., Kritikou, M., Donti, A., Theodorakou, K., 2016. The relative contribution of physical fitness to the technical execution score in youth rhythmic gymnastics. *J. Hum. Kinet.* 51(1), 143-152.
- Donti, O., Tsolakis, C., Bogdanis, G.C., 2014. Effects of Baseline Levels of Flexibility and Vertical Jump Ability on Performance Following Different Volumes of Static Stretching and Potentiating Exercises in Elite Gymnasts. *J Sport Sci. Med.* 13(1),105-113.

- Donti, O., Panidis, I., Terzis, G., Bogdanis, G.C., 2019. Gastrocnemius Medialis Architectural Properties at Rest and During Stretching in Female Athletes with Different Flexibility Training Background. *Sports* 7(2), 39.
- Dotan, R., Mitchell, C., Cohen, R., Klentrou, P., Gabriel, D., Falk, B., 2012. Child-adult differences in muscle activation - a review. *Pediatr. Exerc. Sci.* 24(1),2–21.
- Douda, H. T., Toubekis, A.G., Avloniti, A.A., Tokmakidis, S.P., 2008. Physiological and anthropometric determinants of rhythmic gymnastics performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 3(1), 41-54.
- Drabik, J., 1996. *Children and sports training*. Island Point, VT: Stadion Publishing Company.
- Enoka, R.M., 2002. *Neuromechanics of Human Movement*. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- European Commission. (2014). *Special Euro barometer 412: "Sport and Physical Activity"*. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_412_en.pdf
- Falsone, S., 2014. *Optimising Flexibility*. U D. Joyce & D. Lewindon (ur.) *High-Performance Training for Sports*, pp. 61-70.
- Feldman, D., Shrier, I., Rossignol, M., Abenhaim, L., 1999. Adolescent growth is not associated with changes in flexibility. *Clin. J. Sport Med.* 9: 24–29.
- Fletcher, I. M., Jones, B., 2004. The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. *J. Strength Cond. Res.* 18(4), 885-888.
- Fletcher, I.M., Monte-Colombo M.M., 2010. An investigation into the possible physiological mechanisms associated with changes in performance related to acute responses to different preactivity stretch modalities. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35(1),27-34.
- Fowles, J.R., Sale, D.G., MacDougall, J.D., 2000. Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *J. Appl. Physiol.* 89(3), 1179–88.
- Franchi, M.V., Atherton, P.J., Maganaris, C.N., Narici, M.V., 2016. Fascicle length does increase in response to longitudinal resistance training and in a contraction-mode specific manner. *Springerplus*, 5(1), 94.
- Freitas, S.R., Mil-Homens, P., 2015. Effect of 8-week high-intensity stretching training on biceps femoris architecture. *J. Strength Cond. Res.* 29(6), 1737-1740.

- Freitas, S. R., Vilarinho, D., Vaz, J.R., Bruno, P.M., Costa, P.B., Mil-Homens, P., 2015. Responses to static stretching are dependent on stretch intensity and duration. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*. 35(6), 478-484.
- Friedrich, J.A., Brand R.A., 1990. Muscle fiber architecture in the human lower limb. *J. Biomech*. 23(1), 91–95.
- Fox, E. L., 1984. *Sports physiology*. Saunders College Pub.
- Fukunaga, T., Ichinose, Y., Ito, M., Kawakami, Y., Fukashiro, S., 1997. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J. Appl. Physiol*. 82(1), 354-358.
- Gandevia, S.C., Closky, D.L., Burke, D., 1992. Kinaesthetic signals and muscle contraction. *Trends Neurosci*. 15(2), 62-65.
- Gans, C., de Vree, F., 1987. Functional bases of fiber length and angulation in muscle. *J. Morphol*. 192(1), 63–85.
- Gleim, G.W., McHugh, M.P., 1997. Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Med*. 24, 289–299,
- Goldspink, D.F., 1977. The influence of immobilization and stretch on protein turnover of rat skeletal muscle. *J. Physiol*. 264(1), 267-282.
- Goldberg, A.L., Etlinger, J.D., Goldspink, D.F., Jablecki, C., 1975. The mechanism of work induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med. Sci. Sports*. 7(3), 185-198.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., Aitchison, T., 1996. Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J. Sports Sci*. 14(4), 301-309.
- Guth, E.H., 1995. A comparison of cervical rotation in age-matched adolescent competitive swimmers and healthy males. *J. Orthop. Sports Phys. Ther*. 21(1), 21-27.
- Haff, G.C., 2006. Roundtable Discussion: Flexibility training. *J. Strength Cond*. 28, 64-85.
- Haley, S.M., Tada, W.L., Carmichael, E. M., 1986. Spinal mobility in young children: a normative study. *Phys. Ther*. 66(11), 1697-1703.
- Handel, M.T., Hortsmann, T., Hunter, H.H., Marshall, R.N., 2002. Effects of power and flexibility training on vertical jump technique. *Med. Sci. Sports Exerc*. 34, 478–486.

- Hartig, D.E., Henderson, J.M., 1999. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am. J. Sports Med.* 27,173-176.
- Harvey, L.A., Byak, A.J., Ostrovskaya, M., Glinsky, J., Katte, L., Herbert, R., 2003. Randomised trial of the effects of four weeks of daily stretch on extensibility of hamstring muscles in people with spinal cord injuries. *Aust. J. Physiother.* 49(3), 176-181.
- Hawrylak, A., Wojna, D., Chromik, K., 2015. Spinal and shoulder girdle range of motion in elite female volleyball athletes. *Polish J. Sport Tour.*, 22, 143-147.
- Herbert, R.D., de Noronha, M., Kamper, S.J., 2011. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database Syst. Rev.* 7. doi: 10.1002/14651858.CD004577.pub3
- Herring, S.W., Grimm A.F., Grimm, B.R., 1984. Regulation of sarcomere number in skeletal muscle: a comparison of hypotheses. *Muscle Nerve*, 7, 161-173.
- Heyward, V.H., 1984. *Designs for fitness: A guide to physical fitness appraisal and exercise prescription.* Burgess Pub. Co.
- Hibberd, E.E., Laudner, K.G., Kucera, K.L., Berkoff, D.J., Yu, B., Myers, J.B., 2016. Effect of swim training on the physical characteristics of competitive adolescent swimmers. *Am. J. Sports Med.* 44, 2813-2819.
- Hindle, K., Whitcomb, T., Briggs, W., Hong, J., 2012. Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): Its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *J. Hum. Kinet.* 31, 105-113.
- Hilyer, J.C., Brown, K.C., Sirles, A.T., Peoples, L. A., 1990. Flexibility intervention to reduce the incidence and severity of joint injuries among municipal firefighters. *J Occup Med.* 32, 631-637.
- Holt, K., Boettcher, C., Halaki, M., Ginn, K.A., 2017. Humeral torsion and shoulder rotation range of motion parameters in elite swimmers. *J Sci Med Sport*, 20, 469-474.
- Holt, J., Holt, L.E., & Pelham, T.W., 1996 (July). Flexibility redefined. In XIIIth International Symposium for Biomechanics in Sport (pp. 170-174). Lakehead University, Ontario.
- Hrysomallis, C., 2009. Hip adductors' strength, flexibility, and injury risk. *J Strength Cond Res.*, 23, 1514-1517.

- Huijing, P.A., 1981. Bundle Strength, Fiber Length and Sarcomere Number in Human Gastrocnemius. *J. Anat.*, 133, 132-138.
- Huijing, P.A., 1985. Architecture of the human gastrocnemius muscle and some functional consequences. *Acta Anat.*, 123, 101–107.
- Huijing, P.A., Jaspers, R.T., 2005. Adaptation of muscle size and myofascial force transmission: a review and some new experimental results. *Scand J Med Sci Sports*, 15, 349-380.
- Huijing, P.A. Woittiez R.D. (1984). The effect of architecture on skeletal muscle performance: a simple planimetric model. *Neth. J. Zool.*, 34, 21–32.
- Jakobsen, J.R., Jakobsen, N.R., Mackey, A.L., Koch, M., Kjaer, M., Krogsgaard, M.R., 2018. Remodeling of muscle fibers approaching the human myotendinous junction. *Scand J Med Sci Sports*, 1–7.
- Jagomägi, G., Jürimäe, T., 2005. The influence of anthropometrical and flexibility parameters on the results of breaststroke swimming. *Anthropol Anz*, 213-219.
- Ichinose, Y., Kanehisa, H., Ito, M., Kawakami, Y., Fukunaga, T., 1998. Morphological and functional differences in the elbow extensor muscle between highly trained male and female athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 78, 109–114.
- Johns, R.J., Wright, V., 1962. Relative importance of various tissues in joint stiffness. *J. Appl. Physiol*, 17, 824-828.
- Kallerud, H., Gleeson, N., 2013. Effects of stretching on performances involving stretch-shortening cycles. *Sports Med.*, 43, 733-750.
- Kay, A.D., Blazevich, A.J., 2009. Isometric contractions reduce plantar flexor moment, Achilles tendon stiffness, and neuromuscular activity but remove the subsequent effects of stretch. *J Appl Physiol*. 107, 1181–1189.
- Kay, A.D., Blazevich, A.J., 2010. Concentric muscle contractions before static stretching minimize, but do not remove, stretch-induced force deficits. *J Appl Physiol*. 108, 637–645.
- Kendall, H.O., Kendall, F.P., Bennett, G.E., 1948. Normal flexibility according to age groups. *J Bone Joint Surg*. 30, 690-694.
- Kibler, W.B., Chandler, T.J., 2003. Range of motion in junior tennis players participating in an injury risk modification program. *J Sci Med Sport*, 6, 51-62.
- Kinney, M.C., Dayanidhi, S., Dykstra, P.B., McCarthy, J.J., Peterson, C.A., Lieber, R.L., 2017. Reduced skeletal muscle satellite cell number alters

- muscle morphology after chronic stretch but allows limited serial sarcomere addition. *Muscle Nerve*, 55, 384-392.
- Kirby, R.L., Simms, F.C., Symington, V.J., Garner, J.B., 1981. Flexibility and musculoskeletal symptomatology in female gymnasts and age-matched controls. *Am J Sports Med.* 9, 160-164.
- Knudson, D.V., 2008. Warm-up and flexibility. Chandler TJ, Brown LE. *Conditioning for Strength and Human Performance*. Philadelphia, PA: Lippincott-Williams & Wilkins.
- Knudson, D.V., Magnusson, S.P., McHugh, M., 2000. Current Issues in Flexibility Fitness. President's Council on Physical Fitness and Sports Research Digest
- Konrad, A., Reiner, M.M., Thaller, S., Tilp, M., 2019. The time course of muscle-tendon properties and function responses of a five-minute static stretching exercise. *Eur J Sport Sci.* 19, 1195-1203.
- Kuno, S.Y., Fukunaga, T. 1995. Measurement of muscle fibre displacement during contraction by real-time ultrasonography in humans. *Eur J Appl Physiol.* 70, 45-48.
- Kubo K., Kanehisa H., Fukunaga T., 2002. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol.* 92, 595-601.
- Kubo K., Morimoto M., Komuro T., Tsunoda N., Kanehisa H., Fukunaga T., 2007. Influences of tendon stiffness, joint stiffness, and electromyographic activity on jump performances using single joint. *Eur J Appl Physiol.* 99, 235-243.
- Legerlotz, K., Smith, H.K., Hing, W.A., 2010. Variation and reliability of ultrasonographic quantification of the architecture of the medial gastrocnemius muscle in young children. *Clin Physiol Funct Imaging.* 30, 198-205.
- Leighton, J.R., 1960. On the significance of flexibility for physical educators. *Am J Health Educ.* 31, 27-70.
- Lieber, R.L., Friden, J., 2000. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23, 1647-1666.
- Lima, K.M., Carneiro, S.P., Alves, D.D.S., Peixinho, C.C., de Oliveira, L.F., 2015. Assessment of muscle architecture of the biceps femoris and vastus

- lateralis by ultrasound after a chronic stretching program. *Clin J Sport Med.* 25, 55-60.
- Lloyd, R.S., Cronin, J.B., Faigenbaum, A.D., Haff, G.G., Howard, R., Kraemer, W.J., ... & Oliver, J.L., 2016. National Strength and Conditioning Association position statement on long-term athletic development. *J Strength Cond Res.* 30, 1491-1509.
- Lloyd, R.S., Oliver, J.L., 2012. The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J.* 34, 61-72.
- Lloyd, R.S., Oliver, J.L., Faigenbaum, A., Howard, R., De Ste Croix, M.B.A., Williams, C.A., et al., 2015. Long-term athletic development-part 1: a pathway for all youth. *J Strength Cond Res.* 29, 1439–1450.
- Lloyd, R.S., Oliver, J.L., Faigenbaum, A.D., Howard, R., Croix, M.B.D.S., Williams, C.A., ... Hatfield, D.L. (2015b). Long-term athletic development, part 2: barriers to success and potential solutions. *J Strength Cond Res.* 29, 1451-1464.
- Loeb, G.E., Pratt, C.A., Chanaud, C.M., Richmond, F.J.R., 1987. Distribution and innervation of short, interdigitated muscle fibers in parallel-fibered muscles of the cat hindlimb. *J. Morphol.* 191, 1-15.
- Madden, C., Putukian, M., McCarty, E., Young, C., (2013). *Sports Medicine.* Elsevier Health Sciences. <https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=Bhy0BQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Madden+et+al>.
- Maganaris, C.N., Baltzopoulos, V., Sargeant, A.J., 1998. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *J. Physiol.* 512, 603-614.
- Magnusson, S.P., Narici, M.V., Maganaris, C.N., Kjaer, M., 2007. Human tendon behavior, in vivo. *J Physiol.* 586, 71-81.
- Magnusson, S.P, Renström, P., 2006. The European College of Sports Sciences Position Statement: The role of stretching exercises in sports. *Eur J Sport Sci.* 6, 87-91.
- Magnusson, S.P, Simonsen, E.B., Aagaard, P., Dyhre-Poulsen, P., McHugh, M. P., Kjaer, M., 1996. Mechanical and physiological responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil.* 77, 373-378.

- Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Aagaard, P., Sørensen, H., Kjaer, M., 1996. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol.* 497, 291-298.
- Malina, R.M., 2007. Growth, maturation and development: Applications to young athletes and in particular to divers. In R.M. Malina and J.L. Gabriel, USA Diving Coach Development Reference Manual (pp.3-29). Indianapolis: USA Diving.
- Malina, R.M., Bouchard, C., Bar-Or, O., 2004. Growth, maturation, and physical activity. *Human kinetics.*
- Maniar, N., Shield, A.J., Williams, M.D., Timmins, R.G., Opar, D.A., 2016. Hamstring strength and flexibility after hamstring strain injury: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 50, 909-920.
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., Sánchez-Rivas, E., Viciano, J., 2014. Effect of a short-term static stretching training program followed by five weeks of detraining on hamstring extensibility in children aged 9-10 years. *J. Phys. Educ. Sport.* 14(3), 345-355. doi: 10.7752/jpes.2014.0305
- McGowan, C.J., Pyne, D.B., Thompson, K.G., Rattray, B., 2015. Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sports Med.* 45(11), 1523-1546.
- McGuigan, M., 2014. High-Performance Training for Sports. *Human Kinetics, Champaign, IL*, pp.3-15.
- McHugh, M.P., Cosgrave, C.H., 2010. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand J Med Sci Sports.* 20(2), 169-81
- McNeal, J.R., Sands, W.A., 2006. Stretching for performance enhancement. *Curr Sports Med Rep* 5, 141-146.
- McNeal, J.R., Sands, W.A., 2003. Acute static stretching reduces lower extremity power in trained children. *Pediatr. Exerc. Sci.* 15(2), 139-145.
- Merino-Marban, R., Mayorga-Vega, D., Fernandez-Rodriguez, E., Estrada, F. V., Viciano, J., 2015. Effect of a physical education-based stretching programme on sit-and-reach score and its posterior reduction in elementary schoolchildren. *Eur Phy Educ Rev.* 21(1), 83-92. doi: 10.1177/1356336X14550942

- Moltubakk, M.M., Magulas, M.M., Villars, F.O., Seynnes, O.R., Bojsen-Møller, J., 2018. Specialized properties of the triceps surae muscle-tendon unit in professional ballet dancers. *Scand J Med Sci Sports*. 28(9), 2023-2034.
- Morse, C.I., Degens, H., Seynnes, O.R., Maganaris, C.N., Jones, D.A., 2008. The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Physiol*. 586 (1), 97-106.
- Møller, M., Nielsen, R.O., Attermann, J., Wedderkopp, N., Lind, M., Sørensen, H., Myklebust, G., 2017. Handball load and shoulder injury rate: a 31-week cohort study of 679 elite youth handball players. *Br. J. Sports Med*. 51(4), 231-237.
- Mutungi, G., Ranatunga, K.W., 1996. The viscous, viscoelastic and elastic characteristics of resting fast and slow mammalian (rat) muscle fibres. *J. Physiol*. 496(3), 827-836.
- Myers T.W. 2014. *Anatomy Trains: Myofascial Meridians for Manual & Movement Therapists* (3rd ed.). N. York, Churchill Livingstone (Elsevier Ltd.)
- National Association for Sport and Physical Education., 2012. *Shape of the nation report*. Reston, V.A: National Association for Sport and Physical Education.
- Nakamura, M., Ikezoe, T., Takeno, Y., Ichihashi, N., 2012. Effects of a 4-week static stretch training program on passive stiffness of human gastrocnemius muscle tendon unit in vivo. *Eur. J. Appl. Physiol*. 112(7), 2749-2755.
- Narici, M.V., Landoni, L., Minetti, A.E., 1992. Assessment of human knee extensor muscles stress from in vivo physiological cross-sectional area and strength measurements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 65(5), 438-444.
- Nelson, R.T., Bandy, W.D., 2004. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athl Train*. 39, 254-258.
- Nelson, R.T., Bandy, W.D., An update on flexibility. *Strength Cond J*. 27, 10-16, 2005.
- Nelson, A.G., Kokkonen, J., 2001. Acute ballistic muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport*. 72(4), 415-419.
- Nguyen, A.D., Zuk, E.F., Baellow, A.L., Pfile, K.R., DiStefano, L.J., Boling, M.C., 2017. Longitudinal changes in hip strength and range of motion in female youth soccer players: implications for ACL injury, a pilot study. *J Sport Rehabil*. 26(5), 358-364

- O'Brien, T.D., Reeves, N.D., Baltzopoulos, V., Jones, D.A., Maganaris, C.N., 2010. Muscle–tendon structure and dimensions in adults and children. *J Anat.* 216(5), 631-642.
- Opplert, J., Babault, N., 2018. Acute effects of dynamic stretching on muscle flexibility and performance: an analysis of the current literature. *Sports Med.* 48(2), 299-325.
- Panidi, I., Bogdanis, G.C., Gaspari, V., Spiliopoulou, P., Donti, A., Terzis, G., Donti, O., 2020. Gastrocnemius Medialis Architectural Properties in Flexibility Trained and Not Trained Child Female Athletes: A Pilot Study. *Sports.* 8(3), 29.
- Page P., 2012. Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation. *Int J Sports Phys Ther.* 7(1), 109-119.
- Paradisis, P.G., Pappas, P.T., Theodorou, A.S., Zacharogiannis, E.G., Skordilis, E.K., Smirniotou, A.S., 2013. Effects of static and dynamic stretching on sprint and jump performance in boys and girls. *J Strength Cond Res.* 28(1), 154-160.
- Pate, R., Oria, M., Pillsbury, L., 2012. Fitness Measures for a National Youth Survey. In *Fitness Measures and Health Outcomes in Youth*. National Academies Press (US).
- Paolini J., 2009. Review of myofascial release as an effective massage therapy technique. *Athl. Ther.* 14 (5), 30–34 51.
- Papia, K., Bogdanis, G.C., Toubekis, A., Donti, A., Donti, O., 2018. Acute effects of prolonged static stretching on jumping performance and range of motion in young female gymnasts. *Sci. Gymnast.* 10(2), 217-226.
- Pichardo, A.W., Oliver, J.L., Harrison, C.B., Maulder, P.S., Lloyd, R.S., 2018. Integrating models of long-term athletic development to maximize the physical development of youth. *Int J Sports Sci Coach.* 13(6), 1189-1199.
- Reid, D., McNair, P.J., 2004. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 36(11), 1944-1948.
- Riemann, B.L., Witt, J., Davies, G.J., 2011. Glenohumeral joint rotation range of motion in competitive swimmers. *J. Sports Sci.* 29(11), 1191-1199.
- Ryan, E.D., Herda, T.J., Costa, P.B., Walter, A.A., Hoge, K.M., Cramer, J.T., 2011. The effect of chronic stretch training on muscle strength. *J Strength Cond Res* 25(1):345-352.

- Sands, W.A. (2002). Physiology. In: Sands W.A., Caine D.J., & Borms J. (Ed). Scientific Aspects of Women's Gymnastics. Medicine and Sport Science (pp.128-161). Basel: Karger.
- Sands, W.A., McNeal, J.R., Penitente, G., Murray, S.R., Nassar, L., Jemni, M., ... & Stone, M.H., 2016. Stretching the spines of gymnasts: a review. *Sports Med.* 46(3), 315-327.
- Sands, W., McNeal, J., 2019. Mobility and flexibility training for young athletes. In: *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application*, 265.
- Shanley, E., Kissenberth, M.J., Thigpen, C.A., Bailey, L.B., Hawkins, R.J., Michener, L.A., ... & Rauh, M.J., 2015. Preseason shoulder range of motion screening as a predictor of injury among youth and adolescent baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg.* 24(7), 1005-1013.
- Shrier, I., Gossal, K., 2000. Myths and truths of stretching: individualized recommendations for healthy muscles. *Phys Sportsmed.* 28(8), 57-63.
- Siff, M.C., Verkhoshansky, Y.V., 1999. *Supertraining*. 4th ed Denver, Colorado: Supertraining International.
- Simpson, C.L. 2015. Muscle and tendon overload characteristics after six weeks of overloaded stretch training. Doctoral dissertation, University of British Columbia.
- Simpson, C.L., Kim, B.D.H., Bourcet, M.R., Jones, G.R., Jakobi, J.M., 2017. Stretch training induces unequal adaptation in muscle fascicles and thickness in medial and lateral gastrocnemii. *Scand J Med Sci Sports.* 27(12), 1597-1604.
- Sjöström, M., Downham, D.Y., Lexell, J., 1986. Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: Why is there a difference within a fascicle? *Muscle Nerve*, 9(1), 30-36.
- Snyder, A.R., 2004. The acute influence of static and ballistic stretching on the biomechanics and muscle activity associated with the hamstring stretch. Doctoral dissertation, University of Toledo.
- Spector, S.A., Gardiner, P.F., Zernicke, R.F., Roy, R.R., Edgerton V.R., 1980. Muscle Architecture and Force-Velocity Characteristics of Cat Soleus and Medial Gastrocnemius: Implications for Motor Control. *J. Neurophysiol.* 44(5), 951-960.

- Spoor, C.W., van Leewen, J.L., van der Meulen, W.J., Huson A., 1991). Active force-length relationship of human lower leg muscles estimated from morphological data: a comparison of geometric muscle models. *Eur. J. Morphol.* 29(3), 137–160.
- Stickley, C.D., Hetzler, R.K., Freemyer, B.G., Kimura, I.F., 2008. Isokinetic peak torque ratios and shoulder injury history in adolescent female volleyball athletes. *J. Athl. Train.* 43(6), 571-577.
- Stone, M.H., Pierce, K.C., Sands, W.A., Stone, M E., 2006. Weightlifting: A brief overview. *Strength Cond J.* 28(1), 50.
- Thacker, S.B., Gilchrist, J., Stroup, D.F., Kimsey, C.D., 2004. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sport Exer.* 36(3), 371-378.
- Trajano, G.S., Nosaka, K., Blazevich, A.J., 2017. Neurophysiological mechanisms underpinning stretch-induced force loss. *Sports Med.* 47(8), 1531-1541.
- Trotter, J.A., 1993. Functional morphology of force transmission in skeletal muscle. A brief review. *Acta Anat.* 146(4), 205–222.
- Weldon, S.M., Hill, R.H., 2003. The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of the literature. *Man Ther.* 8(3), 141-150.
- Weppler C, Magnusson S., 2010. Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther.* 90, 438-449.
- Wiemann, K., Hahn, K., 1997. Influences of strength, stretching and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. *Int J Sports Med.* 18(05), 340-346.
- Wilke J. et al (2016). “What is the evidence – based about Myofascial chains: A systematic review”. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 97, 454–461
- Wilke, J., Krause, F., Vogt, L., Banzer, W., 2016. What is evidence-based about myofascial chains: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* 97(3), 454-461.
- Woods, K., Bishop, P., Jones, E., 2007. Warm-up and stretching in the prevention of muscular injury. *Sports Med.* 37(12), 1089-1099.
- Wormhoudt, R., Savelsbergh, G.J.P., Teunissen, J.W., Davids, K., 2018. *The Athletic Skills Model*. London: Routledge.

- Worrell, T.W., Smith, T.L., Winegardner, J., 1994. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J Orthop Sports Phys Ther* 20:154–159.
- Yamaguchi, T., Ishii, K., 2005. Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J Strength Cond Res.* 19, 677-683.
- Δόντη, Ο., Τσολάκης, Χ., Μπογδάνης, Γ.Χ., 2014. Οξεία και χρόνια επίδραση των στατικών διατάσεων στην αθλητική απόδοση: φυσιολογική βάση και πρακτικές εφαρμογές. *Επιθεώρηση εταιρείας βιοχημείας και φυσιολογίας της άσκησης*, 2, 1-23.

Ανάπτυξη και προπόνηση επιδεξιότητας⁹

Δημήτρης Χατζόπουλος

Περίληψη

Η επιδέξια εκτέλεση κινητικών δεξιοτήτων είναι σημαντική στην καθημερινή ζωή και τον αθλητισμό. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο και δυνατότητες προπόνησης της επιδεξιότητας από το γερμανόφωνο χώρο και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στον όρο «Συναρμοστική Ικανότητα» (ΣΙ) (koordinative Fähigkeit). Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην προπόνηση των συναρμοστικών ικανοτήτων στις μικρές ηλικίες όπου γίνεται διάκριση μεταξύ γενικής και εξειδικευμένης εξάσκησης. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την κριτική θεώρηση των μοντέλων εξάσκησης των συναρμοστικών ικανοτήτων.

Επιδεξιότητα και συναρμοστικές ικανότητες

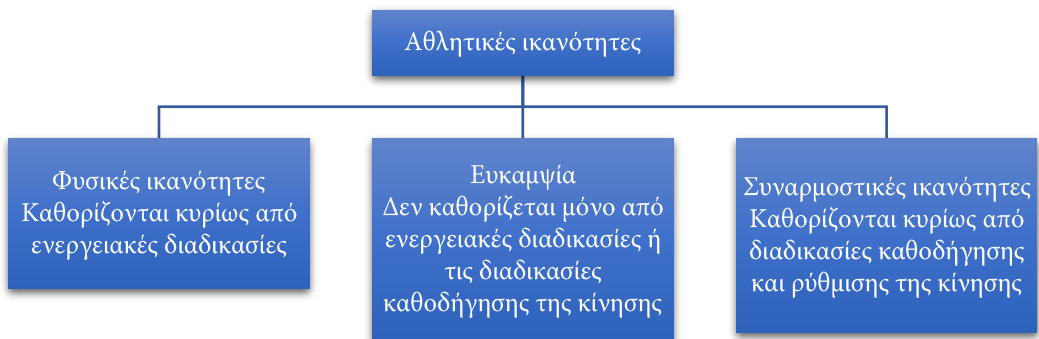
Ο όρος «επιδεξιότητα» χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος κινητικών δραστηριοτήτων και δηλώνει την ικανότητα της γρήγορης και αποτελεσματικής επίλυσης κινητικών προβλημάτων στην καθημερινή ζωή και τον αθλητισμό (Hirtz, 2015). Για παράδειγμα, επιδέξιος χαρακτηρίζεται ένας ποδοσφαιριστής που με «μαεστρία» χειρίζεται την μπάλα, αλλά και κάποιος που σκόνταψε και παρόλα αυτά διατήρησε την ισορροπία του και απέφυγε την πτώση.

Μέχρι τη δεκαετία του 1960 ο όρος «επιδεξιότητα» (Gewandtheit, στη γερμανόφωνη βιβλιογραφία) αναφέρεται σε μια γενική κινητική ικανότητα της γρήγορης και κατάλληλης επίλυσης αθλητικών προβλημάτων (πχ. αθλοπαιδιές, χορός) και καθημερινών καταστάσεων (πχ. οδήγηση ποδηλάτου με το ένα χέρι και το άλλο να δηλώνει την κατεύθυνση). Εξαιτίας αυτής της γενικότητας του όρου ήταν δύσκολη η συστηματική εξάσκηση της επιδεξιότητας (Meinel & Schnabel, 1998).

9. Το περιεχόμενο του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί ενημερωμένη και εμπλουτισμένη έκδοση του κειμένου που είχε δοθεί υπό μορφή σημειώσεων το 2015 στους/στις φοιτητές/τριες του Τ.Ε.Φ.Α.Α. Θεσσαλονίκης Α.Π.Θ.

Επίσης, η ύπαρξη μιας γενικής κινητικής ικανότητας που καθορίζει την ποιότητα όλων των επιδέξιων κινήσεων συναντά σημαντικά προβλήματα επιστημονικής τεκμηρίωσης (Haibach et al., 2017).

Για την επίλυση του προβλήματος της συστηματικής εξάσκησης της επιδεξιότητας, έγιναν πολλές εργασίες με στόχο τον καθορισμό των επιμέρους ικανοτήτων από τις οποίες αποτελείται η επιδεξιότητα. Όπως το θεωρητικό μοντέλο της φυσικής κατάστασης περιλαμβάνει τις φυσικές ικανότητες (δύναμη, ταχύτητα, αντοχή και ευκαμψία), έτσι και η επιδεξιότητα θεωρείται ότι αποτελείται από τις Συναρμοστικές Ικανότητες (ΣΙ) (koordinative Fähigkeiten) (Meinel & Schnabel 1998). Η διαφορά των φυσικών ικανοτήτων (ΦΙ) από τις ΣΙ είναι ότι οι ΦΙ καθορίζονται κυρίως από ενεργειακές διαδικασίες (εκτός από την ευκαμψία που φαντάζει να έχει προστεθεί κάπως αυθαίρετα στις ΦΙ). Ενώ, οι ΣΙ θεωρείται ότι στηρίζονται στις διαδικασίες καθοδήγησης και ρύθμισης της κίνησης (πρόσληψη πληροφοριών, προγραμματισμός κτλ.) (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Αθλητικές ικανότητες.

Οι πρώτες προσπάθειες συστηματικής εξάσκησης της επιδεξιότητας έφεραν στο προσκήνιο τον όρο «συναρμοστικές ικανότητες» (koordinative Fähigkeit) (Hirtz, 1985).

«Συναρμοστικές ικανότητες είναι ποιότητες εκτέλεσης ειδικών και ανάλογων με την κάθε κατάσταση διαδικασιών καθοδήγησης των κινήσεων που στηρίζονται σε κινητικές εμπειρίες» (Martin, Carl & Lehnertz, 1995, σελ. 66).

Οι συναρμοστικές ικανότητες αναφέρονται στη συνεργασία μεταξύ κεντρικού νευρικού συστήματος και μυών για την εκτέλεση των κινήσεων (Hirtz, 1985). Αποτελούν προϋποθέσεις απόδοσης σε κινήσεις με ιδιαίτερες απαιτήσεις νευρομυϊκής συναρμογής και αναπτύσσονται στη βάση κεντρικών νευρικών μηχανισμών. Η αποτελεσματικότητα και ο βαθμός ανάπτυξης των ΣΙ διακρίνεται (Meinel & Schnabel, 1998):

- Στην ταχύτητα και την ποιότητα εκμάθησης των κινητικών δεξιοτήτων.
- Στην οικονομία της εκτέλεσης των δεξιοτήτων σε σχέση με τη δαπάνη ενέργειας.
- Στην αποτελεσματική εκτέλεση των δεξιοτήτων σε μεταβαλλόμενες συνθήκες εκτέλεσης.

Οι συναρμοστικές ικανότητες (ΣΙ) αποτελούν θεωρητικές, υποθετικές κατασκευές που στηρίζονται στις διαδικασίες καθοδήγησης και ρύθμισης της κίνησης (Roth, 1999). Οι σημαντικότερες διαδικασίες καθοδήγησης και ρύθμισης της κίνησης θεωρούνται ότι είναι: η πρόσληψη και επεξεργασία πληροφοριών μέσω αισθητικών-αισθητήριων αναλυτών, ο προγραμματισμός της κινητικής εκτέλεσης και η πρόβλεψη του αποτελέσματος, η παροχή ώσεων καθοδήγησης του νευρικού συστήματος, παραγωγή της απαιτούμενης μυϊκής δραστηριότητας για την εκτέλεση, η ανατροφοδότηση σε σχέση με το αποτέλεσμα της κινητικής εκτέλεσης, η σύγκριση του αποτελέσματος με αυτό που είχε προγραμματιστεί και η παροχή ώσεων ρύθμισης (εντολές διόρθωσης) στους μυς (Martin et al., 1995). Γενικά, για την εκτέλεση μιας δεξιότητας απαιτείται η αντίληψη του περιβάλλοντος, η επιλογή της απάντησης και ο προγραμματισμός της. Το εάν αυτές οι διαδικασίες πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις παραδοχές της θεωρίας του σχήματος (σχεδιασμένης συμπεριφοράς) ή κάποιας άλλης θεωρίας (οικολογική θεωρία, θεωρία των Δυναμικών Συστημάτων), αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Οι διαδικασίες καθοδήγησης και ρύθμισης της κίνησης θεωρείται ότι ακολουθούν τους ίδιους κανόνες σε όλους τους ανθρώπους (Meinel & Schnabel, 1998). Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι λαμβάνουν χώρα σε όλους τους ανθρώπους με την ίδια ταχύτητα, ακρίβεια και διαφοροποίηση (εκλεπτυσμό, ο όρος αναλύεται διεξοδικά στη συνέχεια). Για παράδειγμα, ένας άνθρωπος που έχει ανεπτυγμένη τη ΣΙ του ρυθμού μπορεί πολύ πιο εύκολα να εκτελέσει ρυθμικές κινήσεις σε σχέση με κάποιον άλλο στον οποίο οι αντίστοιχες καθοδηγητικές και ρυθμιστικές διαδικασίες δεν είναι το ίδιο ανεπτυγμένες.

Μοντέλα εξάσκησης συναρμοστικών ικανοτήτων

Οι προσπάθειες ανίχνευσης και συστηματοποίησης των συναρμοστικών ικανοτήτων, οι οποίες θεωρείται ότι συνθέτουν την επιδεξιότητα, είναι πάρα πολλές. Οι ερευνητές καταλήγουν σε διαφορετικά μοντέλα ταξινόμησης των ΣΙ ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιούν (επαγωγική ή/και απαγωγική), το επίπεδο επίδοσης (αρχάριοι-επαγγελματίες) ή/και το άθλημα στο οποίο αναφέρονται (Hirtz, 1994; Ljach, 1997). Η επιλογή της παρουσίασης του μοντέλου των Meinel και Schnabel (1998), οφείλεται στο γεγονός ότι έχει κυριαρχήσει στη γερμανική βιβλιογραφία, στηρίζεται σε ένα μεγάλο πλήθος ερευνητικών δεδομένων, στηρίζεται στα βασικά κινητικά προβλήματα που συναντώνται στις βασικές καθημερινές και αθλητικές δραστηριότητες και αναφέρονται συγκεκριμένες οδηγίες για την εξάσκησή τους.

Σύμφωνα με το μοντέλο των Meinel και Schnabel (1998), τα βασικά προβλήματα (ή οι απαιτήσεις) που συναντώνται σε δραστηριότητες της καθημερινής ζωής και του αθλητισμού είναι:

- Σε πολλές δραστηριότητες απαιτείται η εκτέλεση των κινήσεων με ακρίβεια σε σχέση με τη δοσολογία της δύναμης (π.χ. για να δώσει ο ποδοσφαιριστής σωστή πάσα θα πρέπει να την κλωσήσει με την κατάλληλη δύναμη).
- Συχνά για την επίλυση κινητικών προβλημάτων απαιτείται ο συντονισμός της εκτέλεσης πολλών κινήσεων, είτε διαδοχικά (π.χ. μπάσιμο στο μπάσκετ) είτε ταυτόχρονα (π.χ. ντρίπλα με το ένα χέρι και κάλυψη μπάλας με το άλλο).
- Συχνά απαιτείται η γρήγορη αντίδραση με την κατάλληλη κίνηση σε διάφορα ερεθίσματα (πχ. ακουστικά, οπτικά).
- Στο σύνολο των αθλοπαιδιών απαιτείται η αλλαγή θέσης σε σχέση με τη θέση των συμπαιχτών, αντιπάλων, τα όρια του γηπέδου ή/και κάποιου αντικειμένου (μπάλας).
- Σε πολλές δραστηριότητες απαιτείται η εκτέλεση κινήσεων σε διάφορες καταστάσεις ασταθούς ισορροπίας.
- Σε πλήθος καθημερινών και αθλητικών δραστηριοτήτων απαιτείται η προσαρμογή των κινήσεων σε κάποιο εξωτερικό ή εσωτερικό ρυθμικό ερέθισμα.
- Πολλές φορές απαιτείται η προσαρμογή ή/και η αλλαγή της επιλεγόμενης κίνησης εξαιτίας μεταβαλλόμενων συνθηκών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια κάποιας αθλητικής δραστηριότητας.

Σε αντιστοιχία με τις παραπάνω βασικές απαιτήσεις που εμφανίζονται στις καθημερινές και αθλητικές δραστηριότητες, οι Meinel και Schnabel (1998) πρότει-

ναν ένα μοντέλο που περιλαμβάνει επτά συναρμοστικές ικανότητες: την ικανότητα διαφοροποίησης, σύζευξης, αντίδρασης, προσανατολισμού, ισορροπίας, τη ρυθμική ικανότητα και την ικανότητα μετατροπής (περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια) (Σχήμα 2). Επίσης, η επιλογή αυτών των ΣΙ στηρίχτηκε και σε έρευνες που έδειξαν ότι τα άτομα που εκτελούν επιδέξια κινήσεις έχουν σε υψηλό βαθμό ανεπτυγμένες αυτές τις ικανότητες (Meinel & Schnabel, 1998).

Ικανότητα διαφοροποίησης (Differenzierungsfähigkeit)

Αναφέρεται στην ικανότητα εκτέλεσης των κινήσεων με σιγουριά, οικονομία και ακρίβεια, όπου τον καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η κατάλληλη δοσολογία της δύναμης.

Ικανότητα σύζευξης (Kopplungsfähigkeit)

Είναι η ικανότητα συντονισμού κινήσεων μελών του σώματος (κινήσεις των άκρων, του κορμού και του κεφαλιού) και επιμέρους κινήσεων, σε μια σκόπιμη συνολική κίνηση.

Ικανότητα αντίδρασης (Reaktionsfähigkeit)

Είναι η ικανότητα της γρήγορης αντίδρασης σε διάφορα ερεθίσματα (ακουστικά, οπτικά κτλ.).

Ικανότητα προσανατολισμού στο χώρο (Orientierungsfähigkeit)

Είναι η ικανότητα καθορισμού της θέσης του σώματος και των μετακινήσεών του σε σχέση με τα όρια ενός γηπέδου ή/και κινουμένων αντικειμένων (π.χ. παίχτες, μπάλα).

Ικανότητα ισορροπίας (Gleichgewichtsfähigkeit)

Η ικανότητα ισορροπίας επιτρέπει τη διατήρηση ή/και επαναπόκτηση της ισορροπίας, κατά τη διάρκεια ή/και μετά την εκτέλεση μιας κίνησης καθώς και σε ασταθή σημεία στήριξης.

Ρυθμική ικανότητα (Rhythmisierungsfähigkeit)

Είναι η ικανότητα η οποία επιτρέπει την προσαρμογή των κινήσεων σε εξωτερικά ή εσωτερικά ρυθμικά ερεθίσματα.

Ικανότητα μετατροπής (Umstellungsfähigkeit)

Η ικανότητα μετατροπής αποτελεί τη βάση για την γρήγορη προσαρμογή ή και αλλαγή των κινήσεων σε μεταβαλλόμενα δεδομένα.

Σχήμα 2. Συναρμοστικές ικανότητες

Σχέση συναρμοστικών ικανοτήτων και κινητικών δεξιοτήτων

Η σχέση των ΣΙ με τις κινητικές δεξιότητες είναι ιδιαίτερα στενή. Ως κινητική δεξιότητα (τεχνική) ορίζεται μια δοκιμασμένη, σκόπιμη και αποτελεσματική κίνηση (ή σύνολο κινήσεων), η οποία εφαρμόζεται για την επίλυση ενός συγκεκριμένου αθλητικού προβλήματος (π.χ. σουτ στο μπάσκετ) (Martin, Carl & Lehnertz, 1995). Το κοινό σημείο των κινητικών δεξιοτήτων και των ΣΙ είναι ότι και οι δυο στηρίζονται στις διαδικασίες καθοδήγησης και ρύθμισης της κίνησης. Η διαφορά τους έγκειται στο εύρος της χρησιμοποίησής τους. Η κινητική δεξιότητα αποτελεί μια σταθεροποιημένη, αυτοματοποιημένη και εξειδικευμένη κίνηση, η οποία παίζει το ρόλο του προτύπου (χρησιμοποιείται ως μοντέλο) για την επίλυση ενός μόνο συγκεκριμένου αθλητικού προβλήματος. Αντίθετα, μια ΣΙ θεωρείται ότι είναι απαραίτητη για την εκτέλεση πολλών κινητικών δεξιοτήτων (Hirtz, 1995). Ενώ λοιπόν μια κινητική δεξιότητα είναι συνδεδεμένη - σύμφωνα με τη θεωρία του σχήματος του Schmidt (1975) - με ένα συγκεκριμένο “πρόγραμμα”, μια ΣΙ δεν συνδέεται μόνο με ένα συγκεκριμένο “πρόγραμμα” (δεξιότητα), αλλά αποτελεί προϋπόθεση για την αποτελεσματική εκτέλεση ενός μεγάλου αριθμού δεξιοτήτων (Rostock & Zimmermann, 1997). Για παράδειγμα, η ικανότητα αντίδρασης είναι απαραίτητη στον τερματοφύλακα που θέλει να αποκρούσει με πλάγια βουτιά (κινητική δεξιότητα) την μπάλα που κατευθύνεται στην εστία του, αλλά είναι απαραίτητη και στον τενίστα που έχει πλησιάσει στο φιλέ και θέλει με βόλει (συγκεκριμένη κινητική δεξιότητα στο τένις) να κατευθύνει την μπάλα στο αντίπαλο γήπεδο. Στο σημείο αυτό θα πρέπει επίσης να διευκρινιστεί, ότι για την εκτέλεση μιας κινητικής δεξιότητας είναι απαραίτητη η συμμετοχή πολλών ΣΙ. Όσον αφορά στο ποια από τις συμμετέχουσες ΣΙ είναι σημαντικότερη για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης κινητικής δεξιότητας, αυτό εξαρτάται από το είδος της δεξιότητας και τις επικρατούσες συνθήκες εκτέλεσης.

Εξάσκηση συναρμοστικών ικανοτήτων

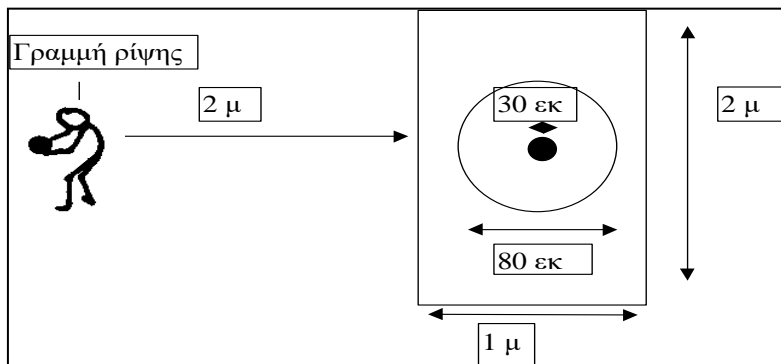
Ικανότητα διαφοροποίησης (Differenzierungsfähigkeit)

Ικανότητα διαφοροποίησης είναι η ικανότητα εκτέλεσης μιας κίνησης με σιγουριά, οικονομία και ακρίβεια, όπου τον καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η δοσολογία της δύναμης. Σε σχέση με την αγγλόφωνη βιβλιογραφία σχετίζεται κυρίως με τον όρο «sense of force» (αίσθηση της δύναμης, αναλύεται στη συνέχεια).

Η ικανότητα διαφοροποίησης είναι δύσκολο να εξασκηθεί μεμονωμένα, γιατί είναι απαραίτητη για το σύνολο σχεδόν των αθλητικών και καθημερινών κινήσεων. Οι ασκήσεις με τις οποίες μπορεί να εξασκηθεί είναι ασκήσεις που απαιτούν συντονισμό ματιού-χεριού ή/και ματιού-ποδιού:

- Στόχευση με μπάλα σε διάφορους στόχους (τετράγωνο, κύκλος), από διαφορετικές αποστάσεις και επίπεδα (ύψος επιφάνειας).
- Άλμα και προσγείωση πάνω σε συγκεκριμένα σημεία που βρίσκονται σε διαφορετικά ύψη ή αποστάσεις.
- Παιχνίδια (ζογκλερικά) με την μπάλα. Ρίχνουμε την μπάλα ψηλά, χτυπάμε δυο παλαμάκια και την ξαναπιάνουμε. Προσπαθούμε να διατηρήσουμε την μπάλα στον αέρα χτυπώντας την με τα πόδια, τα χέρια, τα γόνατα κτλ.
- Παιχνίδια σε διαφορετικό έδαφος (πχ. άμμος, χορτάρι).
- Παιχνίδια με διαφορετικές μπάλες (μέγεθος, βάρος).
- Αναπαραγωγή γωνιών.
- Ασκήσεις σύσπασης/χαλάρωσης

Ένα παιχνίδι για την ικανότητα διαφοροποίησης:



Το παιδί ρίχνει με γυρισμένη πλάτη στο στόχο (μαύρος κύκλος) μια ιατρική μπάλα. Εάν η μπάλα πέσει στον κεντρικό μαύρο κύκλο παίρνει 3 πόντους, εντός του στεφανιού 2 πόντους και το στρώμα 1 πόντο (Χατζόπουλος, 2012).

Ικανότητα διαφοροποίησης, ιδιοδεκτικότητα και κιναισθηση

Ο όρος kinesthesia προέρχεται από την εργασία του Henry Bastian και αποτελεί συνδυασμό των ελληνικών λέξεων «κίνηση» και «αίσθηση». Ενώ ο όρος

proprioception προέρχεται από τα λατινικά «proprius», που σημαίνει "το δικό σου", "ατομικό", και «capia», «να πάρω» ή «να αρπάξω» (Han et al., 2016).

Δεν υπάρχει συμφωνία στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία για την ορολογία σχετικά με το τι ορίζεται ως ιδιοδεκτικότητα (proprioception) και τι ως κιναισθηση (kinesthesia). Οι όροι «κιναισθηση» και «ιδιοδεκτικότητα» χρησιμοποιούνται άλλοτε ως συνώνυμα και άλλοτε ο ένας όρος αποτελεί υποκατηγορία του άλλου όρου. Ωστόσο, σε ένα σημαντικό αριθμό εργασιών ο όρος ιδιοδεκτικότητα (proprioception) αναφέρεται σε 3 αισθήσεις (Riemann & Lephart, 2002):

- Στην αίσθηση της θέσης των μελών του σώματος στο χώρο (joint position sense, JPS).
- Στην αίσθηση της κίνησης των μελών του σώματος (κιναισθηση, kinesthesia). Είναι η αίσθηση του αν κινείται κάποιο μέλος (π.χ. έναρξης μιας κίνησης) και με ποιο τρόπο (π.χ. επιτάχυνση, επιβράδυνση).
- Στην αίσθηση της δύναμης που αναπτύσσεται στις διάφορες μυϊκές ομάδες (sense of force). Ο γερμανικός όρος της Ικανότητας Διαφοροποίησης αναφέρεται κυρίως στην αίσθηση της δύναμης.

Η ιδιοδεκτικότητα βασίζεται σε πληροφορίες οι οποίες προέρχονται από εξειδικευμένους περιφερικούς υποδοχείς, τους μηχανοϋποδοχείς (αισθητικοί νευρώνες που βρίσκονται στις αρθρώσεις, τους μυς, τους τένοντες, τις περιτονίες και στο δέρμα). Οι πληροφορίες των μηχανοϋποδοχέων μεταφέρονται με τη μορφή νευρικών σημάτων στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Κ.Ν.Σ.) όπου επεξεργάζονται και δίνεται η εντολή για την εκτέλεση των κατάλληλων κινητικών αντιδράσεων (Riemann & Lephart, 2002),

Ικανότητα αντίδρασης (Reaktionsfähigkeit)

Είναι η ικανότητα της γρήγορης αντίδρασης σε διάφορα ερεθίσματα (πχ. ακουστικά, οπτικά, αφής κτλ.). Για παράδειγμα, για τους δρομείς είναι σημαντική η γρήγορη αντίδραση στο σήμα εκκίνησης του αφέτη, για τον ποδοσφαιριστή είναι σημαντικό να αντιδρά γρήγορα σε οπτικά ερεθίσματα (κινήσεις παιχτών ή/και μπάλας), για τους παλαιστές είναι σημαντικό να αντιδρούν γρήγορα σε ερεθίσματα αφής και ιδιοδεκτικότητας (π.χ. αίσθηση της δύναμης).

Ο γερμανικός όρος Reaktionsfähigkeit (Ικανότητα αντίδρασης) αντιστοιχεί στον αγγλικό όρο Response time ο οποίος είναι το άθροισμα του Reaction time: (χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ ερεθίσματος και έναρξης της κίνησης) και του

Movement time (χρόνος που μεσολαβεί από την έναρξη μέχρι τη λήξη της κίνησης).

Ικανότητα αντίδρασης (Response time) = Reaction time + movement time.

Για την εξάσκηση της ικανότητας αντίδρασης ενδείκνυνται όλες οι μορφές παιχνιδιών με κυνηγητό, Οι αθλοπαιδιές (ποδόσφαιρο, μπάσκετ κτλ.) και μικρά παιχνίδια με μπάλες. Για παράδειγμα, «τα μήλα» όπου τα παιδιά προσπαθούν με μια μπάλα να χτυπήσουν τα παιδιά της αντίπαλης ομάδας.



Σχήμα 3. Εξάσκηση ικανότητας αντίδρασης

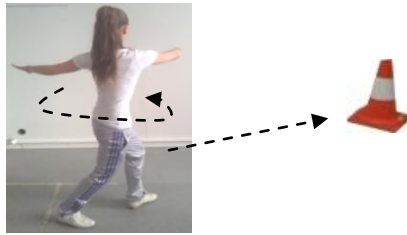
Το παιδί που έχει την μπάλα την αφήνει να πέσει και το άλλο παιδί με τη γυρισμένη πλάτη, μόλις ακούσει το χτύπημα της μπάλας στο πάτωμα, γυρίζει να την πιάσει πριν ξαναπέσει κάτω (Σχήμα 3).

Ικανότητα προσανατολισμού (Orientierungsfähigkeit)

Είναι η ικανότητα κατάλληλης αλλαγής θέσης του σώματος σε σχέση με τα όρια ενός γηπέδου ή/και κινούμενων αντικειμένων (π.χ. παίχτες, μπάλα). Ο καλός επιθετικός στο ποδόσφαιρο είναι σημαντικό να γνωρίζει ακόμη και με γυρισμένη την πλάτη σε ποιο σημείο του γηπέδου βρίσκεται και που είναι η αντίπαλη εστία.

Για την εξάσκηση του προσανατολισμού ενδείκνυνται όλες οι μορφές κυνηγητού σε συγκεκριμένο χώρο όπου παρεμβάλλονται επιπλέον εμπόδια (π.χ. κώνοι που οριοθετούν λίμνες, δέντρα κτλ.), τα οποία θα πρέπει να αποφευχθούν. Το ίδιο κατάλληλες είναι και οι αθλοπαιδιές όπου θα πρέπει οι ασκούμενοι να κινούνται στον κενό χώρο για να δεχτούν μια πάσα, να αποφεύγουν αντιπάλους κτλ.

Μια άλλη μορφή εξάσκησης αποτελούν οι ασκήσεις, όπου ο ασκούμενος θα πρέπει να προσανατολιστεί και να κινηθεί γρήγορα προς το στόχο (Chatzopoulos, 2002).



Σχήμα 4. Εξάσκηση προσανατολισμού στο χώρο.

Περισσότερα παραδείγματα αναφέρονται στο Χατζόπουλος (2012)

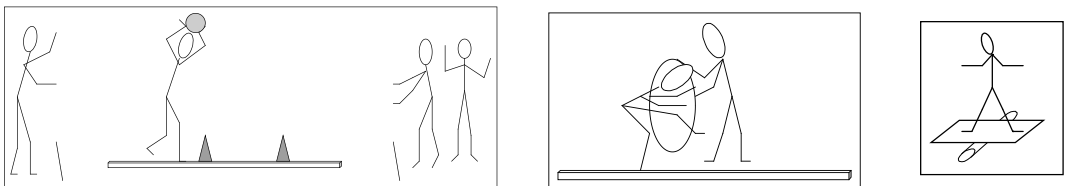
Ικανότητα ισοροπίας (Gleichgewichtsfähigkeit)

Η ικανότητα ισοροπίας επιτρέπει τη διατήρηση ή/και επαναπόκτηση μορφών ισοροπίας, κατά τη διάρκεια ή/και μετά την εκτέλεση μιας κίνησης καθώς και σε ασταθή σημεία στήριξης. Διακρίνεται σε δυναμική (διατήρηση ή/και επαναπόκτησή της κατά τη διάρκεια μιας κίνησης ή μετά την εκτέλεσή της), και στατική (ικανότητα να διατηρεί το σώμα την ισοροπία του στηριζόμενο σε διάφορα σημεία του, π.χ. στο ένα πόδι).

Ισοροπία

Η κατάσταση στην οποία η κάθετη στο έδαφος προβολή του κέντρου μάζας (κέντρο βάρους) βρίσκεται εντός της επιφάνειας στήριξης (Pollock et al., 2000).

Ορισμένα κριτήρια αξιολόγησης της ισοροπίας είναι η διάρκεια διατήρησής της σε ασταθής συνθήκες καθώς και η ταχύτητα και η ποιότητα επαναπόκτησής της.



Σχήμα 5. Παραδείγματα εξάσκησης ισοροπίας

Αύξηση βαθμού δυσκολίας ασκήσεων ισοροπίας

Όσον αφορά στην αύξηση του βαθμού δυσκολίας των ασκήσεων ισοροπίας, προτείνεται η εξάσκηση της ισοροπίας στα μικρά παιδιά να γίνεται στην αρχή με ασκήσεις στήριξης στο ένα πόδι, βάδισμα κατά μήκος μιας χαρτοταινίας κτλ. Στη συνέχεια προτείνεται η χρήση σταθερών οργάνων με μειωμένη επιφάνεια στήριξης (π.χ. δοκός ισοροπίας, συνήθως 6 εκ, 4,5 και 3 εκ φάρδος, 5εκ ύψος, Kiphard & Schilling, 2007). Στην αρχή προτείνεται η εξάσκηση σε χαμηλό ύψος και μεγάλη επιφάνεια ισοροπίας και στη συνέχεια αυξάνεται το ύψος στο οποίο γίνεται η ισοροπία.

Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν στρώματα προτείνεται από τον Kosel (1998) για την αποφυγή τραυματισμών, η απόσταση της δοκού από το έδαφος να μην υπερβαίνει τα 50 εκ. Ως επόμενο επίπεδο δυσκολίας για τις μικρές ηλικίες προτείνεται η εξάσκηση της ισοροπίας σε κεκλιμένες επιφάνειες και τέλος σε ταλαντευόμενες επιφάνειες.

Η προοδευτική αύξηση του βαθμού δυσκολίας μπορεί να γίνει και σε συνδυασμό με την αλλαγή των δεξιοτήτων μετακίνησης. Προτείνεται η ακόλουθη προοδευτική σειρά:

- Κανονικό βάδισμα.
- Βάδισμα με μεγάλα βήματα.
- Βάδισμα με ανύψωση του γόνατος (μηρός παράλληλα με το έδαφος).
- Βάδισμα προς τα πίσω.
- Τρέξιμο.
- Πλάγια μετακίνηση με σταύρωμα βημάτων.

Βασική αρχή για την αύξηση του βαθμού δυσκολίας είναι η ασφάλεια των ακούμενων. Επειδή η ισοροπία απαιτεί υψηλή συγκέντρωση, τα παιδιά κουράζονται ψυχολογικά και για αυτό προτείνεται η διάρκεια εξάσκησης της ισοροπίας να κυμαίνεται ανάλογα με την ηλικία 7-12' λεπτά (Zimmer & Cicurs, 1995). Όσο πιο μικρά τα παιδιά τόσο μικρότερη η διάρκεια.

Το American College of Sports Medicine (ACSM, 2017) προτείνει για την εξάσκηση της ισοροπίας: (α) ισοροπία σε επιφάνειες με μικρή επιφάνεια στήριξης (πχ. μονοποδική στήριξη) (β) ασκήσεις με μετατόπιση του κέντρου μάζας (πχ. πέρασμα πάνω από εμπόδια, ασκήσεις σε δίσκους ισοροπίας κτλ.) και (γ) περιορισμό της όρασης ή ιδιοδεκτικών πληροφοριών (πχ. ασκήσεις ισοροπίας με κλειστά μάτια, πάνω σε στρώματα κτλ.). Επίσης, προτείνεται η προπόνηση να

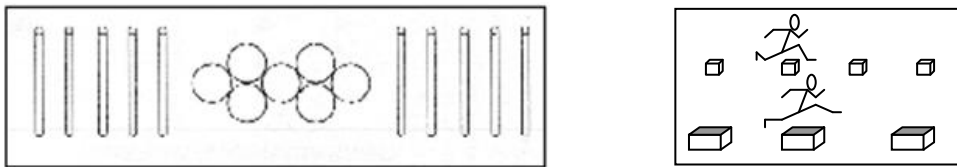
πραγματοποιείται 2-3 φορές την εβδομάδα και αναφέρεται ότι αποτελεσματικά προγράμματα έχουν διάρκεια 20-30 λεπτά σε κάθε προπονητική μονάδα με σύνολο 60 λεπτών την εβδομάδα (ACSM, 2017). Αυτές οι προτροπές προτείνεται να ακολουθούνται με επιφύλαξη εξαιτίας των περιορισμένων δεδομένων.

Ενδιαφέρουσες είναι και οι προτάσεις της μεταανάλυσης των Gebel και συν. (2018) όπου αναφέρεται ότι οι μεγαλύτερες επιδράσεις εμφανίζονται όταν: η διάρκεια της προπόνησης είναι 12 εβδομάδες, η συχνότητα 2 την εβδομάδα, ο συνολικός αριθμός προπονήσεων 24-36, η διάρκεια της προπόνησης 4-15' και η συνολική διάρκεια την εβδομάδα 31-60 λεπτά.

Ρυθμική ικανότητα (Rhythmisierungsfähigkeit)

Η ρυθμική ικανότητα χαρακτηρίζει την εκμάθηση, αποθήκευση και παρουσίαση συγκεκριμένων χρονικών και δυναμικών δομών των κινήσεων. Είναι η ικανότητα η οποία επιτρέπει την προσαρμογή των κινήσεων σε εξωτερικά/εσωτερικά ρυθμικά ερεθίσματα.

Για την εξάσκηση της ρυθμικής ικανότητας προτείνεται εκτός από ακουστικά ερεθίσματα (π.χ. χορός) να χρησιμοποιούνται και οπτικά ερεθίσματα (Chatzopoulos, 2001). Για παράδειγμα, ο ασκούμενος διανύει μια απόσταση όσο πιο γρήγορα μπορεί περνώντας πάνω από εμπόδια ή πατώντας μέσα σε στεφάνια. Επίσης, για την εξάσκηση της μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σχοινάκια.



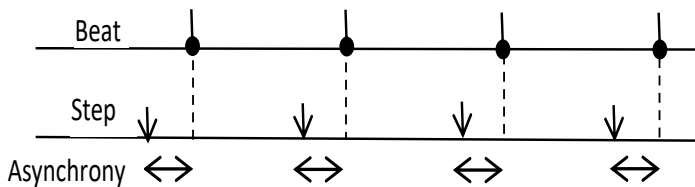
Σχήμα 6. Εξάσκηση ρυθμού.

Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί η εκτέλεση χορογραφίας με δεξιότητες του αθλήματος (πχ. μπασκετοχορογραφία) (Χατζόπουλος, 2012).

Μια δυνατότητα αξιολόγησης της ρυθμικής ικανότητας

Η αξιολόγηση της ρυθμικής ικανότητας των παιδιών μπορεί να γίνει με το Kara-invent test (<https://www.k-invent.com>). Το όργανο μέτρησης αποτελείται

από δύο δυναμοδάπεδα της εταιρείας KAPA-INVENT και εξειδικευμένο λογισμικό για την επικοινωνία με προσωπικό υπολογιστή. Το όργανο καταγράφει την απόλυτη διαφορά μεταξύ του χρόνου του ακουστικού ερεθίσματος του μετρονόμου και της επαφής του ποδιού στο δυναμοδάπεδο. Όσο μικρότερη είναι η απόλυτη διαφορά, τόσο καλύτερη θεωρείται η ρυθμική ικανότητα του παιδιού (Chatzihidiroglou et al. 2018).



Σχήμα 7. Αξιολόγηση ρυθμικής ικανότητας (*sensorimotor synchronization SMS*)

Ικανότητα σύζευξης (*Kopplungsfähigkeit*)

Είναι η ικανότητα συντονισμού επιμέρους κινήσεων μελών του σώματος (κινήσεις των άκρων, του κορμού και του κεφαλιού), σε μια σκόπιμη συνολική κίνηση. Για παράδειγμα, οι ποδοσφαιριστές συχνά χρησιμοποιούν τα χέρια τους για να κρατήσουν μακριά τους αντιπάλους τους και με τα πόδια προσπαθούν να διατηρήσουν την κατοχή της μπάλας.

Δυνατότητες εξάσκησης της ικανότητας σύζευξης αποτελούν όλες οι ασκήσεις στις οποίες εκτελούνται ταυτόχρονα διαφορετικές κινήσεις με διαφορετικά μέρη του σώματος. Οι συνδυασμοί που μπορούν να γίνουν είναι:

- Διαφορετική κίνηση με το δεξί χέρι και διαφορετική με το αριστερό. Π.χ. με το ένα χέρι ντριπλάρουμε και με το άλλο προσπατεύουμε την μπάλα ή προσπαθούμε να την κλέψουμε από τους άλλους.
- Συνδυασμός εκτέλεσης διαφορετικής κίνησης με τα χέρια και μιας επιπλέον κίνησης με κάποιο σημείο του σώματος (λεκάνη, κεφάλι κτλ.). Πχ. με το ένα χέρι εκτελούμε δεξιόστροφες περιστροφές και με το άλλο αριστερόστροφες.

Ικανότητα μετατροπής (*Umstellungsfähigkeit*)

Η ικανότητα μετατροπής αποτελεί τη βάση για τη γρήγορη προσαρμογή ή και αλλαγή του κινητικού προγράμματος σε καινούρια δεδομένα. Στηρίζεται στην ταχύτητα και ακρίβεια της αντίληψης των μεταβαλλόμενων συνθηκών και στο

ρεπερτόριο των κινήσεων που γνωρίζει κάποιος. Έχει άμεση σχέση με την ικανότητα προσανατολισμού και αντίδρασης. Ο καλύτερος τρόπος για την εξάσκησή της είναι οι αθλοπαιδιές όπου λόγω των κινήσεων των αντιπάλων και των συμπαιχτών ο ασκούμενος αναγκάζεται συχνά να αλλάζει τις προαποφασισμένες κινήσεις του.

Η εξίσωση της προπόνησης των συναρμοστικών ικανοτήτων

Η βασική αρχή εξάσκησης των ΣΙ περιγράφεται από την εξίσωση (Roth, 2014):



Σχήμα 8. Εξίσωση εξάσκησης συναρμογής

Εκτέλεση γνωστών δεξιοτήτων

Για την εξάσκηση των ΣΙ προτείνεται να χρησιμοποιούνται κινήσεις τις οποίες κατέχουν τα παιδιά. Για αυτό το λόγο, στις μικρές ηλικίες (7-8 ετών) προτείνεται η εξάσκηση των ΣΙ να πραγματοποιείται με τις ακόλουθες βασικές δεξιότητες: τρέξιμο, άλμα οριζόντιο/κατακόρυφο, πλάγια μετακίνηση, καλπασμός (αλογάκι-α), skipping, αναπηδήσεις (κουτσό) και απλές κινήσεις χεριών (περιφορές, ανάταση, διάταση, πρόταση κτλ.). Τα παιδιά ηλικίας 7-8 ετών θεωρείται ότι κατέχουν σε ικανοποιητικό επίπεδο τις προαναφερόμενες δεξιότητες. Στο διάστημα όπου τα παιδιά εξασκούν τις ΣΙ με τις βασικές δεξιότητες μετακίνησης, προτείνεται ταυτόχρονα να μαθαίνουν και τις ακόλουθες βασικές δεξιότητες χειρισμού αντικειμένων: ρολάρισμα μπάλας (μπόουλινγκ), ρίψη, έλεγχος ντρίπλα, υποδοχή με τα χέρια, λάκτισμα και χτύπημα με ρακέτα (Kröger & Roth, 1999). Στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία ο όρος που χρησιμοποιείται είναι fundamental movement skills και αναφέρεται στις βασικές δεξιότητες μετακίνησης, χειρισμού αντικειμένων και σταθεροποίησης. Οι δεξιότητες μετακίνησης και χειρισμού αντικειμένων προτείνεται να χρησιμοποιηθούν για την εξάσκηση των ΣΙ μόνο όταν τα παιδιά τις εκτελούν σε ένα ικανοποιητικό βαθμό.

Ποικιλία αισθητικών-αισθητηριακών ερεθισμάτων

Οι διάφορες αισθήσεις είναι το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των ερεθισμάτων που φτάνουν στον εγκέφαλο. Σε σχέση με τον αθλητισμό ως σημαντικότερα ερεθίσματα (πληροφορίες) θεωρούνται αυτά που προέρχονται από το μάτι (όραση), το αυτί (ακοή), την αφή (αίσθηση της αφής, απτικά ερεθίσματα), το αισθησιακό σύστημα (συμβάλει στην ισορροπία) και τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς (π.χ. αίσθηση της θέσης του σώματος και των μελών του, αίσθηση της δύναμης που ασκείται, του βάρους κτλ.).

Η γρήγορη αναγνώριση και επεξεργασία οπτικών, ιδιοδεκτικών κτλ. πληροφοριών, είναι πολύ σημαντική για την καθοδήγηση και ρύθμιση της εκτέλεσης των δεξιοτήτων. Για παράδειγμα, στο ποδόσφαιρο έχει ιδιαίτερη σημασία η ανάλυση των οπτικών πληροφοριών. Αυτό όμως δεν σημαίνει, ότι θα πρέπει να παραμελήσουμε και την ευαισθητοποίηση του ασκούμενου σε πληροφορίες, οι οποίες προέρχονται και από τους πληροφοριοδότες των υπόλοιπων οργάνων, για παράδειγμα, της αφής (π.χ. οι αμυντικοί στο ποδόσφαιρο χρησιμοποιούν την επαφή με το σώμα του αντίπαλου για να πληροφορούνται ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται). Με τον περιορισμό των πληροφοριών που προέρχονται από τα μάτια (π.χ. με ειδικά γυαλιά, χαμηλό φωτισμό, εκτυφλωτικό φωτισμό κτλ.) ή τον πλήρη αποκλεισμό τους (π.χ. κλείσιμο ματιών), δίνεται η δυνατότητα να συμπεριληφθούν στην εξάσκηση και πληροφορίες της ιδιοδεκτικότητας, της αφής αλλά και της ακοής.

Συνθήκες πίεσης

Σε σχέση με τον όρο “συνθήκες πίεσης” (Druckbedingungen) αυτή μπορεί να επιτευχθεί μεταβάλλοντας τους παρακάτω παράγοντες (Neumaier 2014):

- Πίεση χρόνου (Zeitdruck). Μεταβολή (αύξηση/μείωση) ταχύτητας εκτέλεσης.
- Ακρίβεια εκτέλεσης της κίνησης (Präzisionsdruck). Στις ασκήσεις αυτές διακρίνονται δυο κατηγορίες: (α) απαίτηση για ακρίβεια στην εκτέλεση και (β) την απαίτηση για ακρίβεια στην επίτευξη του στόχου (π.χ. με την εναλλαγή μεγάλων, μικρών στόχων κτλ.).
- Μεταβολή της πολυπλοκότητας της κίνησης (Komplexitätsdruck). Στις ασκήσεις αυτής της μορφής διακρίνονται δυο κατηγορίες α) εκτελούνται πολλές δεξιότητες διαδοχικά ή μια μετά την άλλη και β) εκτελούνται πολλές δεξιότητες ταυτόχρονα (π.χ. ντρίπλα με μπάλα μπάσκει και προστασία με το άλλο χέρι). Ο βαθμός δυσκολίας αυξάνεται όταν γίνεται ο συνδυασμός τους.

- Μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος ή/και αντιπάλων (Variabilitätsdruck). Στις περιπτώσεις αυτές εκτελούνται οι δεξιότητες σε διαφορετικές συνθήκες, σε διαφορετικά γήπεδα (βρεγμένο γήπεδο, μικρότερο γήπεδο, κτλ.) ή/και με εναλλαγές συμπαικτών/αντιπάλων (ή μεταβολή του αριθμού τους).
- Συνθήκες ψυχοσωματικής επιβάρυνσης (Belastungsdruck). Οι δεξιότητες εκτελούνται σε διαφορετικές συνθήκες ψυχοσωματικής επιβάρυνσης.

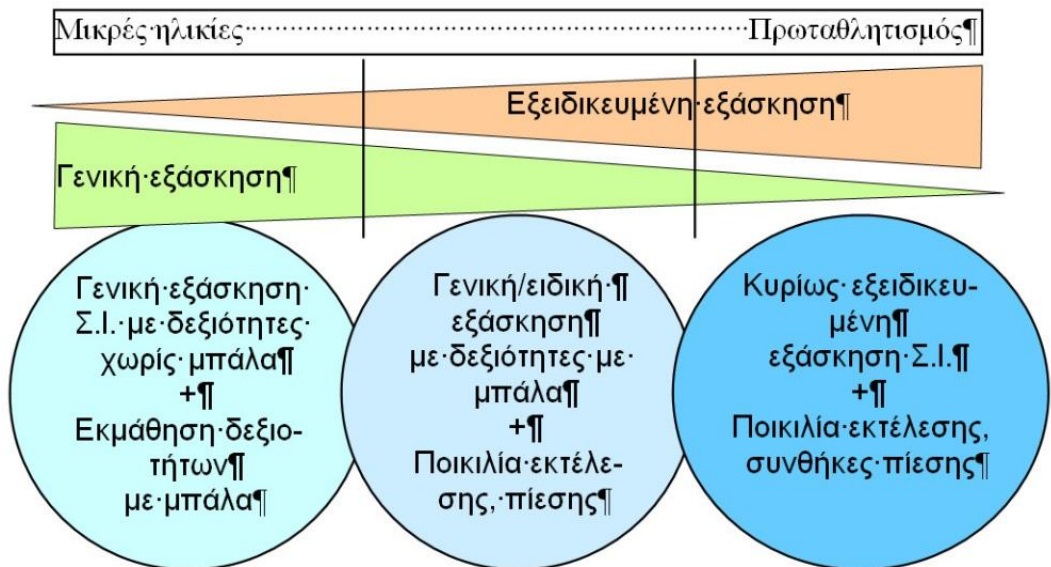
Οι παραπάνω δυνατότητες μεταβολής των συνθηκών εκτέλεσης μπορούν να εφαρμοστούν και σε συνδυασμό μεταξύ τους. Π.χ. αύξηση της ταχύτητας εκτέλεσης της κίνησης με ταυτόχρονη αύξηση της απαίτησης για ακρίβεια στο στόχο. Ένας επιπλέον παράγοντας κατηγοριοποίησης των ασκήσεων για την εξάσκηση των ΣΙ είναι το εάν αυτές εκτελούνται α) με το χέρι, β) το πόδι και γ) με κάποιο όργανο (ρακέτα, μπάστουνι κτλ.).

Γενική και εξειδικευμένη εξάσκηση συναρμοστικών ικανοτήτων

Στην εξάσκηση των συναρμοστικών ικανοτήτων γίνεται διάκριση μεταξύ της γενικής και εξειδικευμένης εξάσκησης των ΣΙ (König, 2016). Ο στόχος της γενικής εξάσκησης είναι η πολύπλευρη εξάσκηση των διαδικασιών καθοδήγησης της κίνησης σε ένα μεγάλο εύρος αθλητικών δραστηριοτήτων και όχι μόνο με δεξιότητες του αθλήματος που σκοπεύουν να ασχοληθούν τα παιδιά.

Το κομμάτι της εξάσκησης των ΣΙ που γίνεται με τη βοήθεια δεξιοτήτων του αθλήματος του ασκούμενου, ονομάζεται εξειδικευμένη εξάσκηση ΣΙ. Η εξειδικευμένη εξάσκηση των ΣΙ αποσκοπεί στη βελτίωση των ΣΙ σε συνθήκες παρόμοιες του αθλήματος του ασκούμενου και χρησιμοποιούνται οι δεξιότητες του αθλήματος σε συνδυασμό με τις συνθήκες πίεσης της εξίσωσης για την προπόνηση των ΣΙ που περιγράφηκαν προηγουμένως (π.χ. μεταβολή ταχύτητας της δεξιότητας, σε βρεγμένα γήπεδα κτλ.) (Neumaier 2014).

Γενικά, όσο πλησιάζει ο ασκούμενος στις ηλικίες του πρωταθλητισμού, τόσο περισσότερο προτείνεται να μειώνεται το ποσοστό της γενικής εξάσκησης των ΣΙ προς όφελος της ειδικής εξάσκησης τους (Hirtz, 2011; Lloyd et al., 2015) (Σχήμα 9). Στον πρωταθλητισμό χρησιμοποιούνται κυρίως δεξιότητες του αθλήματος και εξασκούνται με βάση τους παράγοντες που αναφέρθηκαν για τη δημιουργία ποικιλίας εκτέλεσης της κίνησης (αύξηση της ταχύτητας, ακρίβειας, πολυπλοκότητας κτλ.). Ακόμη όμως και στην περίοδο του πρωταθλητισμού προτείνεται να μην εξαλειφθεί τελείως η γενική εξάσκηση των ΣΙ (König, 2016; Neumaier, 2014).



Σχήμα 9. Πρόταση μακροχρόνιας εξάσκησης συναρμογής.

Ως λόγοι διατήρησης της γενικής εξάσκησης των ΣΙ και στην περίοδο του πρωταθλητισμού αναφέρονται (Neumaier, 2014):

- Η γενική εξάσκηση των ΣΙ συμβάλλει στην ποικιλία της προπόνησης των ασκούμενων και αυξάνει την παρακίνησή τους.
- Η γενική εξάσκηση των ΣΙ συμβάλλει στη διατήρηση της ικανότητας αποτελεσματικής κινητικής απάντησης σε προβληματικές καταστάσεις εντός και εκτός των συνθηκών του αθλήματος. Οι αθλητές υψηλού επιπέδου κινούνται και εκτός των χώρων άθλησης και η γενική εξάσκηση τους καθιστά ικανούς να ανταπεξέλθουν σε αυτούς. Για παράδειγμα ένας κολυμβητής δεν βρίσκεται μόνο σε μια πισίνα ή ένας σκιέρ δεν κινείται μόνο σε χιόνι.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής γενικής εξάσκησης των ΣΙ αποτελεί η πρακτική σφαιροβόλων υψηλού επιπέδου, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν στο πρόγραμμά τους όχι μόνο εξειδικευμένες ασκήσεις ισορροπίας (π.χ. στήριξη στο ένα πόδι, διάφορες μορφές γλιστρήματος κτλ.), αλλά και ένα μικρό ποσοστό από ασκήσεις ισορροπίας που δεν έχουν σχέση με το άθλημα (π.χ. ισορροπία σε ταλαντευόμενη επιφάνεια), (Neumaier, 2014). Επίσης, σε σχέση με το ποσοστό συμμετοχής της γενικής και της εξειδικευμένης εξάσκησης κατά τη διάρκεια του πρωταθλητισμού η Γερμανική ομοσπονδία κολύμβησης προτείνει ένα ποσοστό

5% για τη γενική εξάσκηση των ΣΙ και 10-15% της εξειδικευμένης εξάσκησης στο σύνολο της προπόνησης (Reischle et al., 2016).

Προπονητική επιβάρυνση

Σε σχέση με την αρχή της προοδευτικής επιβάρυνσης προτείνεται (Hirtz, 1985):

- Αύξηση του βαθμού δυσκολίας των ασκήσεων μέσω της ποικιλίας της εκτέλεσης.
- Αύξηση του αριθμού των επαναλήψεων σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Μείωση του διαλλείματος μεταξύ των ασκήσεων ή των επαναλήψεων.

Στις μικρές ηλικίες προτείνεται η εξάσκηση των ΣΙ να γίνεται όταν ο οργανισμός είναι ξεκούραστος (συνήθως αμέσως μετά την προθέρμανση) και με διάρκεια περίπου 6'-12' σε μια προπονητική μονάδα διάρκειας 70'-80' λεπτών (Neumaier, 2014). Η διάρκεια των 6'-12' αιτιολογείται με βάση το σκεπτικό, ότι η εξάσκησή των ΣΙ κουράζει γρήγορα τα παιδιά αφού απαιτείται να είναι απόλυτα συγκεντρωμένα σε αυτό που κάνουν (Zimmer & Cicurs, 1995), αλλά και γιατί συνήθως οι κινήσεις εκτελούνται με μεγάλη ταχύτητα. Γι' αυτό το λόγο, προτείνεται να μεσολαβεί μεταξύ των επαναλήψεων ένα μικρό διάλειμμα.

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας για τη διάρκεια της εξάσκησης των ΣΙ είναι το επίπεδο της φυσικής κατάστασης των αθλουμένων. Όσο καλύτερο το επίπεδο, τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι και η διάρκεια (Neumaier, 2014).

Για τον πρωταθλητισμό διατυπώνεται και η άποψη, ότι θα πρέπει να γίνεται εξάσκηση των ΣΙ και μετά από ψυχοσωματική κούραση, άρα σε αυτή την περίπτωση δεν είναι απαραίτητο να γίνει αμέσως μετά την προθέρμανση (Olivier, 1997). Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να προέχει η προστασία των αθλητών από τυχόν τραυματισμούς λόγω της κούρασης και της εσφαλμένης εκτέλεσης των δεξιοτήτων. Για αυτό το λόγο, προτείνεται η εξάσκηση να διαρκεί τόσο, όσο η αναλογία των ορθών και των λανθασμένων εκτελέσεων των δεξιοτήτων κυμαίνεται στο 1:1. Όταν η κούραση είναι μεγάλη και αυξάνεται το ποσοστό των λανθασμένων εκτελέσεων σε βάρος των ορθών, τότε προτείνεται να διακόπτεται η εξάσκηση για την προστασία των αθλητών (Neumaier, 2014). Στην προπόνηση των ΣΙ η ποιότητα εκτέλεσης της δεξιότητας προηγείται της ποσότητας. Η αύξηση της ποσότητας εντός μιας προπονητικής μονάδας πραγματοποιείται πρώτα με την αύ-

ξηση των επαναλήψεων σε ένα σετ και στη συνέχεια με την αύξηση των σετ (Hirtz, 2015).

Σε σχέση με το πόσες φορές την εβδομάδα θα πρέπει να γίνεται η εξάσκηση των ΣΙ θεωρείται ότι είναι προτιμότερο να γίνεται σε πολλές προπονητικές μονάδες, από το να γίνεται μια φορά την εβδομάδα και σε μεγάλη έκταση (Neumaier, 2014). Επίσης, εντός μιας προπονητικής μονάδας προτείνεται η προπόνηση να έχει στόχο πολλές ΣΙ και όχι μόνο μια (Kosel, 1998).

Η εξάσκηση των ΣΙ προτείνεται να γίνεται όλο το χρόνο (περίοδο προετοιμασίας και στην αγωνιστική περίοδο) (Nieber & Thiel 2010). Στην περίοδο προετοιμασίας προτείνεται κυρίως η γενική εξάσκηση (π.χ. με ασκήσεις σε σχέση με αθλήματα του στίβου.). Ενώ προς το τέλος της προετοιμασίας και στην αγωνιστική περίοδο η γενική εξάσκηση υποχωρεί προς όφελος της εξειδικευμένης. Στην αγωνιστική περίοδο προτείνεται μείωση της διάρκειας προπόνησης ΣΙ προς όφελος άλλων ειδών προπόνησης (τακτική, κτλ.) και περιλαμβάνει κυρίως εξειδικευμένη προπόνηση ΣΙ. Η συχνότητα είναι 3-4 προπονητικές μονάδες στους ενήλικες, ενώ στις ηλικίες κάτω των 16 ετών είναι μέχρι 2 φορές την εβδομάδα. Η προπόνηση των ΣΙ προτείνεται να πραγματοποιείται στις πρώτες προπονητικές μονάδες της εβδομάδας (Glasauer, 2003)

Κριτική θεώρηση

Αν και τα μοντέλα της γενικής εξάσκησης των ΣΙ είναι διαδεδομένα και εφαρμόζονται στο σύνολο των κρατών της κεντρικής Ευρώπης και ιδιαίτερα στις γερμανόφωνες χώρες (σχολικό και εξωσχολικό αθλητισμό), δέχονται κριτική, όπως όλα τα μοντέλα που εμπεριέχουν την έννοια της «γενικής ικανότητας» (Golle, Mechling & Granacher, 2019; Issurin 2017).

Η κριτική εστιάζεται στην αμφισβήτηση της ύπαρξης μιας ικανότητας (πχ. ισορροπία), η οποία καθορίζει την επίδοση σε όμοιες δεξιότητες (πχ. ασκήσεις ισορροπίας) και τίθεται υπό αμφισβήτηση η γενική εξάσκηση των ΣΙ. Για παράδειγμα σε σχέση με την ισορροπία, έρευνες αναφέρουν ότι δεν εμφανίστηκαν βελτιώσεις σε τεστ ισορροπίας που δεν συμπεριλαμβάνονταν στην προπόνηση (Donath et al. 2017). Με βάση αυτά τα δεδομένα δύσκολα στηρίζεται η άποψη μιας γενικής ικανότητας ισορροπίας που συμβάλλει γενικά στη βελτίωση της ισορροπίας σε όλες τις ασκήσεις. Οπότε τίθεται το ερώτημα της χρησιμότητας της γενικής εξάσκησης.

Από την άλλη πλευρά, πολλές έρευνες υποστηρίζουν ότι η γενική εξάσκηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στο σχολικό αθλητισμό και στις μικρές ηλικίες που προετοιμάζονται για πρωταθλητισμό (Hirtz 2011). Σε έρευνες στο σχολείο και σε μικρές ηλικίες αθλητών αναφέρεται ότι η γενική εξάσκηση έχει θετικές επιπτώσεις στις κινητικές επιδόσεις (δεξιότητες) του αθλήματός τους (König 2016; Hirtz 2011).

Στις μικρές ηλικίες η έλλειψη εξάσκησης γενικών ΣΙ ίσως να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των παιδιών. Οι Meinel και Schnabel (1998), υποστηρίζουν ότι είναι απαραίτητη η γενική εξάσκηση κατά την παιδική ηλικία για την πολύπλευρη και καλύτερη ανάπτυξη των διαδικασιών καθοδήγησης της κίνησης. Η αποκλειστική εξάσκηση των ΣΙ των παιδιών μόνο με δεξιότητες του αθλήματός τους, εμπεριέχει τον κίνδυνο της μονόπλευρης και περιορισμένης ανάπτυξης αυτών των διαδικασιών (Silk & Wood, 2011). Στο γερμανόφωνο χώρο η γενική εξάσκηση αποτελεί βασικό περιεχόμενο των προγραμμάτων της σχολικής φυσικής αγωγής και των αθλητικών συλλόγων (DOSB, 2013). Ένας επιπλέον παράγοντας που συνηγορεί στην πραγματοποίηση της γενικής εξάσκησης των ΣΙ στις μικρές ηλικίες και στην περίοδο του πρωταθλητισμού είναι η ποικιλία που προσφέρουν αυτές οι ασκήσεις με συνέπεια την αύξηση της παρακίνησης των αθλητών για προπόνηση.

Σύνοψη

Essentially, all models are wrong, but some are useful (Georg E. P. Box)

Πρακτικές συμβουλές

- Η ευαίσθητη περίοδος ανάπτυξης των συναρμοστικών ικανοτήτων (ΣΙ) θεωρείται ότι είναι οι ηλικίες 7-10 ετών.
- Στις μικρές ηλικίες προτείνεται η γενική εξάσκηση των ΣΙ. Όσο πλησιάζουμε στις ηλικίες του πρωταθλητισμού, προτείνεται να μειώνεται σταδιακά η γενική εξάσκηση προς όφελος της εξειδικευμένης.
- Στις μικρές ηλικίες προτείνεται η εξάσκηση να γίνεται όταν ο οργανισμός είναι ξεκούραστος και με διάρκεια περίπου 6'-12'

σε μια προπονητική μονάδα.

- Σε μια προπονητική μονάδα προτείνεται να εξασκούνται πολλές ΣΙ και όχι μόνο μια.
- Η προπόνηση της συναρμογής προτείνεται να γίνεται με δεξιότητες που κατέχουν οι ασκούμενοι μεταβάλλοντας τις συνθήκες πίεσης.

Βιβλιογραφία

- American College of Sports Medicine. (2017). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Chatzihidioglou, P., Chatzopoulos, D., Lykesas, G. & Doganis, G. (2018). Dancing Effects on Preschoolers' Sensorimotor Synchronization, Balance and Movement Reaction Time. *Perceptual and Motor Skills*, 125 (3), 463-477.
- Chatzopoulos, D, Derri, V. & Zachopoulou, E. (2001). Das Orff-Schulwerk in griechischen Kindergärten. *Motorik*, 4, 152-157.
- Chatzopoulos, D. (2002). Schulung der Orientierungsfähigkeit in der Grundschule. *Betrifft Sport*, 25(2), 16-21.
- Chatzopoulos, D. Georgiou, M. & Kofterou A. (2002). Gleichgewichtsschulung in der Grundschule. *Sportpraxis*, 43(6), 10-12.
- Chatzopoulos, D. Doganis, G. & Kollias, I. (2018). Effects of creative Dance on Proprioception, Rhythm and Balance of preschool Children. *Early Child Development and Care*. 189(12), 1943-1953, DOI: 10.1080/03004430.2017.1423484.
- Donath, L., Roth, R., Zahner, L., & Faude, O. (2017). Slackline training (Balancing Over Narrow Nylon Ribbons) and balance performance: a meta-analytical review. *Sports Medicine*, 47(6), 1075-1086.
- DOSB, D. O. S. B. (2013). DOSB 1 Nachwuchsleistungssportkonzept 2020 – Unser Ziel: Dein Start für Deutschland. Frankfurt a. M.: DOSB
- Gebel, Arnd; Lesinski, Melanie; Behm, David G.; Granacher, Urs (2018): Effects and Dose-Response Relationship of Balance Training on Balance Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 48 (9), pp. 2067–2089.

- Glasauer, G. (2003). Koordinationstraining im Basketball. Von Ressourcen über Anforderungen zu Kompetenzen. Hamburg: Kovac.
- Golle, K., Mechling, H. & Granacher, U. (2019). Koordinative Fähigkeiten und Koordinationstraining im Sport. Güllich, M. Krüger (Hrsg.), *Bewegung, Training, Leistung und Gesundheit*. Springer-Verlag.
- Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: a critical review of methods. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 80-90.
- Haibach, P. S., Reid, G., & Collier, D. H. (2017). Motor learning and development [Perspectives in motor behavior] (2. Aufl., S. 3–28). Champaign: Human Kinetics
- Hirtz, P. (1985). Koordinative Fähigkeiten im Schulsport. Berlin: Volk und Wissen.
- Hirtz, P. (1994). Motorische Handlungskompetenz als Funktion motorischer Fähigkeiten. In P. Hirtz, G. Kirchner, R. Poehlmann (Hrsg.), *Sportmotorik, Psychomotorik in Forschung und Praxis*, Band 22, 117-147. GH Kassel.
- Hirtz, P. (1995). Die Komponente Koordination. *Koerpererziehung*, 45(3), 102-106.
- Hirtz, P. (2015). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik* (12., überarb. Aufl., S. 212–242). Aachen: Meyer & Meyer.
- Issurin, V. B. (2017). Evidence-based prerequisites and precursors of athletic talent: a review. *Sports Medicine*, 47(10), 1993-2010.
- Καμπάς, Α. & Χατζόπουλος, Δ. (2003). Εξέλιξη των επιδόσεων των συναρμοστικών ικανοτήτων. Στο Α. Καμπάς, *Συναρμοστικές Ικανότητες: ανάπτυξη και προπόνηση*, 45-60. Θεσ/νικη: University Studio Press.
- Kiphard, E. J., & Schilling, F. (2007). Körperkoordinationstest für Kinder: KTK. Beltz-Test.
- König, S. (2016). Koordinationstraining im Schulsport. In G. Thienes & M. Baschta (Hrsg.), *Training im Schulsport* (S. 135–154). Schorndorf: Hofmann.
- Kosel, A. (1998). Schulung der Bewegungskoordination. Schorndorf: Hofmann.
- Kröger, C. & Roth, K. (1999). Ballschule. Ein ABC fuer Spielanfänger. Schorndorf: Hofmann.

- Ljach, W. (1997). Bernstein und die Forschungen zur Bewegungskoordination in Russland. In P. Hirtz, F. Nueske (Hrsg.). *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet*, 33-41. Hamburg.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Howard, R., De Ste Croix, M. B., Williams, C. A., Myer, G. D. et al. (2015). Long-term athletic development- part 1: A pathway for all youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1439–1450.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1995). *Handbuch Trainingslehre*. Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Κ. Ταξιλάρης, Εγχειρίδιο Προπονητικής. Κομοτηνή: ΑΛΦΑΒΗΤΟ.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (Hrsg.) (1998). *Bewegungslehre – Sportmotorik*. Berlin: Sportverlag.
- Mechling, H. (1999). Fähigkeit – Fertigkeit: Generalitaet versus Spezifitaet im Techniktraining. In J. Wiemeyer, *Techniktraining im Sport*, 31-46. Darmstadt: IFS/TUD.
- Neumaier, A. (2014). *Koordinatives Anforderungsprofil und Koordinationstraining* (4., korr. Aufl.). Köln: Sportverlag Strauß.
- Neumaier, A. & Mechling, H. (1995). Allgemeines oder sportartspezifisches Koordinationstraining? *Leistungssport*, 25(5), 14-18.
- Nieber, L., & Thiel, A. (2010). Koordinatives Ergänzungstraining im Nachwuchsvolleyball. *Leistungssport*, 40(1), 24–29.
- Olivier, N. (1997). Soll das motorische Gleichgewicht faehigkeits- oder fertigkeitsspezifisch trainiert werden? In P. Hirtz & F. Nueske, *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet*, 187-191. Dvs- Band 87. Hamburg: Czwalina.
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., & Paul, J. P. (2000). What is balance?. *Clinical rehabilitation*, 14(4), 402-406.
- Reischle, K., Buchner, M., Rudolph, K. & Roder, C. (2016). *SwimStars: Schwimmen lernen und Techniktraining optimieren*. Das dvs-Schwimmhandbuch (3., überarb. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of athletic training*, 37(1), 80.

- Rosker, J., & Sarabon, N. (2010). Kinaesthesia and methods for its assessment: literature review. *Sport Science Review*, 19(5-6), 165.
- Rostock, J. & Zimmermann, K. (1997). Koordinationstraining zwischen Generalität und Spezifität. *Leistungssport*, 27(4), 28-30.
- Roth, K. (1998). Wie verbessert man die Koordinativen Fähigkeiten? In Bielefelder Sportpädagogik, Methoden im Sportunterricht, 85-102. Schorndorf: Hofmann.
- Roth, K. (2014). Begriffe und theoretische Grundlagen der Koordinationsschulung. In C. Kröger, K. Roth & H. Haag (Hrsg.), *Koordinationsschulung im Kindes und Jugendalter. Eine Übungssammlung für Sportlehrer und Trainer* (S. 5–34). Hofmann: Schorndorf.
- Schmidt, R. (1975). A schema theory of discrete motor skill-learning. *Psychological Review*, 82(4), 225-260.
- Silk, T. J., & Wood, A. G. (2011). Lessons about neurodevelopment from anatomical magnetic resonance imaging. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 32(2), 158–168.
- Χατζόπουλος, Δ. (2012). Διδακτική Φυσικής Αγωγής. Θεσ/νικη: ΠΑΜΑΚ.
- Χατζόπουλος, Δ., Κοφτερού, Α., Γεωργίου, Μ. (2003). Παιχνίδια για την εξάσκηση της ισορροπίας στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. *Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό*, 1(2), 176-183.
- Zimmer, R. & Cicurs, H. (1995). *Psychomotorik*. Schorndorf: Hofmann.

Άσκηση και υγεία

Άσκηση στην προσχολική ηλικία

Αντώνης Καμπάς, Φωτεινή Βενετσάνου

Περίληψη

Η προσχολική ηλικία είναι ίσως η σημαντικότερη περίοδος στη ζωή του ανθρώπου, καθώς, αφενός τα χαρακτηριστικά των παιδιών αυτής της ηλικίας διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τα αντίστοιχα άλλων ηλικιών, αφετέρου σε αυτή την περίοδο μπαίνουν οι βάσεις σε όλους τους τομείς της προσωπικότητας: κινητικό, γνωστικό, συναισθηματικό, κοινωνικό. Η έλλειψη φυσικής δραστηριότητας σε αυτή την ηλικιακή περίοδο είναι καθοριστική, καθώς η κίνηση εξασφαλίζει οφέλη σε όλους τους παραπάνω τομείς και προδιαγράφει καλή υγεία για το μέλλον. Κατά συνέπεια, είναι σημαντικό να δίνεται επαρκής χρόνος ελεύθερης φυσικής δραστηριοποίησης και να επιδιώκεται οργανωμένη δραστηριότητα/άσκηση, σύμφωνα με τις οδηγίες για την ηλικία αυτή. Ωστόσο, οι προπονητές αυτών των ηλικιών πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί, δίνοντας βάση κυρίως σε ένα σημαντικό στόχο: να αγαπήσουν τα παιδιά την κίνηση για να την υιοθετήσουν σε όλη τη μετέπειτα ζωή τους. Επιπλέον, οι αναπτυξιακά κατάλληλοι στόχοι και τα αντίστοιχα προπονητικά περιεχόμενα καθώς και η επιδίωξη της δημιουργίας κινητικά εγγράμματων ατόμων είναι “εκ των ων ουκ άνευ” σε αυτή τη φάση της ζωής.

Εισαγωγή

Αν επιχειρήσουμε μια ιστορική αναδρομή στα δεδομένα της παιδικής ηλικίας θα διαπιστώσουμε ότι τα παιδιά σήμερα δεν γνωρίζουν το περιβάλλον τους γιατί δεν τους δίνεται η δυνατότητα να το εξερευνήσουν με το σώμα και τις αισθήσεις τους και «βιώνουν» τον κόσμο από δεύτερο χέρι. Διαθέτουν πληθώρα παιχνιδιών και εξωσχολικών επιλογών, είναι όμως ταυτόχρονα τα φτωχότερα παιδιά σε «εμπειρίες ζωής». Η τσιμεντοποίηση εξαφάνισε τους φυσικούς παιδότοπους και τις αλάνες και η αλλαγή του τρόπου ζωής περιόρισε δραματικά το ελεύθερο παιχνίδι σε εξωτερικούς χώρους. Η παρακάτω περιγραφή είναι διαφωτιστική: τα παιδιά α)

βρίσκουν ολοένα και λιγότερους χώρους στους οποίους μπορούν να εκτονωθούν κινητικά, παίζοντας αυθόρμητα και με ασφάλεια, β) συμμετέχουν σε οργανωμένες και επιλεγμένες από τους γονείς τους δραστηριότητες, ενώ ποτέ σχεδόν δεν έχουν την επιλογή να αποφασίσουν τα ίδια για τις δραστηριότητες αυτές, γ) δραστηριοποιούνται πολύ περισσότερο στατικά και παθητικά σε καθιστική θέση με πολυμέσα και έτσι βιώνουν τα πάντα από δεύτερο χέρι, δ) έχουν ολοένα και λιγότερους φίλους στο παιχνίδι, ε) παίζουν όλο και συχνότερα μόνα τους και στ) οι γονείς, λόγω της ανασφάλειας που νοιώθουν και, προφανώς, λόγω υπαρκτών κινδύνων που ελλοχεύουν στη σημερινή κοινωνία, είναι υπερπροστατευτικοί περιορίζοντας την ανάγκη των παιδιών τους για αυθόρμητη κίνηση (Καμπάς, 2019).

Εστιάζοντας στα παιδιά προσχολικής ηλικίας, διαπιστώνει κανείς πως θεωρούνται ευρέως ως η περισσότερο κινητικά δραστήρια ομάδα του πληθυσμού, ωστόσο, τα ερευνητικά ευρήματα δείχνουν πως αυτή η αίσθηση απέχει πολύ από την αλήθεια. Πλήθος ερευνών, στις οποίες η φυσική δραστηριότητα (ΦΔ) έχει καταγραφεί με αντικειμενικά όργανα αξιολόγησης, καταδεικνύουν πως τα παιδιά προσχολικής ηλικίας είναι κινητικά αδρανή (Beets, Bornstein, Dowda & Pate, 2011; Dolinsky, Brouwer, Evenson, Siega-Riz & Ostbye, 2011; Hallal et al., 2012; Hinkley, Crawford, Salmon, Okely, & Hesketh, 2008; Oliver, Schofield & Kolt, 2007). Μια από τις κυριότερες αιτίες για αυτό το φαινόμενο είναι η ευρεία διαθεσιμότητα ηλεκτρονικών συσκευών που δίνει την «ευκαιρία» στα σημερινά νήπια να δαπανούν πολλές ώρες μπροστά στην οθόνη της τηλεόρασης, του ηλεκτρονικού υπολογιστή ή του κινητού τηλεφώνου (Berglund & Tynelius, 2018; Hinkley, Brown, Carson, & Teychenne, 2018; Hinkley, Salmon, Okely, & Trost, 2010; Kourlaba, Kondaki, Liarigkovinos, & Manios, 2009; Owen, Healy, Matthews, & Dunstan, 2010; Webster, Martin, & Staiano, 2019). Μάλιστα, παρότι υποστηρίζεται πως τα μικρά παιδιά δεν πρέπει να χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά μέσα πάνω από μία ώρα/ημέρα (Canadian Paediatric Society, 2017; Tremblay et al., 2012), ορισμένοι ερευνητές αναφέρουν τιμές που αγγίζουν τις τέσσερις (Tandon, Zhou, Lozano, & Christakis, 2011) ακόμα και τις πέντε ώρες ημερησίως (Webster et al., 2019)!

Η εικόνα στη χώρα μας δεν θα μπορούσε να είναι διαφορετική: Τα Ελληνόπουλα προσχολικής ηλικίας παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα ΦΔ (Aivazidis, Venetsanou, Aggelousis, Gourgoulis, & Kambas, 2019; De Craemer, Lateva, Iotova, De Decker, Verloigne, De Bourdeaudhuij, & Koletzko, 2015;

Kambas, Venetsanou, Avloniti, Giannakidou, Gourgoulis, Draganidis, Chatzinikolaou, Fatouros, & Michalopoulou, 2015; Venetsanou, Emmanouilidou, Kouli, Bebetos, Comoutos, & Kambas, 2020; Voukia, Voutsina, Venetsanou, & Kambas, 2018) και υψηλά επίπεδα χρήσης ηλεκτρονικών μέσων (Kourlaba, Kondaki, Liarigkovinos, & Manios 2009; Venetsanou, Kambas, Gourgoulis, Yannakoulia, 2019; Venetsanou, Emmanouilidou, Kouli, Bebetos, Comoutos, & Kambas, 2020). Μάλιστα, σε μια πολύ πρόσφατη έρευνα (Venetsanou, Emmanouilidou, Kouli, Bebetos, Comoutos, & Kambas, 2020) στην οποία μελετήθηκε η ΦΔ και η έκθεση σε οθόνες παιδιών προσχολικής ηλικίας στην Ελλάδα από το 2009 έως το 2018, διαπιστώθηκε αφενός η ισχυρή σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών, αφετέρου πως μόνο ένα πολύ χαμηλό ποσοστό (< 5%) ήταν κινητικά δραστήρια και περιόριζαν τη χρήση ηλεκτρονικών μέσων σε μία 1 ώρα/ημέρα. Αντίθετα, ο μέσος όρος έκθεσης των παιδιών σε οθόνη, στη διάρκεια αυτών των χρόνων, ξεπερνούσε τις δύο ώρες ημερησίως. Όπως είναι αναμενόμενο, οι παραπάνω συμπεριφορές οδηγούν σε αυξημένα επίπεδα παχυσαρκίας. Πράγματι, 3-4 στα 10 Ελληνόπουλα έχουν περίσσιο βάρος (Afthentopoulou, Kaioglou, & Venetsanou, 2017; Aivazidis, Venetsanou, Aggelousis, Gourgoulis, & Kambas, 2019, Hassapidou, Daskalou, Tsofliou, Tziomalos, Paschaleri, Pagkalos, & Tzotzas, 2015; Kambas, Venetsanou, Avloniti, Giannakidou, Gourgoulis, Draganidis, Chatzinikolaou, Fatouros, & Michalopoulou, 2015; Venetsanou, Kambas, Gourgoulis, Yannakoulia, 2019), γεγονός που θέτει την υγεία τους σε κίνδυνο, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, καθώς και την πολύπλευρα θετική επίδραση της ΦΔ για την υγεία (World Health Organization, 2018), φαίνεται ξεκάθαρα η ανάγκη της άμεσης αντιμετώπισης των ανθυγιεινών συνηθειών των παιδιών προσχολικής ηλικίας στη χώρα μας και της δημιουργίας ευκαιριών ενίσχυσης της ΦΔ τους. Ο αθλητισμός αποτελεί ένα πλαίσιο που μπορεί να προσφέρει τέτοιες ευκαιρίες και είναι ευχής έργο ότι, τα τελευταία χρόνια, ο ένας μετά τον άλλο οι αθλητικοί φορείς οργανώνουν τμήματα που απευθύνονται σε όλο και μικρότερα παιδιά, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως δίαυλοι ΦΔ.

Δυστυχώς, όμως, οι καλές προθέσεις δεν αρκούν για να διασφαλιστούν τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει ο αθλητισμός σε ένα παιδί. Για να δημιουργηθούν οι βάσεις για μακρόχρονη συμμετοχή είτε στον αθλητισμό είτε στη δια βίου άσκηση, θα πρέπει οι στόχοι, το περιεχόμενο και οι πρακτικές που ακολουθούνται

σε κάθε αθλητικό πρόγραμμα να ανταποκρίνονται στο αναπτυξιακό επίπεδο των συμμετεχόντων (American Academy of Pediatrics, 2001; Purcell, Canadian Paediatric Society, & Paediatric Sports and Exercise Medicine Section, 2005; Visek, Achrati, Mannix, McDonnell, Harris, & DiPietro, 2015). Η συμμετοχή ενός παιδιού σε κάποιο άθλημα με υψηλότερες απαιτήσεις από το αναπτυξιακό του επίπεδο μπορεί να το οδηγήσει σε απογοήτευση και εγκατάλειψη όχι μόνο του αθλητισμού, αλλά και της ΦΔ γενικότερα (American Academy of Pediatrics, 2001; Purcell, Canadian Paediatric Society, & Paediatric Sports and Exercise Medicine Section, 2005). Μάλιστα, όσο μικρότερη είναι η ηλικία του συμμετέχοντα τόσο σχολαστικότερη πρέπει να είναι η αξιολόγηση των οφελών και των κινδύνων που ενέχει η συμμετοχή στον αθλητισμό (American Academy of Pediatrics, 2001). Ιδιαίτερα όταν πρόκειται για την προσχολική ηλικία, η οποία αποτελεί μια κρίσιμη περίοδο στην οποία τίθενται οι βάσεις τόσο για την υιοθέτηση υγιεινών συμπεριφορών (όπως η ΦΔ), αλλά και για την ανάπτυξη του ανθρώπου σε κινητικό, γνωστικό και συναισθηματικό/κοινωνικό επίπεδο, η ευθύνη της επιλογής των εμπειριών που βιώνουν τα παιδιά είναι ακόμα μεγαλύτερη.

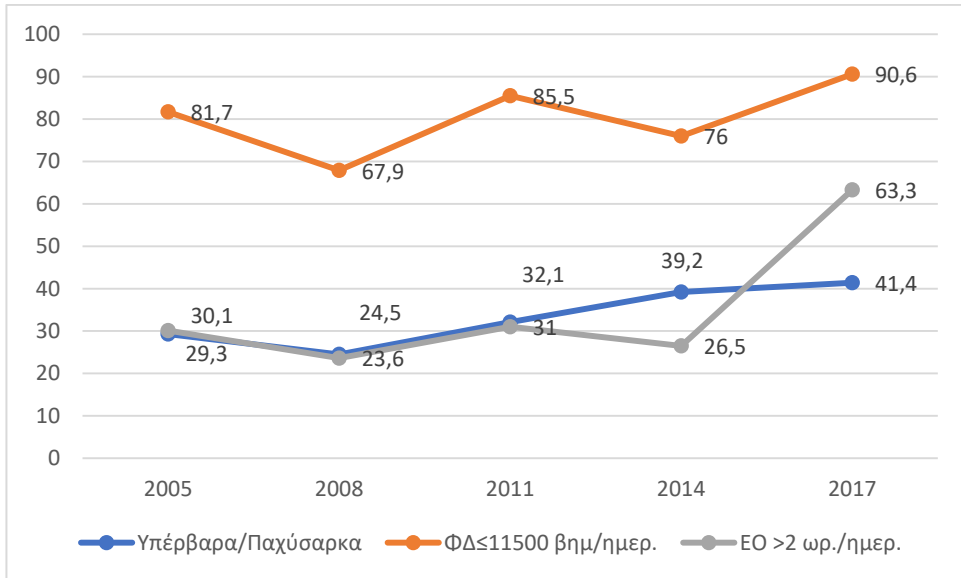
Σε αυτό το κεφάλαιο:

- ✓ Θα παρουσιαστούν τα ερευνητικά ευρήματα σχετικά με τα οφέλη της ΦΔ για την υγεία και την ανάπτυξη των παιδιών προσχολικής ηλικίας, ώστε να τεκμηριωθεί η σημαντικότητα της ενίσχυσής της και της διαμόρφωσης θεμελίων για τη δια βίου άσκηση.
- ✓ Θα σκιαγραφηθούν οι ιδιαιτερότητες της προσχολικής ηλικίας, οι οποίες ορίζουν αφενός την αθλητική ετοιμότητα των παιδιών, αφετέρου το πλαίσιο των στόχων και του περιεχομένου της άσκησης γι' αυτή την ηλικία.
- ✓ Θα δοθούν οι βασικές αρχές των προγραμμάτων άσκησης στην προσχολική ηλικία, ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι και να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη από τη συμμετοχή των παιδιών στον αθλητισμό.
- ✓ Θα χρησιμοποιείται κατά προτεραιότητα ο όρος-ομπρέλα «φυσική δραστηριότητα» και ο όρος «άσκηση» με αναφορά στον οργανωμένο αθλητισμό, ως ισοδύναμος με την οργανωμένη ΦΔ (Logan & Cuff, 2019). Ο όρος «προπόνηση», δεν προτιμάται, διότι θεωρούμε ότι η προπόνηση με τη στενή έννοια, δεν είναι συμβατή ούτε με τις βιολογικές ανάγκες και «προδιαγραφές» της προσχολικής ηλικίας, ούτε με τις ψυχοκοινωνικές προϋποθέσεις της.

Φυσική Δραστηριότητα, υγεία και ανάπτυξη

Φυσική Δραστηριότητα και παχυσαρκία

Η προσχολική ηλικία θεωρείται κομβική περίοδος για τη μελέτη των παραγόντων που καθορίζουν την παιδική παχυσαρκία (Dietz, 1997), αφενός λόγω της διαμόρφωσης συνηθειών διατροφής και ΦΔ (Birch & Fisher, 1998), αφετέρου λόγω του ότι αποτελεί περίοδο που προηγείται της επονομαζόμενης «ανάκαμψης της παχυσαρκίας» (adiposity rebound) (σημείο αλλαγής της καμπύλης του ΔΜΣ, από το ναδίρ σε πορεία ανόδου) (Dietz, 1997; Whitaker, Pepe, Wright, Seidel, & Dietz, 1998). Η παχυσαρκία στα Ελληνόπουλα προσχολικής ηλικίας στην Ελλάδα από το 2005 μέχρι το 2017 βρίσκεται σταθερά σε υψηλά επίπεδα και αγγίζει το 41.4%, ενώ παράλληλα, τα παιδιά αυτής της ηλικιακής κατηγορίας δεν συντάσσονται με τις διεθνείς οδηγίες ΦΔ για αυτή την ηλικία σε ποσοστό >70% (Venetsanou, Kambas,ourgoulis, & Yannakoulia, 2019) (Διάγραμμα 1). Τα ευρήματα των ερευνών που αφορούν την επίδραση της ΦΔ σε δείκτες σωματικού λίπους στα παιδιά προσχολικής ηλικίας είναι αντιφατικά. Στην πρώτη μελέτη που πραγματοποιήθηκε με δείγμα παιδιά προσχολικής ηλικίας, βρέθηκε ότι τα υπέρβαρα παιδιά συμμετέχουν σημαντικά λιγότερο σε ΦΔ από τα παιδιά με κανονικό ΔΜΣ κατά τη διάρκεια της παραμονής τους σε δομές προσχολικής αγωγής (Frost, Sirard, Dowda, Pfeiffer, & Pate, 2003). Αρκετές μελέτες υποστηρίζουν ότι με την άσκηση μειώνεται ο ΔΜΣ (Fitzgibbon, Stolley, Schiffer, Van Horn, Kaufer-Christoffel, & Dyer, 2005; Mead, Brown, Rees, Azevedo, Whittaker, Jones, & Beardsmore, 2017), ωστόσο, σε λίγες μελέτες γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά και το είδος της άσκησης που έχουν ευεργετικά αποτελέσματα. Η υψηλής έντασης ΦΔ (ΥΕΦΔ) φαίνεται να είναι αποτελεσματική για τη διαχείριση της παχυσαρκίας ήδη από την προσχολική ηλικία (Ara Vicente-Rodriguez, Moreno, Gutin, & Casajus, 2009; Vale, Santos, Soares-Miranda, Moreira, Ruiz, & Mota, 2010), ωστόσο τα χαμηλά επίπεδα ΥΕΦΔ σχετίζονται με την παχυσαρκία κατά την περίοδο ανάκαμψης της (Janz, Levy, Burns, Torner, Willing, & Warren, 2002). Επιπλέον, φαίνεται ότι η τακτική άσκηση σε υψηλές εντάσεις εξασφαλίζει σημαντική μείωση του ποσοστού σωματικού λίπους (Barbeau, Johnson, Howe, Allison, Davis, Gutin, & Lemmon, 2007; Gutin, Yin, Johnson, & Barbeau, 2008).



Διάγραμμα 1. Ποσοστά % παιδιών προσχολικής ηλικίας στην Ελλάδα από το 2005 έως το 2017 (1) υπέρβαρα/παχύσαρκα (2) ΦΔ κάτω των 11500 βημάτων την ημέρα, δηλαδή την πλέον αναθεωρημένη τιμή για τα παιδιά αυτής της ηλικίας και (3) έκθεση σε οθόνες που υπερβαίνει τις 2 ώρες ημερησίως (πηγή: Venetsanou, Kambas, Gourgoulis, & Yannakouli, 2019, με άδεια των συγγραφέων και μετάφραση με ευθύνη των συγγραφέων του κεφαλαίου).

Φυσική Δραστηριότητα και οστική υγεία

Η επίδραση της ΦΔ στην οστική υγεία έχει μελετηθεί λιγότερο, κυρίως γιατί οι μέθοδοι αξιολόγησης της οστικής υγείας εμπεριέχουν ζητήματα ηθικής και δεοντολογίας για την προσχολική ηλικία. Ωστόσο, τα ευρήματα είναι σημαντικά και συγκλίνουν σε ένα συμπέρασμα: κατά την αναπτυξιακή ηλικία, συμπεριλαμβανόμενης και της προσχολικής περιόδου, η τακτική άσκηση που ασκεί συμπιεστικές δυνάμεις στα οστά έχει ευεργετικά αποτελέσματα στην οστική επιμετάλλωση και την οστική πυκνότητα. Ήδη στη βρεφική ηλικία καταγράφεται σημαντική ενδυνάμωση των οστών των κάτω άκρων όταν τα βρέφη κατακτήσουν τη δεξιότητα της ανεξάρτητης βόδισης (Ireland, Rittweger, Schonau, Lamberg-Allardt, & Viljakainen, 2014; Ireland, Sayers, Deere, Emond, & Tobias, 2016), όταν δηλαδή τα οστά δέχονται τις πρώτες κάθετες επιβαρύνσεις από το βάρος του σώματος, ενώ

αντίστοιχες παρατηρήσεις έγιναν σε μελέτες με δείγμα νεαρά πειραματόζωα (Warden, Fuchs, Castillo, Nelson, & Turner, 2007; Warden, Galley, Hurd, Wallace, Gallant, Richard, & George, 2013). Η εργασία των Daly & Petit (2007) είναι διαφωτιστική: “τα παιδιά που συμμετέχουν σε αθλητικές δραστηριότητες υψηλής έντασης εμφανίζουν βελτίωση στις διαδικασίες οστικής δόμησης στις περιοστικές και ενδοοστικές επιφάνειες των μακρών οστών στα σημεία επιβάρυνσης των οστών. Ωστόσο, και η μέτριας έντασης ΦΔ αναψυχής αλλά και η σχολική φυσική αγωγή που στον πυρήνα του σχεδιασμού τους έχουν την οστική επιβάρυνση, έχει αποδειχτεί ότι βελτιώνουν την οστική επιμετάλλωση. Μάλιστα, επισημαίνεται γενικότερα, ότι τα άτομα που έχουν υψηλότερη συχνότητα συμμετοχής σε άσκηση και εμφανίζουν αυξημένη καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκειά της (ένταση), εμφανίζουν τη μεγαλύτερη βελτίωση στην οστική πυκνότητα (Barbeau, Johnson, Howe, Allison, Davis, Gutin, & Lemmon, 2007; Gutin, Yin, Johnson, & Barbeau, 2008). Επιπλέον, ο συνδυασμός άσκησης και διατροφής έχει επίσης σημαντικές επιδράσεις στην οστική πυκνότητα και την οστική επιμετάλλωση (Janz, Burns, Torner, Levy, Paulos, Willing, & Waren, 2001; Binkley & Specker, 2004; Specker & Binkley, 2003). Τέλος, η άσκηση με περιεχόμενα αδρής κίνησης (συμμετοχή μεγάλων μυϊκών ομάδων), προκρίνεται από την αντίστοιχη λεπτής (συμμετοχή μικρών μυϊκών ομάδων), καθώς η πρώτη, σε συνδυασμό με τη λήψη συμπληρώματος ασβεστίου, έχει ως αποτέλεσμα καλύτερους οστικούς δείκτες, αν και επισημαίνεται ότι οι προσαρμογές δεν παραμένουν 12 μήνες μετά στην πειραματική ομάδα που λάμβανε το συμπλήρωμα (Binkley & Specker, 2004).

Φυσική Δραστηριότητα και καρδιαγγειακή λειτουργία

Ήδη το 1990, ο Alpert και οι συνεργάτες του υποστήριζαν ότι 8 εβδομάδες αερόβιας άσκησης σε παιδιά προσχολικής ηλικίας είναι αρκετές για να επιφέρουν βελτίωση της αερόβιας ικανότητας (Alpert, Field, Goldstein, & Perry, 1990). Η σημαντικότητα των ευρημάτων για την αερόβια ικανότητα γενικά είναι σαφής: αποτελεί δείκτη πρόβλεψης της θνησιμότητας από καρδιαγγειακές νόσους (Blair, Kohl, Paffenbarger, Clark, Cooper, & Gibbons, 1989; Blair, Kampert, Kohl, Barlow, Macera, Paffenbarger, & Gibbons, 1996) και το επίπεδό της στην παιδική ηλικία προβλέπει τον καρδιαγγειακό κίνδυνο στην ενήλικη ζωή (Twisk, Kemper, & van Mechelen, 2002). Ωστόσο, η αντίληψη ότι τα μικρά παιδιά έχουν ούτως ή άλλως καλή καρδιαγγειακή λειτουργία διότι, όπως προαναφέρθηκε “είναι τα πλέ-

ον φυσικά δραστήρια άτομα”, δεν ισχύει. Το 2012, η ομάδα του καθηγητή Καφάτου μελετά στην Κρήτη αθροισματικούς δείκτες σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και τα ευρήματα είναι ιδιαίτερα ανησυχητικά. Το 27.4% των αγοριών κατηγοριοποιούνται ως υπέρβαρα και το 10.8% ως παχύσαρκα, με τα αντίστοιχα ποσοστά για κορίτσια να είναι 28.5% και 9%, αντίστοιχα. Το 7.4% των αγοριών και το 7.9% των κοριτσιών έχουν αρτηριακή πίεση πάνω από την 95^η εκατοστιαία θέση. Το 14.4% των παιδιών εμφανίζουν χοληστερόλη >200 mg/dl, ενώ το 13.8% εμφανίζουν την LDL-C > 130 mg/dl. Επιπλέον, τα παιδιά με τριγλυκερίδια > 100 mg/dl έχουν υψηλότερη περιφέρεια μέσης και BMI από αυτά με τριγλυκερίδια ≤ 80 mg/dl και ομοίως τα παιδιά με HDL-C < 45 mg/dl εμφανίζουν υψηλότερη περιφέρεια μέσης και BMI από αυτά με HDL-C ≥ 60 mg/dl (Hatzis, Papandreou, Verdavas, Athanasopoulos, Balomenaki, & Kafatos, 2012). Τα παραπάνω στοιχεία τρομάζουν τον ανυποψίαστο αναγνώστη, ωστόσο ερμηνεύονται εύκολα: η αλλαγή του τρόπου ζωής των σημερινών παιδιών, εκτός από τη φυσική αδράνεια και την καθιστική συμπεριφορά, περιλαμβάνει και μια σημαντική αλλαγή στην ποιότητα και την ποσότητα των διατροφικών επιλογών. Έτσι, λοιπόν, η πρώτη συνέπεια αφορά το βάρος και τη σύσταση σώματος ως αποτέλεσμα της απλής αρχής της κατανάλωσης ενέργειας και η δεύτερη την επιδείνωση του λιπιδεμικού προφίλ. Ωστόσο, και σε αυτό τον τομέα υπάρχουν μελέτες που δεν συμβάλλουν σε αποσαφήνιση των ερωτημάτων. Η μελέτη των Saakslahki, Numminen, Niinikoski, Rask-Nissila, Viikari, Tuominen, & Vaiimaki (1999) δεν μπορεί να μας δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την επίδραση της άσκησης στην καρδιαγγειακή λειτουργία, καθώς παρουσιάζει αντιφατικά αποτελέσματα και κυρίως ευρήματα που δύσκολα μπορούν να ερμηνευτούν με όρους αποδεκτών αρχών της φυσιολογίας. Ενώ, η εργασία της Parizkova (1996), παρόλο που παρουσιάζει ενδιαφέροντα ευρήματα αναφορικά με τη ΦΔ και καρδιομεταβολικούς δείκτες, δεν αναφέρεται στο είδος της εξάσκησης και κυρίως στη δοσολογία που έχει ως αποτέλεσμα τις διαφοροποιήσεις των ομάδων της, της πειραματικής και της ομάδας ελέγχου. Πάντως θα πρέπει να θεωρηθεί δεδομένο ότι η ΦΔ παίζει σημαντικό ρόλο στην καρδιαγγειακή λειτουργία ήδη από νεαρή ηλικία και πιθανόν η αδράνεια και η έλλειψη ΦΔ στην προσχολική ηλικία να επιταχύνει τις βλάβες που σχετίζονται με τον καρδιαγγειακό κίνδυνο (Timmons, Naylor, & Pfeiffer, 2007).

Φυσική Δραστηριότητα και ψυχο-κοινωνική υγεία

Η ευεργετική λειτουργία της ΦΔ σε ψυχοκοινωνικές παραμέτρους στην παιδική και την εφηβική ηλικία υποστηρίζεται επαρκώς θεωρητικά (Bidle, 1993). Για τις θετικές επιδράσεις της ΦΔ σε όλους τους τομείς της ανάπτυξης έκανε λόγο, πρώτος απ' όλους, ο Piaget (1952). Ωστόσο, τα περισσότερα σχετικά ευρήματα που αναφέρει βασίζονται σε μελέτες παρατήρησης και χρειάστηκαν αρκετά χρόνια για να αποδειχτεί με πειραματικές εργασίες ότι το κινητικό παιχνίδι επηρεάζει θετικά τη γνωστική, φυσική, κοινωνική και συναισθηματική κατάσταση παιδιών και εφήβων (Burdette & Whitaker, 2005; Garcia & Garcia, 2002; Ginsburg, 2007; Pelegrini & Smith, 1998; Zimmer, 1980). Επιπλέον, έχει αποδειχτεί ότι η συστηματική άσκηση και η ΥΕΦΔ προσφέρει σημαντικά ψυχολογικά οφέλη, όπως μείωση της συμπτωματολογίας της κατάθλιψης και των επιπέδων άγχους, βελτίωση της διάθεσης και της αυτοεκτίμησης, τόσο σε ενήλικες (Basso & Suzuki, 2017; Biddle, 2000; Spence, McGannon, Poon, 2005), όσο και σε εφήβους (Calfas & Taylor, 1994). Ωστόσο, οι μελέτες που αφορούν παιδιά προσχολικής ηλικίας είναι περιορισμένες. Ο Platzner (1976) μελέτησε την επίδραση ενός τριαντάλεπτης διάρκειας αντιληπτικοκινητικού προγράμματος, συνολικής διάρκειας 10 εβδομάδων, με συχνότητα εφαρμογής 5 ημερών/εβδομάδα, στην αυτοαντίληψη 40 παιδιών 35-72 μηνών με θετικά αποτελέσματα. Η Zimmer (1980) βρίσκει σημαντική επίδραση της ΦΔ σε γνωστικές, συναισθηματικές και κοινωνικές μεταβλητές στην πειραματική ομάδα παιδιών ηλικίας 4-6 ετών που ακολούθησε πρόγραμμα για συνολικά 1 έτος, ενώ οι Alpert & συν. (1990) διαπιστώνουν ότι οι αερόβιες δραστηριότητες βελτιώνουν την αυτοεκτίμηση σε παιδιά 3-5 ετών. Ακόμα, οι Lobo & Winsler (2006) εξέτασαν την επίδραση ενός προγράμματος στην κοινωνική επάρκεια 40 παιδιών 39-62 μηνών. Το πρόγραμμα, στο οποίο συμμετείχαν τα παιδιά και των δυο ομάδων (πειραματική-ομάδα ελέγχου), εφαρμόζονταν για 8 εβδομάδες, με συχνότητα 2 φορές εβδομαδιαία και κάθε εκπαιδευτική μονάδα είχε διάρκεια 35 λεπτά. Το πρόγραμμα της ΟΕ ήταν ελεύθερο παιχνίδι, ενώ τα παιδιά της ΠΟ παρακολούθησαν συνεδρίες δημιουργικού χορού και κίνησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση της κοινωνικής επάρκειας και μείωση των προβλημάτων συμπεριφοράς της ΠΟ σε σχέση με την ΟΕ. Αντίστοιχα αποτελέσματα είχε και η μελέτη του Bidle (1993), με 207 παιδιά που χωρίστηκαν σε ΠΟ (N=130) και ΟΕ (N=77). Τα παιδιά της ΠΟ που παρακολούθησαν πρόγραμμα παρέμβασης με μουσική και κίνηση, διάρκειας 26 εβδομάδων με συχνότητα ε-

φαρμογής 2 φορές εβδομαδιαία και διάρκεια κάθε εκπαιδευτικής μονάδας 30 λεπτών, βελτίωσαν τις δεξιότητες επικοινωνίας τους σε σχέση με τα παιδιά της ΟΕ.

Φυσική Δραστηριότητα και γνωστική λειτουργία

Είναι πλέον αποδεδειγμένο ότι η άσκηση σε όλη τη διάρκεια της ζωής, από τη γέννηση έως και τα βαθιά γεράματα, προάγει τη νευρογένεση, την πλαστικότητα των συνάψεων, την κυτταρική μορφολογία, την αγγειογένεση, τη λειτουργία των νευροδιαβιβαστών και γενικά τη λειτουργία του εγκεφάλου και του νευρικού συστήματος (VanPraag, 2009). Οι προσαρμογές αυτές μπορεί να σχετίζονται με βελτίωση γνωστικών λειτουργιών συμπεριλαμβανόμενης της προσοχής, της επεξεργασίας της πληροφορίας, της αποθήκευσης-ανάσυρσης της πληροφορίας και πολλών άλλων λειτουργιών (Trudeau & Shephard, 2009; Rosenbaum, Carlson, & Gilmore, 2001): η άσκηση, επιπλέον, προκαλεί φυσιολογικό στρες στον εγκέφαλο, το οποίο μετά την αποκατάσταση από τα ερεθίσματα, οδηγεί σε αυξητικές προσαρμογές, προστατεύει και βελτιώνει την εγκεφαλική λειτουργία (Mattson, 2004).

Δυο θεωρίες υποστηρίζουν και ερμηνεύουν τη σχέση ΦΔ και γνωστικής ανάπτυξης και λειτουργίας στη νεαρή ηλικία. Η θεωρία της «χρόνιας αερόβιας άσκησης» υποστηρίζει ότι τα παιδιά που διατηρούν για πολλά χρόνια υψηλό επίπεδο ΦΔ, παρουσιάζουν υψηλή καρδιοαναπνευστική ικανότητα, η οποία συνδέεται με την ανάπτυξη του εγκεφάλου και τη βελτίωση της λειτουργίας του (Best, 2010). Η αυξημένη ροή αίματος σε σημαντικές για τη μάθηση περιοχές του εγκεφάλου, οι σημαντικές δομικές μεταβολές και βελτιώσεις στις περιοχές που εποπτεύουν την επιτελική λειτουργία συνδέονται με την καλή καρδιοαναπνευστική λειτουργία (Chaddock, Erickson, Prakash, Van Patter, Voss, & Pontifex, 2010; Esteban-Cornejo, Cadenas-Sanchez, & Contreras-Rodriguez, 2017). Η άλλη θεωρία είναι η «θεωρία της άμεσης άσκησης» (Drollete, Scudder, Raine, Moore, Saliba, Pontifex, & Hillman, 2014) που υποστηρίζει ότι η ΦΔ έχει άμεση επίδραση στην εγκεφαλική λειτουργία. Κατά συνέπεια, υποστηρίζεται ότι αφενός η μακροχρόνια, αφετέρου οι σύντομες «δόσεις» άσκησης, έχουν ευεργετικά αποτελέσματα στον εγκέφαλο. Σε επίπεδο ανάπτυξης των εγκεφαλικών δομών και λειτουργιών, έχει δείχθει ότι η ΦΔ συμβάλλει στη νευρική ωρίμανση μέσω της νευρογένεσης, κυρίως εξασφαλίζοντας νέες συνάψεις και συνδέσεις, αλλά και μέσω της μυελινοποίησης των φυγόκεντρων νευρών (Sampaio-Baptista, Khrapitchev, Foxley,

Schlagheck, Scholz, Jbadbi, DeLuca, Miller, Taylor, Thomas, Kleim, Sibson, Bannerman, & Johansen-Berg, 2013; Forbes & Gallo, 2017). Οι διαδικασίες αυτές, που οφείλονται και στην άσκηση, ευνοούν την κινητική συναρμογή και κατά συνέπεια την κινητική εκτέλεση, αλλά η ανάπτυξή τους διευκολύνει και γνωστικές λειτουργίες, γεγονός που ο Piaget (1952), είχε παρατηρήσει, αλλά δεν μπορούσε να αποδείξει. Οι έρευνες, στη συνέχεια, έδειξαν ότι η ΦΔ συνδέεται με τις λειτουργίες χωρικής οργάνωσης (Bai & Bertenthal, 1992; Campos, Anderson, Barbu-Roth, Hubbard, Hertenstein, Witherington, 2000), αλλά και τα μαθηματικά και τη γλώσσα (Son & Meisel, 2006).

Οι εργασίες που μελετούν την επίδραση της ΦΔ σε γνωστικές λειτουργίες παιδιών προσχολικής ηλικίας, είναι ελάχιστες. Η δουλειά των Niederer & συν. (2011) με 245 παιδιά προσχολικής ηλικίας, παρόλο που δεν αποτελεί κλασσική δουλειά ελέγχου επίδρασης προγράμματος, διαπιστώνει ότι όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο αερόβιας ικανότητας και κινητικής επιδεξιότητας τόσο καλύτερα είναι τα επίπεδα λειτουργίας της χωρικής εργαζόμενης μνήμης και της προσοχής. Οι Zachoroulou & συν. (2006) εμπλούτισαν ένα πρόγραμμα φυσικής αγωγής, ώστε να στοχεύει στην καλλιέργεια της δημιουργικότητας και διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή του σε 251 παιδιά ηλικίας 4-5 ετών έχει θετικά αποτελέσματα στη δημιουργική ευχέρεια και την φαντασία. Αντίστοιχα, οι Yazejian & Peisner-Feinberg (2009) εφάρμοσαν πρόγραμμα μουσικοκινητικής παρέμβασης σε 207 παιδιά προσχολικής ηλικίας για 26 εβδομάδες, με διάρκεια κάθε προπονητικής μονάδας 30 λεπτά και συχνότητα δυο φορές την εβδομάδα. Η ομάδα ελέγχου σε αυτό το πείραμα παρακολουθούσε το τυπικό ημερήσιο πρόγραμμα για όλη τη διάρκεια εφαρμογής του πειραματικού πρωτοκόλλου. Ο στόχος ήταν η μελέτη της επίδρασης του προγράμματος σε γλωσσικές δεξιότητες και δεξιότητες επικοινωνίας των παιδιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση στις δεξιότητες επικοινωνίας αλλά όχι στη φωνολογική ενημερότητα και τις γλωσσικές δεξιότητες. Ωστόσο, οι μελέτες των Madeira-Firmino & συν. (2014) και Madeira-Firmino (2015) έδειξαν ότι η στοχευμένη εφαρμογή προγραμμάτων ΦΔ με περιεχόμενα που προάγουν τις γλωσσικές δεξιότητες παιδιών που φοιτούν σε παιδικούς σταθμούς αναπτύσσει αυτές τις δεξιότητες σε υψηλότερο βαθμό από τις κλασσικές μεθοδολογίες γλωσσικής ανάπτυξης. Μάλιστα, η Zimmer (2019) αφιερώνει έναν ολόκληρο τόμο στη μεθοδολογία, τον σχεδιασμό, την εφαρμογή και τα προπονητικά περιεχόμενα προγραμμάτων ΦΔ στους παιδικούς σταθμούς και τα Νηπιαγωγεία, με στόχο τη

γλωσσική ανάπτυξη. Τέλος οι Palmer, Miller & Robinson (2013) έδειξαν ότι 30 λεπτά άσκησης που περιλάμβανε ρίψη, δρόμο, άλμα και άλλες κινητικές δεξιότητες, βελτίωσαν τη διατήρηση της προσοχής παιδιών προσχολικής ηλικίας, ενώ οι Lundy και Trawick-Smith (2020) αποδεικνύουν ότι το δραστήριο παιχνίδι σε εξωτερικό περιβάλλον βελτιώνει τη συμπεριφορά στην τάξη κατά τη διάρκεια εκτέλεσης εργασιών σε παιδιά ηλικίας 3-5 ετών.

Φυσική Δραστηριότητα και κινητικές δεξιότητες

Στο κλασσικό, πλέον, βιβλίο κινητικής ανάπτυξης των Haywood & Getchell (2020), αναφέρεται ότι, κατά την προσχολική ηλικία, αναπτύσσονται οι κινητικές δεξιότητες κι αυτό πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη, είτε πρόκειται για έκδοση οδηγιών ΦΔ είτε για τον σχεδιασμό προγραμμάτων άσκησης. Στο πλαίσιο αυτό, τα τελευταία χρόνια, οι θεμελιώδεις κινητικές δεξιότητες (ΘΚΔ) έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών. Οι ΘΚΔ είναι τα βασικά μαθησιακά κινητικά πρότυπα που δεν αποκτώνται αυτόματα και αποτελούν το υπόβαθρο για πιο σύνθετες φυσικές και αθλητικές δεξιότητες και κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες δεξιοτήτων: δεξιότητες μετακίνησης (ΚΔΜε: π.χ. τρέξιμο), δεξιότητες χειρισμού αντικειμένων (ΚΔΧα: π.χ. υποδοχή μπάλας) και δεξιότητες σταθεροποίησης (ΚΔΣτ: ισορροπία) (Barnett, Stodden, Cohen, Smith, Lubans, Lenoir, Iivonen, Miller, Laukkanen, & Dudley, 2016).

Κάποιες μελέτες υποστηρίζουν ότι οι επιδόσεις στις ΘΚΔ σχετίζονται θετικά με την αυξημένη ΦΔ στην παιδική και την εφηβική ηλικία (Barnett, Van Beurden, Morgan, Brooks, Beard, 2009; Lloyd, Saunders, Bremer, Tremblay, 2014; Loprinzi, Davis, Fu, 2015), ωστόσο το ερώτημα, εάν η συμμετοχή σε φυσικές δραστηριότητες είναι αυτή που συμβάλλει στην ανάπτυξη των ΘΚΔ (Bürgi, Meyer, Granacher, Schindler, Marques-Vidal, Kriemler, Puder, 2011) ή το αντίστροφο (Cliff, Okely, Smith, McKeen, 2009), δεν έχει απαντηθεί με σαφήνεια μέχρι σήμερα (Barnett, Hinkley, Okely, Salmon, Child, 2013; Cliff, Okely, Smith, McKeen, 2009; D'Hondt, Deforche, De Bourdeaudhuij, Lenoir, 2009; Kambas, Michalopoulou, Fatouros, Christoforidis, Manthou, Giannakidou, Venetsanou, Haberer, Chatzinikolaou, Gourgoulis, Zimmer, 2012; Stodden, Goodway, Langendorfer, Robertson, Rudisill, Garcia, Garcia, 2008). Το προφανές, ότι ένα καλό επίπεδο κινητικής εκτέλεσης αποτελεί σημαντικό υπόβαθρο για ένα φυσικά δραστήριο τρόπο ζωής (Lubans, Morgan, Cliff, Barnett, Okely, 2010; Stodden,

Goodway, Langendorfer, Robertson, Rudisill, Garcia, Garcia, 2008), δεν μπορεί παρά να ισχύει μαζί με το επίσης προφανές, ότι το καλό επίπεδο κινητικής εκτέλεσης εξασφαλίζεται με την εξάσκηση μέσα από οργανωμένη φυσική δραστηριότητα. Η κατεύθυνση αυτής της σχέσης, ωστόσο, επηρεάζεται σημαντικά από την ηλικία: στην πρώιμη παιδική ηλικία π.χ. στην προσχολική, η ΦΔ καθορίζει την απόκτηση των ΘΚΔ, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει σε μεγαλύτερη ηλικία όταν οι απαιτήσεις κινητικής απόδοσης είναι υψηλές (Fisher, Reilly, Kelly, Montgomery, Williamson, Paton, 2005; Williams, Pfeiffer, O'Neil, Dowda, McIver, Brown, Pate, 2008). Όπως αναφέρθηκε, οι ΘΚΔ αποτελούν σημαντικό «υπόβαθρο» αφενός για τη συμμετοχή σε ΦΔ, αφετέρου για την εκμάθηση των αθλητικών τεχνικών και η προσχολική ηλικία είναι ιδανική περίοδος για την ανάπτυξή τους (Hands, Larkin, Parker, Straker, Perry, 2009). Μια επιπλέον παράμετρος που δεν πρέπει να παραβλέπεται είναι ότι η άσκηση και οι εμπειρίες ΦΔ βελτιώνουν την νευρομυϊκή συναρμογή, η οποία με τη σειρά της υποστηρίζει την ανάπτυξη των ΘΚΔ (Stodden & Goodway, 2007; Stodden, Goodway, Langendorfer, Robertson, Rudisill, Garcia, Garcia, 2008). Οι μελέτες που αποδεικνύουν την επίδραση της άσκησης στην εκμάθηση των κινητικών δεξιοτήτων είναι πολλές και δεν αμφισβητείται σε καμία περίπτωση η αξία των διαφορετικών παρεμβάσεων είτε είναι αερόβια άσκηση (Alpert, Field, Goldstein, Perry, 1990), είτε στοχευμένη εξάσκηση κινητικών δεξιοτήτων (Reilly, Kelly, Montgomery, Fisher, McColl, 2006), είτε ακόμα κι ένα πρόγραμμα Ψυχοκινητικής παρέμβασης (Zimmer, Christoforidis, Xanthi, Aggeloussis, Kambas, 2008).

Οδηγίες φυσικής δραστηριότητας για παιδιά προσχολικής ηλικίας

Στην Ελλάδα δεν έχουν εκδοθεί επίσημα οδηγίες ΦΔ για παιδιά προσχολικής ηλικίας από κανέναν σχετικό φορέα. Η μόνη αναφορά που έχουμε είναι η παρακάτω: «Για υγιή ανάπτυξη των παιδιών αυτής της ηλικίας θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ο καθιστικός χρόνος, δηλαδή η παρατεταμένη φυσική αδράνεια για περισσότερο από μία (1) ώρα, κυρίως μάλιστα σε ώρες που θα έπρεπε να βρίσκονται έξω και να τρέχουν. Ο χρόνος «έκθεσης» σε οθόνες (τηλεόραση, Η/Υ, παιχνιδομηχανές, tablet, κ.α.) δεν πρέπει να ξεπερνάει την 1 ώρα ημερησίως. Επιπλέον τα παιδιά αυτής της ηλικίας θα πρέπει να είναι φυσικά δραστήρια για 180 λεπτά ημερησίως με οποιαδήποτε ένταση. Η διάρκεια αυτή προκύπτει αθροίζοντας μικρότερης διάρκειας δραστηριότητες στη διάρκεια της ημέρας που μπορεί

να είναι δραστήριο παιχνίδι σε διαφορετικά περιβάλλοντα, δραστηριότητες που αναπτύσσουν κινητικές δεξιότητες και για παιδιά 5 ετών το λιγότερο 60 λεπτά ενεργού παιχνιδιού την ημέρα» (Καμπάς, 2019).

Χαρακτηριστικά παιδιών προσχολικής ηλικίας

Πόσο έτοιμο είναι ένα παιδί προσχολικής ηλικίας να συμμετάσχει σε μια προπόνηση, με την παραδοσιακή έννοια του όρου; Πόσο έτοιμο είναι να συμμετάσχει σε μια ακαδημία Ποδοσφαίρισης, Καλαθοσφαίρισης ή οποιουδήποτε άλλου αθλήματος και να μάθει την τεχνική και την τακτική τους, έστω και σε στοιχειώδες επίπεδο;

Για να απαντηθούν τα παραπάνω ερωτήματα είναι απαραίτητη η αξιολόγηση της αθλητικής ετοιμότητας κάθε παιδιού, η οποία περιλαμβάνει την εκτίμηση της κινητικής, γνωστικής και συναισθηματικής/κοινωνικής ανάπτυξής του (Purcell, Canadian Paediatric Society, & Paediatric Sports and Exercise Medicine Section, 2005). Για τον λόγο αυτό, σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται ορισμένα από τα χαρακτηριστικά των παιδιών προσχολικής ηλικίας, όπως έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία (Goodway, Ozmun, & Gallahue, 2019; Patel, Pratt, & Greydanus, 2002; Purcell, Paediatric Society, & Paediatric Sports and Exercise Medicine Section, 2005; Zimmer, 2007). Λόγω των δεδομένων χωρικών περιορισμών, δεν δίνεται μια εξαντλητική λίστα αλλά ένα σύνολο ενδεικτικών στοιχείων που αναδεικνύουν τις ιδιαιτερότητες και τις ανάγκες αυτής της ηλικίας που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό και την εφαρμογή οποιουδήποτε προγράμματος άσκησης απευθύνεται σε αυτά τα παιδιά.

Κινητική ανάπτυξη

Στο διάστημα μεταξύ 2 και 7 ετών, κατακτώνται με ταχείς ρυθμούς οι ΘΚΔ, οι οποίες, όπως προαναφέρθηκε, αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη, στη συνέχεια, εξειδικευμένων δεξιοτήτων, όπως οι αθλητικές δεξιότητες. Οι θεμελιώδεις κινητικές δεξιότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες (Gallahue & Ozmun, 1998):

- ✓ ΚΔΜε, κατά τις οποίες το σώμα μεταφέρεται από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο (π.χ. περπάτημα, τρέξιμο, άλμα).
- ✓ ΚΔΧα (π.χ. λάκτισμα, ρίψη, υποδοχή μπάλας).

✓ ΚΔΣτ, οι οποίες περιλαμβάνουν κινήσεις γύρω από τους άξονες του σώματος (π.χ. στροφές), στατικές ισορροπίες (π.χ. ισορροπία στο ένα πόδι) και δυναμικές ισορροπίες (π.χ. βάδισμα πάνω σε δοκό ισορροπίας).

Οι ΘΚΔ αναπτύσσονται ακολουθώντας μια συνέχεια τριών σταδίων (αρχικό, στοιχειώδες, ώριμο). Στο αρχικό στάδιο, οι κινήσεις είναι σχετικά ασυντόνιστες και αδέξιες. Ακολουθεί το στοιχειώδες στάδιο, κατά το οποίο, ο συντονισμός των κινήσεων βελτιώνεται, παρόλα αυτά, δεν υπάρχει ροή στην κίνηση. Σε αυτό το στάδιο μπορεί να βρίσκονται οι κινητικές δεξιότητες κάποιων ενηλίκων που, λόγω έλλειψης κατάλληλων εμπειριών και διδασκαλίας, δεν κατέκτησαν ποτέ το ώριμο στάδιο. Τέλος, στο ώριμο στάδιο, η δεξιότητα είναι συντονισμένη, αποτελεσματική και εκτελείται με σιγουριά.

Στην ηλικία των 3-4 χρόνων τα παιδιά μπορούν να εκτελέσουν άλμα σε μήκος με δύο πόδια, κουτσό (έως 6 επαναλήψεις), υποδοχή μεγάλης μπάλας, ρίψη μικρής μπάλας από πάνω, σύντομη ισορροπία στο ένα πόδι, λάκτισμα σταθερής μπάλας, τρέξιμο προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Μέχρι την ηλικία των πέντε ετών, το τρέξιμό τους έχει βελτιωθεί, ενώ μπορούν να εκτελέσουν καλπασμό, κουτσό έως εννέα φορές, ρίψη μπάλας με στροφή του κορμού, υποδοχή μπάλας με τα δύο χέρια, κυβίστηση. Τέλος, στην ηλικία των 6 ετών μπορούν να ισορροπήσουν σε τρία σημεία του σώματος και εκτελούν επιδέξια καλπασμό και ρίψη. Ωστόσο, πολλά παιδιά δεν καταφέρνουν να παρακολουθήσουν επιτυχώς ένα κινούμενο αντικείμενο (π.χ. μια μπάλα) ή να εκτιμήσουν την ταχύτητά του. Επίσης, δεν μπορούν να ελέγξουν ακόμα τη δύναμη με την οποία θα εκτελέσουν ένα λάκτισμα ή μια ρίψη ούτε την τροχιά που θα έχει αυτή.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως, παρότι τα στάδια ανάπτυξης των κινητικών δεξιοτήτων είναι κοινά για όλα τα παιδιά, κάθε παιδί έχει τον δικό του ρυθμό ανάπτυξης, ο οποίος καθορίζεται από βιολογικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Το στοιχείο αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη διδασκαλία των κινητικών δεξιοτήτων, διότι το να προσδοκά κάποιος την εκτέλεση μιας δεξιότητας από ένα παιδί που δεν είναι αναπτυξιακά έτοιμο για αυτή θα οδηγήσει σε απογοήτευση παρά σε μακροπρόθεσμη αθλητική επιτυχία (Βενετσάνου, 2014).

Γνωστική ανάπτυξη

Τα νήπια διαθέτουν τεράστια φαντασία, την οποία στην ηλικία των τριών ετών δεν μπορούν να διαχωρίσουν από την πραγματικότητα και μαθαίνουν καλύτερα μέσα από τον πειραματισμό και τη δράση. Ο προφορικός τους λόγος εμπλουτίζεται συνεχώς (στην ηλικία των 5 ετών το λεξιλόγιό τους αποτελείται από 2500 λέξεις, περίπου, ενώ στα 6 ανέρχεται σε 5000 λέξεις) και μπορούν να απαντήσουν σε απλές ερωτήσεις («ποιος;», «τι;»). Ωστόσο, συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν ομόηχες λέξεις και πολύπλοκες προτάσεις ή οδηγίες. Επίσης, χαρακτηρίζονται από μικρά διαστήματα προσοχής (5-15 λεπτά) και χαμηλή επιλεκτική προσοχή. Έτσι, σε ένα αθλητικό περιβάλλον, όπου συνήθως ακούγονται, συγχρόνως, εντολές από τον προπονητή και παραινέσεις και σχόλια τους γονείς και το κοινό, τα νήπια αδυνατούν να διακρίνουν τι πρέπει να ακούσουν και τι να αγνοήσουν, με αποτέλεσμα να διασπάται η προσοχή τους και να μπερδεύονται.

Θυμούνται και ανακαλούν, όταν τους ζητηθεί, βασικές πληροφορίες και απλούς κανόνες, για τους οποίους, όμως, χρειάζονται συχνές υπενθυμίσεις. Μπορούν να συμμετάσχουν σε παιχνίδια που απαιτούν δεξιότητες λήψης απλών αποφάσεων, ωστόσο, δεν μπορούν να τροποποιήσουν τις ενέργειές τους, ώστε να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες ενός παιχνιδιού ή να κατανοήσουν στοιχεία τακτικής του παιχνιδιού. Η γνωστή εικόνα του «σμήνους» των παιδιών που συνωστίζονται γύρω από τη μπάλα σε ένα παιχνίδι ποδοσφαίρου αποτελεί ένδειξη του γνωστικού επιπέδου αυτής της ηλικίας.

Κοινωνική-συναισθηματική ανάπτυξη

Τα παιδιά προσχολικής ηλικίας υπερεκτιμούν τις ικανότητές τους, καθώς μπερδεύουν την προσπάθεια που καταβάλλουν με το αποτέλεσμά της. Επίσης, δεν μπορούν να συγκρίνουν την απόδοσή τους με εκείνη των άλλων παιδιών και αναπτύσσουν αυτονομία και εμπιστοσύνη στον εαυτό τους μέσα από τις επιτυχίες και τις αποτυχίες που βιώνουν και την ανατροφοδότηση που παίρνουν από τους «σημαντικούς άλλους» (γονείς, δασκάλους, προπονητές, κλπ). Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως, σε αυτή την ηλικία, διαμορφώνεται η αυτοαντίληψη και η αυτοεκτίμηση του ατόμου, γι αυτό και θεωρείται σημαντικό να παρέχονται στα παιδιά ευκαιρίες θετικών εμπειριών που θα τα βοηθήσουν να νιώσουν αυτοπεποίθηση. Επίσης, σε αυτή την περίοδο τίθενται οι βάσεις της κοινωνικής συμπεριφοράς. Παρότι τα νήπια είναι εγωκεντρικά ως προς τη σκέψη τους, αδυνατώντας να σκε-

φτούν οποιαδήποτε άλλη οπτική γωνία εκτός από τη δική τους και να κατανοήσουν γιατί δεν μπορούν να είναι πάντα «πρώτοι» μέσα από το παιχνίδι, σιγά-σιγά μαθαίνουν να αναλαμβάνουν ρόλους, να αλληλεπιδρούν και να συνεργάζονται με άλλα παιδιά, τα οποία προτιμούν να είναι του ίδιου φύλου.

Στόχοι και περιεχόμενο της άσκησης στην προσχολική ηλικία

Λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της προσχολικής ηλικίας αλλά και της σημαντικότητας αυτής της περιόδου για την ανάπτυξη του ανθρώπου, η επιστημονική κοινότητα (ενδ.: American Academy of Pediatrics, 2001; Merkel, 2013; Patel Pratt, & Greydanus, 2002; Purcell, Canadian Paediatric Society, & Paediatric Sports and Exercise Medicine Section, 2005) συμφωνεί πως η εισαγωγή στον αθλητισμό και την προπόνηση με τη στενή της έννοια δεν θα πρέπει να γίνεται πριν από την ηλικία των έξι ετών. Αντίθετα, τα παιδιά προσχολικής ηλικίας θα πρέπει να συμμετέχουν σε προγράμματα που στοχεύουν:

- ✓ Στην κατάκτηση των θεμελιωδών κινητικών δεξιοτήτων
- ✓ Στην ενίσχυση της ΦΔ και της φυσικής κατάστασης για την υγεία
- ✓ Στη γνωστική, συναισθηματική και κοινωνική ανάπτυξη των παιδιών
- ✓ Στη δημιουργία θετικής στάσης απέναντι στη ΦΔ

Μέσα από αυτά τα προγράμματα, θα δημιουργηθούν τα θεμέλια για τη δημιουργία *κινητικά εγγράμματων ατόμων*, ατόμων - δηλαδή - που θα είναι κινητικά ικανά και θα διαθέτουν υψηλό κίνητρο, αυτοπεποίθηση και γνώσεις, ώστε να κατανοούν την αξία της συμμετοχής στη ΦΔ για την υγεία και την ποιότητα της ζωής τους και θα αναλαμβάνουν την ευθύνη της εμπλοκής τους στη δια βίου άσκηση [International Physical Literacy Association (IPLA), 2017]. Δεν είναι τυχαίο, άλλωστε, το γεγονός πως η καλλιέργεια του κινητικού γραμματισμού υποστηρίζεται πως πρέπει να αποτελεί στόχο των εισαγωγικών σταδίων του αθλητικού σχεδιασμού, ώστε να μειωθεί η πρόωγη εγκατάλειψη του αθλητισμού που παρατηρείται συχνά (Dudley, Cairney, Wainwright, Kriellaars, & Mitchell, 2017).

Η ανάπτυξη των θεμελιωδών κινητικών δεξιοτήτων αποτελεί τον πυρήνα των προγραμμάτων που αφορούν τα παιδιά προσχολικής ηλικίας και οι λόγοι γι' αυτό είναι πολλοί. Αρχικά, η ανάπτυξη της κινητικής επιδεξιότητας (της ικανότητας, δηλαδή, του ατόμου να εκτελεί με επάρκεια και ακρίβεια ένα ευρύ σύνολο κινητικών δεξιοτήτων) σε ικανοποιητικό επίπεδο είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των απαιτήσεων της καθημερινής ζωής. Επίσης, αποτελεί τον πιο σημαντικό

παράγοντα (ωστόσο όχι τον μοναδικό) για τη συμμετοχή στον αθλητισμό και τη ΦΔ (Robinson, Stodden, Barnett, Lopes, Logan, Rodrigues, & D' Hondt, 2015). Καθώς τα παιδιά μεγαλώνουν και περνούν στα επόμενα στάδια της ανάπτυξης, οι περισσότεροι κινητικά ικανοί τείνουν να είναι περισσότερο κινητικά δραστήριοι (Barnett, Van Beurden, Morgan, Brooks, & Beard, 2008; Lloyd, Saunders, Bremer, & Tremblay, 2014; Lopes, Rodrigues, Maia, & Malina, 2011; Venetsanou & Kambas, 2017). Αντίθετα, όσοι έχουν χαμηλό επίπεδο κινητικής επιδεξιότητας συμμετέχουν λιγότερο σε κινητικές δραστηριότητες προσπαθώντας να αποφύγουν δυσάρεστες στιγμές, με αποτέλεσμα να στερούνται ευκαιριών ανάπτυξης των κινητικών τους δεξιοτήτων και να οδηγούνται, μοιραία, σε έναν φαύλο κύκλο, απόρροια του οποίου είναι χαμηλά επίπεδα ΦΔ και φυσικής κατάστασης για την υγεία (Rivlis, Hay, Cairney, Klentrou, Liu, & Fought, 2011).

Σε ένα πρόγραμμα που έχει ως στόχο την κατάκτηση των κινητικών δεξιοτήτων, σημαντική θέση καταλαμβάνουν οι κινητικές έννοιες, οι οποίες περιγράφουν τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να κινηθεί το σώμα («πώς;», «πού;», «με ποιον;», «με τι;»). Οι κινητικές έννοιες μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες που αφορούν τη συνειδητοποίηση των εξής στοιχείων της κίνησης:

- ✓ Σώμα: Τι μπορεί να κάνει το σώμα; (γνώση των μερών του σώματος και των δυνατοτήτων τους)
- ✓ Χώρος: Πού κινείται το σώμα; (επίπεδα, κατευθύνσεις, εύρος κίνησης)
- ✓ Σχέσεις: Ποια είναι η σχέση του σώματος αναφορικά με τους άλλους ανθρώπους και τα αντικείμενα στον χώρο;
- ✓ Προσπάθεια: Πώς κινείται το σώμα; (ροή, χρόνος, βάρος κίνησης)

Όπως πολύ εύγλωττα αναφέρει ο Gallahue (1996), οι κινητικές δεξιότητες αποτελούν τα «ενεργητικά ρήματα» της κίνησης και οι κινητικές έννοιες τους «τροποποιητές» της, γι' αυτό και η συνδυαστική ανάπτυξή τους συνδράμει στη δημιουργία ενός ευρέος κινητικού αλφαβήτου που θα αποτελέσει το θεμέλιο για τη διδασκαλία των αθλητικών δεξιοτήτων στη συνέχεια. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί μέσα από μια μεγάλη ποικιλία παιγνιωδών δραστηριοτήτων που ενθαρρύνουν τον πειραματισμό. Η επιμονή στη σωστή εκτέλεση των δεξιοτήτων δεν αποτελεί ενδεδειγμένη πρακτική γι αυτή την ηλικία, καθώς η μόνη βέβαιη επίπτωση της είναι η απογοήτευση των παιδιών. Ο προπονητής, γνωρίζοντας πως η κινητική ανάπτυξη ακολουθεί μια προσωπική τροχιά για κάθε παιδί, αναμένει και απο-

δέχεται πως οι μικροί «αθλητές» του ίσως βρίσκονται σε διαφορετικό στάδιο ανάπτυξης. Συνεπώς, δεν αντιλαμβάνεται ως «λάθος» την ανώριμη εκτέλεση μιας δεξιότητας, αλλά ως απαραίτητο βήμα για την κατάκτησή της, γι αυτό και εστιάζει σε όσα μπορεί να εκτελέσει κάθε παιδί και, χτίζοντας πάνω σε αυτά, του δίνει πολλές ευκαιρίες εξάσκησης, οι οποίες συνοδεύονται από ενθάρρυνση και θετική ανατροφοδότηση.

Παραπάνω αναφέρθηκε ότι καθώς τα παιδιά μεγαλώνουν, εκείνα που είναι κινητικά ικανά συμμετέχουν σε περισσότερη ΦΔ. Ένας άλλος παράγοντας που φαίνεται πως διαδραματίζει εξίσου σημαντικό ρόλο για την εμπλοκή κάποιου στη ΦΔ είναι η αντίληψη που έχει για τις ικανότητές του. Έτσι, όσοι αντιλαμβάνονται τον εαυτό τους ως κινητικά επιδέξιο είναι πιθανό να συμμετέχουν σε περισσότερη ΦΔ, καλλιερώντας έτσι τις κινητικές τους δεξιότητες, οι οποίες, με τη σειρά τους, θα οδηγήσουν στην ενίσχυση της αυτοαντίληψής τους και της συμμετοχής σε ΦΔ (Stodden, Goodway, Langendorfer, Robertson, Rudisill, Garcia, & Garcia, 2008). Γι' αυτό και υπογραμμίζεται η σπουδαιότητα της καλλιέργειας της θετικής αυτοαντίληψης στην προσχολική ηλικία, μέσα από την παροχή ευκαιριών πειραματισμού, ανάληψης πρωτοβουλιών και βίωσης επιτυχιών.

Για την επίτευξη των προηγούμενων, εφαρμόζεται εξατομικευμένη διδασκαλία. Οι ασκήσεις τροποποιούνται, ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες όλων των παιδιών, ενώ δίνεται έμφαση στην αξιολόγηση της ατομικής προόδου και όχι στη σύγκριση μεταξύ των παιδιών. Μέσα από την κατάκτηση προσωπικών επιτευγμάτων, ενισχύεται η αυτοπεποίθηση του παιδιού, με αποτέλεσμα να νιώθει σιγουριά για να δοκιμάσει όλο και πιο απαιτητικές δραστηριότητες (Liu, Xiang, Lee, & Li, 2017). Σε αυτή την κατεύθυνση, σημαντικό ρόλο παίζει, επίσης, η αποφυγή ανταγωνιστικών παιχνιδιών, καθώς η ήττα αφενός δεν είναι εύκολα διαχειρίσιμη σε αυτή την ηλικία, αφετέρου επιδρά αρνητικά στην αυτοεκτίμηση των παιδιών. Αντίθετα, δίνεται έμφαση στις δραστηριότητες που προάγουν τη συνεργασία, μέσα από τις οποίες ενισχύεται η παρακίνηση των παιδιών και το αίσθημα του «ανήκειν» σε μια ομάδα. Επιπλέον, τα παιδιά συμμετέχουν ενεργά τόσο στη διαμόρφωση των κανόνων που διέπουν την προπόνηση (οι οποίοι θα πρέπει να είναι απλοί, σαφείς, λογικοί, περιορισμένοι σε αριθμό και κατανοητοί), όσο και στην εξέλιξή της. Η πρακτική αυτή θα συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση της αυτονομίας τους αλλά και του κινήτρου για ΦΔ (Whitehead & Almond, 2014).

Λαμβάνοντας υπόψη τη γνωστική ανάπτυξη των παιδιών, κάθε προπονητική μονάδα δεν ξεπερνά τα 50-60 λεπτά και αποτελείται από ελκυστικές και σύντομες σε διάρκεια δραστηριότητες, οι περισσότερες από τις οποίες θέτουν στα παιδιά γνωστικές προκλήσεις που ζητούν λύσεις, ώστε να αναπτυχθεί η επινοητικότητα και η κριτική σκέψη τους. Επίσης, η ένταξη της δραματοποίησης αποτελεί ένα μοναδικό εργαλείο σύνδεσης της κινητικής με τη γνωστική ανάπτυξη και βοηθά τα παιδιά να μάθουν ευκολότερα τις κινητικές δεξιότητες που διδάσκονται και να ανακαλέσουν γρήγορα και αποτελεσματικά από τη μνήμη τους τα σημεία-κλειδιά για κάθε δεξιότητα (Βενετσάνου, 2014).

Αναφορικά με την καλλιέργεια των φυσικών ικανοτήτων, θα πρέπει να γίνει σαφές πως η προπόνηση φυσικής κατάστασης στην παραδοσιακή της μορφή δεν έχει θέση σε ένα πρόγραμμα άσκησης στην προσχολική ηλικία. Η ανάπτυξη των φυσικών ικανοτήτων προκύπτει από τη συμμετοχή είτε στις δραστηριότητες κατάρτησης των θεμελιωδών δεξιοτήτων είτε σε δραστηριότητες ελεύθερης επιλογής. Για τη διεξαγωγή των τελευταίων, ο δασκαλος δημιουργεί ένα προκλητικό - αλλά συγχρόνως ασφαλές - περιβάλλον (τοποθετώντας στον χώρο εμπόδια, σκάλες, σχοινιά αναρρίχησης, κλπ) και τα παιδιά επιλέγουν τη «διαδρομή περιπέτειας» που θα ακολουθήσουν.

Τέλος, για την επίτευξη του στόχου της ενίσχυσης της ΦΔ των παιδιών, είναι σημαντικό οι δραστηριότητες του προγράμματος να σχεδιάζονται έτσι, ώστε να προκαλούν τη «δράση» των παιδιών και να περιορίζουν στο ελάχιστο την αναμονή και τον καθιστικό χρόνο. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί πως ένα πρόγραμμα άσκησης, όσο καλά σχεδιασμένο και εάν είναι, δεν αρκεί για να καλυφθεί η ΦΔ που χρειάζεται ένα παιδί για τη διασφάλιση της υγείας του. Τα προγράμματα άσκησης λειτουργούν συμπληρωματικά στην ελεύθερη ΦΔ που πρέπει να έχει ένα παιδί καθημερινά.

Παρόλα αυτά, και λόγω της σημαντικής θέσης που έχει η κίνηση στη ζωή των παιδιών, ένα πρόγραμμα άσκησης έχει τη δύναμη να επιδράσει (θετικά ή αρνητικά) στην αγάπη που θα αναπτύξουν για τη ΦΔ. Μέσα από ένα ευνοϊκό περιβάλλον μάθησης, που θα παρέχει στα παιδιά διασκέδαση, θετικές εμπειρίες, ασφάλεια, σιγουριά, υποστήριξη, τα παιδιά θα ξεκινήσουν το προσωπικό τους ταξίδι στη δια βίου άσκηση. Ωστόσο, όλα τα παραπάνω δεν επιτυγχάνονται σε ένα πρόγραμμα-μικρογραφία της προπόνησης των μεγαλύτερων ηλικιών. Απαιτείται επιμελής σχεδιασμός και προσεκτική εφαρμογή των στόχων και του περιεχομένου

κάθε προπονητικής μονάδας, με σεβασμό στη σημαντικότητα της προσχολικής ηλικίας.

Σε αυτή την κατεύθυνση, ο προπονητής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα. Δυστυχώς, πολλοί προπονητές δεν γνωρίζουν πώς να αντιμετωπίσουν τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας, καθώς η συμμετοχή παιδιών προσχολικής ηλικίας σε αθλητικά προγράμματα βρήκε τους περισσότερους απροετοίμαστους, με αποτέλεσμα να έρχονται σε δύσκολη θέση και να οδηγούνται, μοιραία, σε λάθη. Ο προπονητής είναι αυτός που, συνειδητοποιώντας τη σημαντικότητα της παιδαγωγικής διάστασης του ρόλου του, θα δημιουργήσει ένα ιδανικό περιβάλλον μάθησης και θα καθοδηγήσει τους μικρούς «αθλητές» του προς την επίτευξη των στόχων του προγράμματος. Έτσι, παρατηρεί προσεκτικά κάθε παιδί και προσαρμόζει τις δραστηριότητες, ώστε να ανταποκρίνονται στις ατομικές του ανάγκες. Δίνει τον χρόνο και τις ευκαιρίες που χρειάζεται κάθε παιδί για να εξερευνήσει τις δυνατότητές του. Χρησιμοποιεί κατάλληλο λεξιλόγιο και είναι έτοιμος να επαναλάβει τις οδηγίες όποτε χρειαστεί. Δείχνει ενδιαφέρον και ενθουσιασμό για κάθε μικρή ή μεγάλη επιτυχία των μικρών «αθλητών» του, ενθαρρύνοντάς τους να συνεχίσουν με ζήλο την προσπάθειά τους (Βενετσάνου, 2014).

Οι γονείς, επίσης, παίζουν αποφασιστικό ρόλο σε αυτή την ηλικία. Παρόλα αυτά, και παρότι εμπλέκουν τα παιδιά τους στον αθλητισμό επιθυμώντας το καλύτερο γι' αυτά, κάποιες φορές έχουν τόσο μεγάλες (και συχνά ανεδαφικές) προσδοκίες, ώστε τους προκαλούν άγχος και απογοήτευση, που συχνά οδηγούν στην εγκατάλειψη του αθλητισμού. Η εικόνα του γονιού που παρακαλά τον πεντάχρονο γιο του να κλωτσήσει τη μπάλα ή να τρέξει γρηγορότερα είναι απόδειξη του πώς η «ενθάρρυνση» από τον γονιό μπορεί τελικά να αποθαρρύνει το παιδί. Γι' αυτό, είναι σημαντικό να ενημερωθούν οι γονείς για τη βαρύτητα της προσχολικής ηλικίας στην ανάπτυξη του ανθρώπου, να αναγνωρίσουν το αναπτυξιακό επίπεδο στο οποίο βρίσκεται το παιδί τους, να «αφουγκραστούν» τα ενδιαφέροντα και τις ανάγκες του και να υποστηρίξουν με ενθουσιασμό τη συμμετοχή του σε προγράμματα άσκησης προς όφελος της υγείας του και όχι ελπίζοντας πως θα γίνει πρωταθλητής.

Σύνοψη

Η προσχολική ηλικία είναι αφενός μια ιδιαίτερα σημαντική περίοδος για την κινητική ανάπτυξη και για την υιοθέτηση συμπεριφορών ζωής, όπως η δια βίου άσκηση, αφετέρου διαθέτει χαρακτηριστικά που την διαφοροποιούν από τις μεγαλύτερες ηλικίες. Για να διασφαλιστεί η βέλτιστη αξιοποίηση αυτής της περιόδου με γνώμονα την υγεία των παιδιών, η άσκηση που αφορά την προσχολική ηλικία πρέπει να διέπεται από τους εξής κανόνες:

- ✓ Η συμμετοχή των παιδιών προσχολικής ηλικίας σε εξειδικευμένα αθλητικά προγράμματα πρέπει να αποφεύγεται.
- ✓ Ένα πρόγραμμα άσκησης για παιδιά προσχολικής ηλικίας στοχεύει στην ανάπτυξη κινητικά ικανών παιδιών, που πιστεύουν στις ικανότητές τους και αγαπούν τη ΦΔ, θέτοντας έτσι τα θεμέλια για τη δημιουργία κινητικά εγγράμματων ατόμων.
- ✓ Ένα πρόγραμμα άσκησης για παιδιά προσχολικής ηλικίας περιλαμβάνει ποικίλες, αναπτυξιακά κατάλληλες και διασκεδαστικές δραστηριότητες, προσαρμοσμένες στις ατομικές ιδιαιτερότητες των συμμετεχόντων, που στοχεύουν στην ολόπλευρη ανάπτυξή τους.
- ✓ Οι γονείς και οι προπονητές έχουν τη μεγάλη ευθύνη να παράσχουν στα παιδιά θετικές αθλητικές εμπειρίες. Ο ανταγωνισμός, η ανία, το αίσθημα της αποτυχίας και της ντροπής δεν έχουν θέση στο πρόγραμμα που αφορά την προσχολική ηλικία.

Βιβλιογραφία

- Afthentopoulou, A. E, Kaioglou, V., & Venetsanou, F. (2017). Overweight and obesity prevalence in young children living in Athens. *Public Health Open Journal*, 2(1), 26-32.
- Aivazidis, D., Venetsanou, F., Aggelousis, N., Gourgoulis, V., & Kambas, A. (2019). Enhancing Motor Competence and Physical Activity in Kindergarten. *Journal of Physical Activity and Health*, 16(3), 184-19
- Alpert, B., Field, T., Goldstein, S., & Perry, S. (1990). Aerobics enhances cardiovascular fitness and agility in preschoolers. *Health Psychology*, 9, 48-56.

- American Academy of Pediatrics, Committee on Sports Medicine and Fitness, & Committee on School Health. (2001). Organized sports for children and preadolescents. *Pediatrics*, *107*(6), 1459-1462.
- Araa, I., Vicente-Rodríguez, G., Moreno, L., A., Gutin, B., & Casajusa, J., A. (2009). Child obesity can be better reduced through vigorous physical activity rather than through energy intake restriction. *Apunts Sports Medicine*, *163*, 111-8.
- Bai, D., L., & Bertenthal, B., I. (1992). Locomotor Status and the Development of Spatial Search Skills. *Child Development*, *63*(1), 215-226.
- Barbeau, P., Johnson, M. H., Howe, C. A., Allison J., Davis, C. L., Gutin, B., & Lemmon, C. R. (2007). Ten months of exercise improves general and visceral adiposity, bone, and fitness in black girls. *Obesity (Silver Spring)*, *15*(8), 2077-85.
- Barnett, L., Hinkley, T., Okely, A. D., & Salmon, J. (2013). Child, family and environmental correlates of children's motor skill proficiency. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *16*(4), 332-6.
- Barnett, L. M., Stodden, D., Cohen, K. E., Smith, J. J., Lubans, D. R., Lenoir, M., ... & Lander, N. J. (2016). Fundamental movement skills: An important focus. *Journal of Teaching in Physical Education*, *35*(3), 219-225.
- Barnett, L. M., Van Beurden, E., Morgan, P. J., Brooks, L. O & Beard, J. R. (2008). Does childhood motor skill proficiency predict adolescent fitness? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *40*(12), 2137-2144.
- Barnett, L. M., Van Beurden, E., Morgan, P. J., Brooks, L. O., & Beard, J. R. (2009). Childhood motor skill proficiency as a predictor of adolescent physical activity. *Journal of Adolescent Health*, *44*(3), 252-259.
- Basso, J. C., Suzuki, & W. A. (2017). The effects of acute exercise on mood, cognition, neurophysiology and neurochemical pathways: a review. *Brain Plasticity*, *2*, 127-152.
- Beets, M. W., Bornstein, D., Dowda, M., & Pate, R. R. (2011). Compliance with national guidelines for physical activity in US preschoolers: measurement and interpretation. *Pediatrics*, *127*(4), 658.
- Berglind, D., & Tynelius, P. (2018). Objectively measured physical activity patterns, sedentary time and parent-reported screen-time across the day in four-year-old Swedish children. *BMC Public Health*, *18*(1), 69.

- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331-351.
- Biddle, S.J.H. (1993). Children, Exercise, and mental health. *International Journal of Sport Psychology*, 24(2), 200-16.
- Biddle, S.J.H. (2000). *Emotion, mood and physical activity*. In Physical activity and psychological well-being. Edited by S.J.H. Biddle, S.H. Boutcher, and K.R. Fox. London, UK.: Routledge.
- Binkley, T., & Specker B. (2004). Increased periosteal circumference remains present 12 months after an exercise intervention in preschool children. *Bone*, 35(6), 1383-1388.
- Birch, L. L., & Fisher, J. O. (1998). Development of eating behaviors among children and adolescents. *Pediatrics*, 101(Supplement 2), 539-549.
- Blair, S. N., Kampert, J. B., Kohl, H. W., Barlow, C. E., Macera, C. A., Paffenbarger, R. S., & Gibbons, L. W. (1996). Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *Jama*, 276(3), 205-210.
- Blair, S. N., Kohl, H. W., Paffenbarger, R. S., Clark, D. G., Cooper, K. H., & Gibbons, L. W. (1989). Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. *Jama*, 262(17), 2395-2401.
- Burdette, H. L., & Whitaker, R. C. (2005). Resurrecting free play in young children: looking beyond fitness and fatness to attention, affiliation, and affect. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 159(1), 46-50.
- Bürgi, F., Meyer, U., Granacher, U., Schindler, C., Marques-Vidal, P., Kriemler, & S., Puder, J., J. (2011). Relationship of physical activity with motor skills, aerobic fitness and body fat in preschool children: a cross-sectional and longitudinal study (Ballabeina). *International Journal of Obesity*, 35(7), 937-944.
- Calfas, K. J., & Taylor, W. C. (1994). Effects of physical activity on psychological variables in adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 6(4), 406-423.
- Campos, J. J., Anderson, D. I., Barbu-Roth, M. A., Hubbard, E. M., Hertenstein, M. J., & Witherington, D. (2000). Travel broadens the mind. *Infancy*, 1(2), 149-219.

- Canadian Paediatric Society (2017). Screen time and young children: Promoting health and development in a digital world. *Paediatrics & Child Health*, 22, 461–468.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., ... & Kramer, A. F. (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, 32(3), 249-256.
- Cliff, D. P., Okely, A. D., Smith, L. M., & McKeen, K. (2009). Relationships between fundamental movement skills and objectively measured physical activity in preschool children. *Pediatric Exercise Science*, 21(4), 436-449.
- Daly, R. M., & Petit, M. A. (Eds.). (2007). *Optimizing bone mass and strength: the role of physical activity and nutrition during growth* (Vol. 51). Karger Medical and Scientific Publishers.
- De Craemer, M., Lateva, M., Iotova, V., De Decker, E., Verloigne, M., De Bourdeaudhuij, I., & Koletzko, B. (2015). Differences in energy balancerelated-behaviours in European preschool children: the ToyBox-study. *PLoS ONE*, 10(3), e0118303.
- D'Hondt, E., Deforche, B., De Bourdeaudhuij, I., & Lenoir, M. (2009). Relationship between motor skill and body mass index in 5-to 10-year-old children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 26(1), 21-37.
- Dietz, W. H. (1997). Periods of risk in childhood for the development of adult obesity—what do we need to learn?. *The Journal of Nutrition*, 127(9), 1884S-1886S.
- Dolinsky, D. H., Brouwer, R. J. N., Østbye, T., Evenson, K. R., & Siega-Riz, A. M. (2011). Correlates of sedentary time and physical activity among preschool-aged children. *Preventing Chronic Disease*, 8(6), 1-14.
- Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B. J., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2014). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: an ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, 53-64.
- Dudley, D., Cairney, J., Wainwright, N., Kriellaars, D., & Mitchell, D. (2017). Critical considerations for physical literacy policy in public health, recreation, sport, and education agencies. *Quest*, 69(4), 436-452.

- Esteban-Cornejo, I., Cadenas-Sanchez, C., Contreras-Rodriguez, O., Verdejo-Roman, J., Mora-Gonzalez, J., Migueles, J. H., ... & Ortega, F. B. (2017). A whole brain volumetric approach in overweight/obese children: Examining the association with different physical fitness components and academic performance. The ActiveBrains project. *Neuroimage*, *159*, 346-354.
- Fisher, A., Reilly, J. J., Kelly, L. A., Montgomery, C., Williamson, A., Paton, J. Y., & Grant, S. (2005). Fundamental movement skills and habitual physical activity in young children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *37*(4), 684-688.
- Fitzgibbon, M. L., Stolley, M. R., Schiffer, L., Van Horn, L., KauferChristoffel, K., & Dyer, A. (2005). Two-year follow-up results for Hip-Hop to Health Jr.: a randomized controlled trial for overweight prevention in preschool minority children. *The Journal of Pediatrics*, *146*(5), 618-625.
- Forbes, T. A. & Gallo, V. (2017). All wrapped up: environmental effects on myelination. *Trends in Neuroscience* *40*(9), 572–587.
- Gallahue, D. (1996). *Developmental Physical Education for Today's Children*. Dubuque: Brown & Benchmark.
- Gallahue, D. & Ozmun, J. (1998). *Understanding Motor Development: Infants, Children, Adolescents, Adults*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Garcia, L., & Garcia, C. (2002). Dynamical development of self-esteem in young children. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *24*(Suppl.), S59.
- Ginsburg, K.R. (2007). Committee on Communications, Committee on Psychosocial Aspects of Child and Family Health, American Academy of Pediatrics. The importance of play in promoting healthy child development and maintaining strong parent-child bonds. *Pediatrics*, *119*(1), 182–191.
- Goodway, J. D., Ozmun, J. C., &Gallahue, D. L. (2019). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults*. Jones & Bartlett Learning.
- Gutin, B., Yin, Z., Johnson, M., & Barbeau, P. (2008). Preliminary findings of the effect of a 3-year after-school physical activity intervention on fitness and body fat: the Medical College of Georgia Fitkid Project. *International Journal of Pediatric Obesity*, *3*(sup1), 3-9.
- Hands, B., Larkin, D., Parker, H., Straker, L., & Perry, M. (2009). The relationship among physical activity, motor competence and health-related fitness

- in 14-year-old adolescents. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(5), 655-663.
- Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., Ekelund, U., & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet*, 380(9838), 247- 257.
- Hassapidou, M., Daskalou, E., Tsofliou, F., Tziomalos, K., Paschaleri, A., Pagkalos, I., & Tzotzas, T. (2015). Prevalence of overweight and obesity in pre-school children in Thessaloniki, Greece. *Hormones (Athens)*,14(4), 615-622.
- Hatzis, C. M., Papandreou, Ch., Vardavas, C. I., Athanasopoulos, D., Balomenaki, E., & Kafatos, A. G. (2012). Atherogenic risk factors among preschool children in Crete, Greece. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 16(5), 809-814.
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2019). *Life span motor development*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hinkley, T., Brown, H., Carson, V., & Teychenne, M. (2018). Cross sectional associations of screen time and outdoor play with social skills in preschool children. *PloS ONE*, 13(4), e0193700.
- Hinkley, T., Crawford, D., Salmon, J., Okely, A. D., & Hesketh, K. (2008). Pre-school children and physical activity: a review of correlates. *American Journal of Preventive Medicine*, 34(5), 435-441.
- Hinkley, T., Salmon, J., Okely, A. D., & Trost, S. G. (2010). Correlates of sedentary behaviours in preschool children: a review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7(1), 66.
- International Physical Literacy Association (IPLA) (2017). *Definition of physical literacy*. Ανακτήθηκε 1 Ιουνίου, 2017, από <https://www.physical-literacy.org.uk/>.
- Ireland, A., Rittweger, J., Schönau, E., Lamberg-Allardt, C., & Viljakainen, H. (2014). Time since onset of walking predicts tibial bone strength in early childhood. *Bone*, 68, 76-84.
- Ireland, A., Sayers, A., Deere, K. C., Emond, A., & Tobias, J. H. (2016). Motor competence in early childhood is positively associated with bone strength in late adolescence. *Journal of Bone and Mineral Research*, 31(5), 1089-1098.

- Janz, K. F., Levy, S. M., Burns, T. L., Torner, J. C., Willing, M. C., & Warren, J. J. (2002). Fatness, physical activity, and television viewing in children during the adiposity rebound period: the Iowa Bone Development Study. *Preventive Medicine*, 35(6), 563-571.
- Janz, K. F., Burns, T. L., Torner, J. C., Levy, S. M., Paulos, R., Willing, M. C., & Warren, J. J. (2001). Physical activity and bone measures in young children: the Iowa bone development study. *Pediatrics*, 107(6), 1387-1393.
- Kambas, A., Michalopoulou, M., Fatouros, I. G., Christoforidis, C., Manthou, E., Giannakidou, D., ... & Zimmer, R. (2012). The relationship between motor proficiency and pedometer-determined physical activity in young children. *Pediatric Exercise Science*, 24(1), 34-44.
- Kambas, A., Venetsanou, F., Avloniti, A., Giannakidou, D. M., Gourgoulis, V., Draganidis, D., & Michalopoulou, M. (2015). Pedometer determined physical activity and obesity prevalence of Greek children aged 4–6 years. *Annals of Human Biology*, 42(3), 233-238.
- Kourlaba, G., Kondaki, K., Liarigkovinos, T., & Manios, Y. (2009). Factors associated with television viewing time in toddlers and preschoolers in Greece: the GENESIS study. *Journal of Public Health*, 31(2), 222-230.
- Liu, J., Xiang, P., Lee, J., & Li, W. (2017). Developing physically literacy in K-12 physical education through achievement goal theory. *Journal of Teaching in Physical Education*, 36(3), 292-302.
- Lloyd, M., Saunders, T. J., Bremer, E., & Tremblay, M. S. (2014). Long-term importance of fundamental motor skills: A 20-year follow-up study. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 31(1), 67-78.
- Lobo, Y. B., & Winsler, A. (2006). The effects of a creative dance and movement program on the social competence of Head Start preschoolers. *Social Development*, 15(3), 501-19.
- Logan, K., & Cuff, S. (2019). Organized sports for children, preadolescents, and adolescents. *Pediatrics*, 143(6), e20190997.
- Lopes, V. P., Rodrigues, L. P., Maia, J. A., & Malina, R. M. (2011). Motor coordination as predictor of physical activity in childhood. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(5), 663-669.

- Loprinzi, P. D., Davis, R. E., & Fu, Y. C. (2015). Early motor skill competence as a mediator of child and adult physical activity. *Preventive Medicine Reports*, 2, 833-838.
- Lubans, D. R., Morgan, P. J., Cliff, D. P., Barnett, L. M., & Okely, A. D. (2010). Fundamental movement skills in children and adolescents. *Sports medicine*, 40(12), 1019-1035.
- Lundy, A., & Trawick-Smith, J. (2020). Effects of Active Outdoor Play on Pre-school Children's on-Task Classroom Behavior. *Early Childhood Education Journal*, 1-9.
- Madeira Firmino, N. (2015). *Bewegungsorientierte Sprachbildung in der frühen Kindheit – Eine empirische Studie zur bewegungsorientierten Sprachbildung im Krippenalltag unter Berücksichtigung familiärer Einbindung*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Madeira Firmino, N., Menke, R., Ruploh, B., & Zimmer, R. (2014). Beweigte Sprache im Kindergarten: Überprüfung der Effektivität einer alltagsorientierten Sprachförderung. *Forschung Sprache*, 2(1), 34-47.
- Mattson, M. P. (2004). Pathways towards and away from Alzheimer's disease. *Nature*, 430(7000), 631-639.
- Mead, E., Brown, T., Rees, K., Azevedo, L. B., Whittaker, V., Jones, D., ... & Beardsmore, E. (2017). Diet, physical activity and behavioural interventions for the treatment of overweight or obese children from the age of 6 to 11 years. *Cochrane Database System Review*, 22, 6(6).
- Merkel, D. L. (2013). Youth sport: positive and negative impact on young athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 4, 151.
- Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., & Puder, J. J. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): a cross-sectional and longitudinal study. *BMC pediatrics*, 11(1), 34.
- Oliver, M., Schofield, G. M., & Kolt, G. S. (2007). Physical activity in preschoolers. *Sports Medicine*, 37(12), 1045-1070.
- Owen, N., Healy, G. N., Matthews, C. E., & Dunstan, D. W. (2010). Too much sitting: the population-health science of sedentary behavior. *Exercise and sport sciences reviews*, 38(3), 105-113.

- Palmer, K. K., Miller, M. W., & Robinson, L. E. (2013). Acute exercise enhances preschoolers' ability to sustain attention. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 35*(4), 433-437.
- Parizkova, J. (1996). *Nutrition, physical activity, and health in early life*. Boca Rotan, Fla.: CRC Press.
- Patel, D. R., Pratt, H. D., & Greydanus, D. E. (2002). Pediatric neurodevelopment and sports participation. When are children ready to play sports?. *Pediatric Clinics of North America, 49*(3), 505-531.
- Pellegrini, A. D., & Smith, P. K. (1998). Physical activity play: The nature and function of a neglected aspect of play. *Child Development, 69*(3), 577-598.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International Universities Press.
- Platzer, W. S. (1976). Effect of perceptual motor training on gross motor skill and self-concept of young children. *American Journal of Occupational Therapy, 30*, 422-428.
- Purcell, L., Canadian Paediatric Society, & Paediatric Sports and Exercise Medicine Section. (2005). Sport readiness in children and youth. *Paediatrics & Child Health, 10*(6), 343-344.
- Reilly, J. J., Kelly, L., Montgomery, C., Williamson, A., Fisher, A., McColl, J. H., ... & Grant, S. (2006). Physical activity to prevent obesity in young children: cluster randomised controlled trial. *BMJ, 333*(7577), 1041.
- Rivlis, I., Hay, J., Cairney, J., Klentrou, P., Liu, J., & Faught, B. E. (2011). Physical activity and fitness in children with developmental coordination disorder: A systematic review. *Research in Developmental Disabilities, 32*(3), 894-910.
- Robinson, L. E., Stodden, D. F., Barnett, L. M., Lopes, V. P., Logan, S. W., Rodrigues, L. P., & D' Hondt, E. (2015). Motor competence and its effect on positive developmental trajectories of health. *Sports Medicine, 45*(9), 1273-1284.
- Rosenbaum, D. A., Carlson, R. A., & Gilmore, R. O. (2001). Acquisition of intellectual and perceptual-motor skills. *Annual Review of Psychology, 52*(1), 453-70.
- Sääkslahti, A., Numminen, P., Niinikoski, H., Rask-Nissilä, L., Viikari, J., Tuominen, J., & Välimäki, I. (1999). Is physical activity related to body size,

- fundamental motor skills, and CHD risk factors in early childhood?. *Pediatric Exercise Science*, 11(4), 327-340.
- Sampaio-Baptista, C., Khrapitchev, A. A., Foxley, S., Schlagheck, T., Scholz, J., Jbabdi, S., ... & Kleim, J. (2013). Motor skill learning induces changes in white matter microstructure and myelination. *Journal of Neuroscience*, 33(50), 19499-19503.
- Son, S. H., & Meisels, S. J. (2006). The relationship of young children's motor skills to later reading and math achievement. *Merrill-Palmer Quarterly (1982-)*, 755-778.
- Specker, B., & Binkley, T. (2003). Randomized trial of physical activity and calcium supplementation on bone mineral content in 3-to 5-year-old children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 18(5), 885-892.
- Spence, J. C., McGannon, K. R., & Poon, P. (2005). The effect of exercise on global self-esteem: A quantitative review. *Journal of sport and exercise psychology*, 27(3), 311-334.
- Stodden, D., & Goodway, J. D. (2007). The dynamic association between motor skill development and physical activity. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 78(8), 33-49.
- Stodden, D. F., Goodway, J. D., Langendorfer, S. J., Robertson, M. A., Rudisill, M. E., Garcia, C., & Garcia, L. E. (2008). A developmental perspective on the role of motor skill competence in physical activity: An emergent relationship. *Quest*, 60(2), 290-306.
- Tandon, P. S., Zhou, C., Lozano, P., & Christakis, D. A. (2011). Preschoolers' total daily screen time at home and by type of child care. *The Journal of Pediatrics*, 158(2), 297-300.
- Timmons, B. W., Naylor, P. J., & Pfeiffer, K. A. (2007). Physical activity for preschool children—how much and how?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32, 122-134.
- Tremblay, M. S., LeBlanc, A. G., Carson, V., Choquette, L., Connor Gorber, S., Dillman, C., ... & Kho, M. E. (2012). Canadian sedentary behaviour guidelines for the early years (aged 0–4 years). *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(2), 370-380.
- Trost, S. G., Sirard, J. R., Dowda, M., Pfeiffer, K. A., & Pate, R. R. (2003). Physical activity in overweight and nonoverweight preschool children. *International Journal of Obesity*, 27(7), 834-839.

- Trudeau, F., & Shephard, R. J. (2009). Relationships of Physical Activity to Brain Health and the Academic Performance of Schoolchildren. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 4(2), 138-150.
- Twisk, J. W. R., Kemper, H. C. G., & Van Mechelen, W. (2002). Prediction of cardiovascular disease risk factors later in life by physical activity and physical fitness in youth: general comments and conclusions. *International Journal of Sports Medicine*, 23(S1), 44-50.
- Vale, S. M. C. G., Santos, R. M. R., Soares-Miranda, L. M. D. C., Moreira, C. M. M., Ruiz, J. R., & Mota, J. A. S. (2010). Objectively measured physical activity and body mass index in preschool children. *International Journal of Pediatrics*, 2010.
- Van Praag, H. (2009). Exercise and the Brain: something to chew on. *Trends in Neuroscience*, 32(5), 283-290.
- Venetsanou, F., Emmanouilidou, K., Kouli, O., Bebetsos, E., Comoutos, N., & Kambas, A. (2020). Physical Activity and Sedentary Behaviors of Young Children: Trends from 2009 to 2018. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1645.
- Venetsanou, F., & Kambas, A. (2017). Can motor proficiency in preschool age affect physical activity in adolescence?. *Pediatric Exercise Science*, 29(2), 254-259.
- Venetsanou, F., Kambas, A., Gourgoulis, V., & Yannakoulia, M. (2019). Physical activity in pre-school children: Trends over time and associations with body mass index and screen time. *Annals of Human Biology*, 46(5), 393-399.
- Visek, A. J., Achrafi, S. M., Mannix, H. M., McDonnell, K., Harris, B. S., & DiPietro, L. (2015). The fun integration theory: toward sustaining children and adolescents sport participation. *Journal of Physical Activity and Health*, 12(3), 424-433.
- Voukia, C., Voutsina, I., Venetsanou, F., & Kambas, A. (2018). Child and parental physical activity: Is there an association with young children activity?. *Central European Journal of Public Health*, 26(2), 144-148.
- Warden, S. J., Fuchs, R. K., Castillo, A. B., Nelson, I. R., & Turner, C. H. (2007). Exercise when young provides lifelong benefits to bone structure and strength. *Journal of Bone and Mineral Research*, 22(2), 251-259.

- Warden, S. J., Galley, M. R., Hurd, A. L., Wallace, J. M., Gallant, M. A., Richard, J. S., & George, L. A. (2013). Elevated mechanical loading when young provides lifelong benefits to cortical bone properties in female rats independent of a surgically induced menopause. *Endocrinology*, *154*(9), 3178-3187.
- Webster, E. K., Martin, C. K., & Staiano, A. E. (2019). Fundamental motor skills, screen-time, and physical activity in preschoolers. *Journal of Sport and Health Science*, *8*(2), 114-121.
- Whitaker, R. C., Pepe, M. S., Wright, J. A., Seidel, K. D., & Dietz, W. H. (1998). Early adiposity rebound and the risk of adult obesity. *Pediatrics*, *101*(3), e5-e5.
- Whitehead, M., & Almond, L. (2014). Translating physical literacy into practical steps that can guide the practice of physical education. *Science & Sports*, *29*(1), 60-62.
- Williams, H. G., Pfeiffer, K. A., O'Neill, J. R., Dowda, M., McIver, K. L., Brown, W. H., & Pate, R. R. (2008). Motor skill performance and physical activity in preschool children. *Obesity*, *16*(6), 1421-1426.
- World Health Organization, WHO (2018). Physical activity fact sheet. Retrieved from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs385/en/>
- Yazegian N., & Peisner-Feinberg E. S. (2009). Effects of a preschool music and movement curriculum on children's language skills. *NHSA Dialog: A Research-to-practice Journal for the Early Childhood Field*, *12*(4), 327-41.
- Zachopoulou, E., Trevlas, E., Konstadinidou, E., & Archimedes Project Research Group. (2006). The design and implementation of a physical education program to promote children's creativity in the early years. *International Journal of Early Years Education*, *14*(3), 279-294.
- Zimmer, R., Christoforidis, C., Xanthi, P., Aggeloussis, N., & Kambas, A. (2008). The effects of a psychomotor training program on motor proficiency of Greek preschoolers. *European Psychomotricity Journal*, *1*(2), 3-9.
- Zimmer, R. (1980): „*Motorik und Persönlichkeitsentwicklung bei Kindern im vorschulischen Alter. Eine empirische Studie zum Zusammenhang motorischer, kognitiver, emotionaler und sozialer Variablen*“. Dissertation, Universität Osnabrück.

- Zimmer, R. (2007). *Εγχειρίδιο Κινητικής Αγωγής: Από τη θεωρία στην πράξη*. Αθήνα: Εκδόσεις Αθλότυπο.
- Zimmer, R. (2019). *Handbuch Sprache und Bewegung. Alltagsintegrierte Sprachbildung in der Kita*. Freiburg: VerlagHerder.
- Βενετσάνου, Φ. (2014). *Γυμνάζοντας παιδιά προσχολικής ηλικίας*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σάλτο.
- Καμπάς, Α. (2019). *Φυσική δραστηριότητα και Ψυχοκινητική στην προσχολική ηλικία*. Αθήνα: Gutenberg.

Επίδραση της άσκησης υψηλής έντασης σε παραμέτρους υγείας στην παιδική ηλικία

Γρηγόρης Μπογδάνης

Περίληψη

Η φυσική δραστηριότητα και η οργανωμένη άσκηση βελτιώνει τόσο το επίπεδο των φυσικών ικανοτήτων των παιδιών, όσο και την υγεία τους. Δυστυχώς, τα επιδημιολογικά στοιχεία δείχνουν ότι <50% των παιδιών 12-19 ετών είναι φυσικά δραστήρια, με αποτέλεσμα την αύξηση των υπέρβαρων και παχύσαρκων παιδιών και την αυξημένη συχνότητα μεταβολικών διαταραχών και άλλων προβλημάτων υγείας από πολύ μικρή ηλικία. Η συστηματική άσκηση μέτριας έως υψηλής έντασης επιφέρει πολλαπλά οφέλη σε παραμέτρους υγείας στον παιδικό πληθυσμό, ακόμα και εάν το σωματικό βάρος δεν μειωθεί σημαντικά. Ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών την τελευταία δεκαετία δείχνουν ότι με πολύ μικρότερο όγκο άσκησης (<20 min), η οποία εκτελείται διαλειμματικά σε υψηλή ένταση (HIIT), επιτυγχάνονται προσαρμογές που βελτιώνουν τη μεταβολική και καρδιαγγειακή υγεία και είναι εφάμιλλες με αυτές που επιτυγχάνονται με άσκηση μέτριας έντασης με πολύ μεγαλύτερη διάρκεια. Η HIIT στα παιδιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα δομημένο πρόγραμμα άσκησης (π.χ. 8-12 x 1 min έντονου τρεξίματος ή άσκησης σε κυκλοεργόμετρο ή ακόμα και κολύμβησης ή κυκλικής προπόνησης με ασκήσεις, με ισόχρονα διαλείμματα). Η αποτελεσματικότητα της προπόνησης HIIT για τη βελτίωση παραμέτρων που σχετίζονται με την υγεία βασίζεται κυρίως στην υψηλή ένταση, με την καρδιακή συχνότητα να ξεπερνά το 80% της μέγιστης. Η εφαρμογή προγραμμάτων HIIT σε παιδικούς και εφηβικούς πληθυσμούς, βελτιώνει το γλυκαιμικό έλεγχο (επίπεδα γλυκόζης και ινσουλίνης στην ηρεμία και μετά από γεύμα), μειώνει τα τριγλυκερίδια, τη ολική χοληστερόλη και την LDL, ενώ αυξάνει την HDL, μειώνει επίσης την αρτηριακή πίεση, τους παράγοντες φλεγμονής, το σωματικό λίπος και το ενδοκοιλιακό ή «σπλαχνικό» λίπος. Επίσης, η HIIT μειώνει τη χρόνια φλεγμονώδη κατάσταση ήπιας έντασης που παρατηρείται στην παιδική παχυσαρκία, μειώνει την

αρτηριακή πίεση, βελτιώνει την ενδοθηλιακή λειτουργία και αυξάνει την οστική πυκνότητα. Τέλος, η ΗΠΤ μπορεί να γίνει και με παιγνιώδη μορφή, μέσα από ομαδικά παιχνίδια, επιδρώντας θετικά σε ψυχολογικές παραμέτρους και σε γνωστικές λειτουργίες.

Φυσική δραστηριότητα και άσκηση

Η φυσική δραστηριότητα περιλαμβάνει όλες τις κινήσεις που γίνονται από το μυοσκελετικό σύστημα και απαιτούν ενέργεια. Με την έννοια αυτή, οποιαδήποτε κίνηση (π.χ. περπάτημα, ποδηλασία, παιχνίδι στο σχολείο και στη γειτονιά) χαρακτηρίζεται ως φυσική δραστηριότητα. **Η άσκηση/προπόνηση** είναι ένα υποσύνολο της φυσικής δραστηριότητας και περιλαμβάνει οργανωμένη, σχεδιασμένη και συστηματική φυσική δραστηριότητα σε συγκεκριμένη δοσολογία (ένταση, όγκος, συχνότητα), με κύριο στόχο τη βελτίωση μιας ή περισσότερων παραμέτρων της **φυσικής κατάστασης** (ACSM, 2010; Caspersen and Christenson, 1985). **Η φυσική κατάσταση (Physical fitness)** προσδιορίζεται ως μια ομάδα φυσιολογικών χαρακτηριστικών ή παραμέτρων, τα οποία **σχετίζονται είτε με την υγεία (health-related fitness), είτε με την αθλητική επιδεξιότητα (skill-related fitness)** (Πίνακας 1). Ως κανόνας, ισχύει ότι οι παράμετροι της φυσικής κατάστασης που σχετίζονται με την αθλητική επιδεξιότητα είναι σημαντικές για αθλητές, ενώ οι παράμετροι της φυσικής κατάστασης που σχετίζονται με την υγεία είναι σημαντικές για όλους, και είναι καλό να καλλιεργούνται από μικρές ηλικίες και να διατηρούνται σε καλό επίπεδο διά βίου (Pate, 1983). Όπως θα δούμε παρακάτω, η υποκινητικότητα και οι λανθασμένες διατροφικές συνήθειες στην παιδική ηλικία συμβάλλουν στη μείωση των παραμέτρων της φυσικής κατάστασης, με σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών αλλά και των μελλοντικών ενηλίκων.

Πίνακας 1. Παράμετροι της φυσικής κατάστασης που σχετίζεται με την υγεία (*health-related fitness*) και με τις αθλητικές επιδόσεις (*skill-related fitness*) (ACSM, 2010).

Παράμετροι της φυσικής κατάστασης που σχετίζονται με την υγεία (<i>health-related fitness</i>)	Παράμετροι της φυσικής κατάστασης που σχετίζονται με την αθλητική επιδεξιότητα (<i>skill-related fitness</i>).
Καρδιοαναπνευστική αντοχή	Ευκινησία
Σωματική σύσταση	Συντονισμός κινήσεων
Μυϊκή δύναμη	Ισορροπία
Μυϊκή αντοχή	Μυϊκή ισχύς
Ευλυγισία	Χρόνος αντίδρασης
	Ταχύτητα κίνησης

Επίπεδα έντασης φυσικής δραστηριότητας

Για να οριστεί ο απαιτούμενος όγκος και ένταση της άσκησης χρειάζεται η ποσοτικοποίησή τους με συγκεκριμένους έγκυρους και αξιόπιστους δείκτες. Η ένταση της φυσικής δραστηριότητας σχετίζεται άμεσα με τον όγκο της, δηλαδή το χρόνο που μπορεί αυτή να εκτελεστεί πριν επέλθει η κόπωση. Για τον προσδιορισμό της έντασης της φυσικής δραστηριότητας χρησιμοποιούνται δείκτες «απόλυτης έντασης», όπως είναι το μεταβολικό ισοδύναμο (MET) ή δείκτες «σχετικής έντασης» όπως είναι το ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ή της μέγιστης καρδιακής συχνότητας.

Χρήση του μεταβολικού ισοδύναμου

Η ένταση της φυσικής δραστηριότητας μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την έννοια του μεταβολικού ισοδύναμου (MET). Το μεταβολικό ισοδύναμο αντιστοιχεί σε 3.5 ml οξυγόνου (O₂) ανά κιλό σωματικού βάρους ανά λεπτό (1 MET = 3.5 ml/kg/min) ή σε περίπου 1 kcal ανά κιλό σωματικού βάρους ανά ώρα (1 MET = 1 kcal/kg/hour) (Gibson et al., 2019; Glass et al., 2007). Το Αμερικανικό Κολλέγιο Αθλητιατρικής (ACSM) και το κέντρο πρόληψης και ελέγχου ασθενειών των Η.Π.Α. (CDC), έχουν καθορίσει τρία επίπεδα φυσικής δραστηριότητας (ACSM, 2010):

- **Ήπια φυσική δραστηριότητα (light):** <3 MET ή 10,5 ml O₂/kg/min

- **Μέτρια φυσική δραστηριότητα (moderate):** 3-6 MET ή 10,5-21,0 ml O₂/kg/min
 - **Έντονη φυσική δραστηριότητα (vigorous):** >6 MET ή 21,0 ml O₂/kg/min
- Χαρακτηριστικά παραδείγματα ήπιας φυσικής δραστηριότητας είναι το αργό περπάτημα, μέτριας φυσικής δραστηριότητας είναι το έντονο περπάτημα (με ταχύτητα 5-7 km/h), η ιστιοπλοΐα και το ping-pong, ενώ έντονης φυσικής δραστηριότητας είναι το περπάτημα σε ανηφόρα, το jogging με ταχύτητες >8 km/h, το ποδήλατο, το ποδόσφαιρο και η κολύμβηση (Ainsworth et al., 2011).

Χρήση «σχετικών δεικτών» έντασης

Η ένταση της άσκησης μπορεί να προσδιοριστεί ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}) ή της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (%HR_{max}). Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται κατηγοριοποίηση της έντασης της άσκησης καθώς και η αντιστοιχία μεταξύ των ποσοστών %VO_{2max} και %HR_{max}. Η αντιστοιχία αυτή οποία διαφοροποιείται όσο η ένταση αυξάνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι τιμές %VO_{2max} και %HR_{max} να απέχουν πολύ στις χαμηλές εντάσεις και να πλησιάζουν πάρα πολύ στις υψηλότερες εντάσεις (Swain et al., 1994). Σημειώνεται ότι όσο καλύτερο είναι το επίπεδο αερόβιας ικανότητας του παιδιού, τόσο υψηλότερη είναι η απόλυτη ένταση (METs) της άσκησης.

Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση της έντασης της φυσικής δραστηριότητας ανάλογα με τα ποσοστά της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (%VO_{2max}) και της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (%HR_{max}) (ACSM, 2010; Swain et al., 1994).

Χαρακτηρισμός έντασης της άσκησης	%VO _{2max}	%HR _{max}
Πολύ χαμηλή	<20	<50
Χαμηλή	20–39	50–63
Μέτρια (moderate)	40–59	64–76
Έντονη (vigorous)	60–84	77–93
Πολύ έντονη	≥85	≥94
Μέγιστη	100	100

Προτεινόμενος στόχος για την καθημερινή φυσική δραστηριότητα των παιδιών

Το επίπεδο της φυσικής δραστηριότητας συνδέεται με το επίπεδο των φυσικών ικανοτήτων και της υγείας των παιδιών με σχέση δόσολογίας-απόκρισης (dose response). Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας, τόσο βελτιώνεται το επίπεδο της υγείας, μέχρι, φυσικά, ένα ανώτερο επίπεδο μετά το οποίο επέρχεται υπερπροπόνηση και υπερκόπωση (Eisenmann et al., 2011; Myer et al., 2016). Οι κατευθυντήριες γραμμές του Αμερικανικού Κολλεγίου Αθλητιατρικής (ACSM) για το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας των παιδιών περιλαμβάνουν καθημερινή φυσική δραστηριότητα διάρκειας τουλάχιστον 60-90 min σε μέτριο έως έντονο επίπεδο έντασης (moderate to vigorous activity) (Janssen, 2007; Janssen and LeBlanc, 2010).

Σε παιδιά που δεν είναι φυσικά δραστήρια, προτείνεται έναρξη με 30 min μέτριας φυσικής δραστηριότητας, με στόχο αυτό να αυξηθεί σε >90 min μέσα σε 5 μήνες. Τονίζονται τα παρακάτω σημαντικά σημεία (Janssen, 2007):

- **Η δραστηριότητα δεν χρειάζεται να είναι συνεχόμενη**, αλλά αρκούν περίοδοι άσκησης 5-10 min, οι οποίες αθροίζονται μέσα στην ημέρα έως ότου επιτευχθεί ο καθημερινός στόχος των 60-90 min
- Τα **90 min φυσικής δραστηριότητας επιμερίζονται ως 60 min μέτριας έντασης** (π.χ. έντονο περπάτημα, ποδήλατο) και **30 min έντονης άσκησης** (π.χ. τρέξιμο, ποδόσφαιρο, καλαθοσφαίριση).
- Προτείνεται **η συμμετοχή σε διαφορετικές δραστηριότητες**, οι οποίες να περιλαμβάνουν και ασκήσεις μυϊκής ενδυνάμωσης, ευλυγισίας και αλματικές ασκήσεις, ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα
- Προτείνεται **μείωση του χρόνου φυσικής «αδράνειας»** (καθιστικές δραστηριότητες), όπως είναι τα παιχνίδια στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και στο κινητό, η τηλεόραση και το internet.
- **Ακόμα και τα παιδιά ηλικίας 3-4 ετών θα πρέπει να είναι φυσικά δραστήρια** με χαμηλή έως μέτρια ένταση σε παιγνιώδη μορφή και σε διαφορετικά περιβάλλοντα που να τους δίνουν ερεθίσματα για 180 min την ημέρα, ενώ στην ηλικία των 5 ετών θα πρέπει να παίζουν ενεργητικά για τουλάχιστον 60 min (Tremblay et al., 2012)
- **Η χρήση βηματομετρητών** στα κινητά τηλέφωνα βοηθά στην καταγραφή της φυσικής δραστηριότητας των παιδιών. Συνιστώνται **12.000 και 15.000 βήμα-**

τα (ή ορθότερα έντονες κινήσεις, όπως π.χ. αναπηδήσεις) **την ημέρα, στα κορίτσια και τα αγόρια**, αντίστοιχα, για τη διατήρηση του σωματικού βάρους καθώς και της γενικότερης υγείας σε καλά επίπεδα (Tudor-Locke et al., 2004; Tudor-Locke and Bassett, 2004). Η αντιστοιχία βημάτων και χρόνου φυσικής δραστηριότητας είναι 16.500 βήματα ισοδυναμούν με 90 min φυσικής δραστηριότητας (Janssen, 2007)

Επιπτώσεις της υποκινητικότητας στην υγεία των παιδιών

Μια πλειάδα μελετών δείχνει ότι ένα μικρό ποσοστό των παιδιών επιτυγχάνει τους στόχους καθημερινής φυσικής δραστηριότητας των 60-90 min σε σχεδόν όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες. Για παράδειγμα, μόνο το 48,7% των παιδιών 12-19 ετών στον Καναδά είναι φυσικά δραστήρια για 30 min την ημέρα με την απαιτούμενη ένταση (Katzmarzyk and Tremblay, 2007).

Στατιστικά στοιχεία από μετρήσεις φυσικής δραστηριότητας σε αγόρια και κορίτσια ηλικίας 9-11 ετών σε 12 διαφορετικές χώρες (Charput et al., 2018; Katzmarzyk et al., 2015), δείχνουν ότι:

1. Σε χώρες όπου καταγράφηκε μειωμένος χρόνος φυσικής δραστηριότητας (<45 min), το ποσοστό παιδικής παχυσαρκίας ήταν υψηλό (π.χ. 24,6% των παιδιών ήταν παχύσαρκα). Αντίθετα, σε χώρες όπου καταγράφηκε αυξημένος χρόνος φυσικής δραστηριότητας (>70 min), το ποσοστό παιδικής παχυσαρκίας ήταν πολύ χαμηλό (π.χ. 5,2% των παιδιών ήταν παχύσαρκα). Αυτό αναδεικνύει τη σημαντικότητα της φυσικής δραστηριότητας στη διατήρηση του βάρους.
2. Υπάρχουν «κατώφλια» χρόνου φυσικής δραστηριότητας, πάνω από τα οποία μειώνεται η πιθανότητα παιδικής παχυσαρκίας. Τα «κατώφλια» αυτά προέκυψαν από ειδική στατιστική ανάλυση (receiver operating characteristic ή ROC curve analyses) και είναι:
 - Χρόνος μέτριας-προς έντονης άσκησης (moderate-to-vigorous physical activity-MVPA, ή 64-76% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας): τουλάχιστον 55 min την ημέρα
 - Χρόνος έντονης άσκησης (vigorous physical activity-VPA ή 77-93% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας): τουλάχιστον 14 min την ημέρα

Σημειώνεται ότι ο χρόνος που αφιερώνουν τα παιδιά σχολικής ηλικίας σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, tablets και τηλεόραση συνδέεται με

αντιστρόφως ανάλογη σχέση με το χρόνο φυσικής δραστηριότητας. Μελέτη στον Ελλαδικό χώρο έδειξε ότι παιδιά που αφιέρωναν λιγότερο από 1 ώρα την ημέρα «παίζοντας» σε οθόνες κινητών τηλεφώνων και tablets είχαν μεγαλύτερη φυσική δραστηριότητα (11.500 βήματα ή «κινήσεις» ανά ημέρα), σε σύγκριση με παιδιά που αφιέρωναν πάνω από 2 ώρες σε οθόνες (Venetsanou et al., 2019). Επίσης, η έρευνα αυτή ανέδειξε σημαντική αύξηση του ποσοστού υπέρβαρων και παχύσαρκων παιδιών από το 2005 έως το 2017 (από 29.3% σε 41.5% των παιδιών), η οποία συνδέονταν με μειωμένη φυσική δραστηριότητα και αυξημένο χρόνο σε οθόνες κινητών τηλεφώνων και tablets.

Σύμφωνα με δεδομένα του ερευνητικού προγράμματος «Hellenic National Action Plan for the Assessment, Prevention and Treatment of childhood obesity: actions for exercise and physical activity», το οποίο περιλάμβανε μετρήσεις σε περίπου 25.000 παιδιά σχολικής ηλικίας από όλη την Ελλάδα, το 37.7% των παιδιών του δημοτικού σχολείου δεν συμμετέχουν σε καμία οργανωμένη αθλητική δραστηριότητα, ενώ το ποσοστό αυτό αυξάνεται με την ηλικία, φτάνοντας στο 54.4% στους μαθητές γυμνασίου (Carayanni et al., 2020). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το μειωμένο χρόνο ελεύθερου παιχνιδιού στη γειτονιά (που σχεδόν εκλείπει στις μεγαλουπόλεις), και την «αποφυγή» του περπατήματος ειδικά από τα υπέρβαρα και παχύσαρκα παιδιά, συνθέτουν μια εικόνα που προδιαθέτει στην παχυσαρκία και στον αυξημένο καρδιομεταβολικό κίνδυνο. Η μελέτη αυτή έδειξε επίσης ότι τα αγόρια αφιερώνουν στατιστικά σημαντικά περισσότερο χρόνο από τα κορίτσια σε ελεύθερο παιχνίδι και αυτή η διαφορά είναι πολύ πιο μεγάλη στο γυμνάσιο απ' ό τι στο δημοτικό.

Τα παραπάνω ευρήματα, τα οποία προέρχονται από ένα μεγάλο δείγμα παιδιών στον Ελλαδικό χώρο κάνουν επιτακτική την ανάγκη της αύξησης της φυσικής δραστηριότητας για τη διατήρηση του βάρους σε υγιή επίπεδα και τη διασφάλιση της καλής υγείας στον παιδικό πληθυσμό. Αυξημένοι παράγοντες καρδιομεταβολικού κινδύνου στην παιδική ηλικία συνδέονται με περισσότερα προβλήματα υγείας στην ενήλικη ζωή.

Παιδική παχυσαρκία

Επιπολασμός παιδικής παχυσαρκίας στην Ελλάδα και στο εξωτερικό

Η παιδική παχυσαρκία είναι μια από τις πιο σοβαρές «επιδημικές καταστάσεις» του 21^{ου} αιώνα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών, ο αριθμός των παχύσαρκων παιδιών και εφήβων έχει δεκαπλασιαστεί, προκαλώντας σοβαρές βλάβες στην υγεία και την ευεξία των παιδιών, αλλά και των μελλοντικών ενηλίκων, αφού ο οργανισμός τους εκτίθεται στις βλαπτικές συνέπειες της παχυσαρκίας για πολλά χρόνια (Caprio et al., 2020; Kelishadi and Heidari-Beni, 2019). Είναι αξιοσημείωτο ότι η παιδική παχυσαρκία εμφανίζεται σε αυξημένα ποσοστά ακόμα και σε ηλικίες μικρότερες των 5 ετών (Narzisi and Simons, 2020). Τα ποσοστά υπέρβαρων ενηλίκων παγκοσμίως, ανέρχονται στο 40% του πληθυσμού, ενώ το 15% είναι παχύσαρκοι (World Health Organization, 2016). Το ποσοστό των υπέρβαρων και παχύσαρκων παιδιών παγκοσμίως είναι κατά μέσο όρο 20%, αλλά υπάρχουν χώρες όπως οι Η.Π.Α. και η χώρα μας, όπου τα ποσοστά είναι σημαντικά υψηλότερα (>30%) (Lobstein et al., 2015; Lobstein and Jackson-Leach, 2016; Magkos et al., 2005; Wang and Lobstein, 2006)

Δεδομένα μιας μεγάλης επιδημιολογικής μελέτης που έγινε στη χώρα μας το 2012-2013 (Hellenic Action Plan for the Assessment, Prevention and Treatment for Childhood Obesity), σε δείγμα >25.000 παιδιών ηλικίας 6-15 ετών, έδειξαν ότι το 26,0% των παιδιών ήταν υπέρβαρα, ενώ το 10,5% ήταν παχύσαρκα (σύνολο 36,5% των παιδιών), με τα υψηλότερα ποσοστά να παρατηρούνται στην Δ, Ε και ΣΤ τάξη του δημοτικού σχολείου (Karachaliou et al., 2018; Manios et al., 2016; Vlachopapadopoulou et al., 2015).

Επιπτώσεις της παιδικής παχυσαρκίας και υποκινητικότητας στην υγεία των παιδιών

Η υποκινητικότητα και η κακή διατροφή είναι υπεύθυνες όχι μόνο για την παιδική παχυσαρκία, αλλά και για την καρδιαγγειακή και μεταβολική υγεία των παιδιών. Για παράδειγμα, ο «καρδιαγγειακός κίνδυνος», δηλαδή η πιθανότητα να εμφανιστεί κάποιο καρδιαγγειακό πρόβλημα (π.χ. αθηροσκλήρωση, αυξημένη αρτηριακή πίεση), αυξάνεται έως και 2-3 φορές όσο μειώνεται το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας (Janssen, 2007). Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της φυσικής δραστηριότητας συνδέεται με τη βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας. Σημειώνε-

ται ότι τα καρδιαγγειακά και μεταβολικά προβλήματα που αναφέρονται (π.χ. αθηροσκλήρωση, αυξημένη αρτηριακή πίεση, προδιαβήτης) εμφανίζονται από την παιδική και εφηβική ηλικία σε παιδιά με μειωμένη φυσική δραστηριότητα και αυξημένο σωματικό βάρος (Kelishadi and Heidari-Beni, 2019; Leis et al., 2020; Lissak, 2018).

Μεταβολικό σύνδρομο στα παιδιά

Το μεταβολικό σύνδρομο χαρακτηρίζεται από τη συνύπαρξη πολλών παραγόντων καρδιαγγειακού κινδύνου σε ένα άτομο (Kassi et al., 2011). Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- **Δυσλιπιδαιμία**, δηλαδή αυξημένη συγκέντρωση τριγλυκεριδίων και χαμηλή συγκέντρωση λιποπρωτεϊνών υψηλής πυκνότητας- HDL)
- **Αρτηριακή υπέρταση**, δηλαδή αύξηση της συστολικής ή/και της διαστολικής αρτηριακής πίεσης
- **Αυξημένη συγκέντρωση γλυκόζης πλάσματος** σε κατάσταση νηστείας
- **Κοιλιακή παχυσαρκία**, δηλαδή αύξηση του ενδοσπλαχνικού λίπους

Οι συνέπειες του μεταβολικού συνδρόμου είναι κυρίως η στεφανιαία νόσος και ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2, ενώ κάποιες φορές παρατηρείται έναρξη εναπόθεσης λίπους στο συκώτι, η οποία μπορεί να εξελιχθεί σε «μη αλκοολική λιπώδης διήθηση στο ήπαρ» (NAFLD: non-alcoholic fatty liver disease) (Kassi et al., 2011)

Σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 και προδιαβήτης στα παιδιά

Ο Σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 και ο προδιαβήτης σε παιδικούς πληθυσμούς είναι στενά συνδεδεμένοι με την παχυσαρκία και με τη σωματική αδράνεια (Kulmala, 2003; Reinehr et al., 2009). Ο σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 χαρακτηρίζεται ως μη-ινσουλινοεξαρτώμενος και αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων του διαβήτη (περίπου το 90%), ενώ τα τελευταία χρόνια, ο ένας στους πέντε εφήβους διαγιγνώσκεται με προδιαβήτη (Rughani et al., 2020). Σημειώνεται ότι ο διαβήτης τύπου 2 και ο διαβήτης τύπου 1 (ινσουλινοεξαρτώμενος ή «νεανικός» διαβήτης) έχουν κοινό τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή αυξημένη συγκέντρωση γλυκόζης στο αίμα (υπεργλυκαιμία), αλλά προκαλούνται από διαφορετικούς μηχανισμούς. Στον διαβήτη τύπου 1, τα β-κύτταρα του παγκρέατος, τα οποία παράγουν ινσουλίνη, καταστρέφονται συνήθως λόγω κάποιων ιών ή αυτοάνοσων νοσημάτων ή γονιδιακών μεταλλάξεων, και έτσι δεν παράγεται ινσου-

λίνη την οποία πρέπει να λαμβάνει εξωγενώς εφ' όρου ζωής (Kulmala, 2003). Ο διαβήτης τύπου 2 συχνά συνδέεται με την παιδική παχυσαρκία και την έλλειψη άσκησης, ενώ και η κληρονομικότητα συμβάλλει στην εμφάνισή του στον παιδικό πληθυσμό (Newton et al., 2016; Rughani et al., 2020). Αξίζει να σημειωθεί ότι η παχυσαρκία της μητέρας, η οποία συνοδεύεται από υπερλιπιδαιμία, καθώς και ο διαβήτης κύησης, είναι σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι προδιαθέτουν το παιδί για διαβήτη τύπου 2, ενώ οι πρώτες 1000 μέρες της ζωής του είναι καθοριστικές για την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων για την πρόληψη του διαβήτη τύπου 2 (Rughani et al., 2020). Ο διαβήτης τύπου 2 χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό αυξημένης περιφερικής «αντίστασης στην ινσουλίνη», και μειωμένης έκκρισης ινσουλίνης, η οποία όμως στα αρχικά στάδια της νόσου εκκρίνεται κανονικά. Αυτό σημαίνει ότι τα μυϊκά, ηπατικά και λιπώδη κύτταρα δεν μπορούν να απορροφήσουν εύκολα τη γλυκόζη, με αποτέλεσμα την υπεργλυκαιμία, η οποία προκαλεί μεγαλύτερη έκκριση ινσουλίνης για να αντιμετωπιστεί από τον οργανισμό (Carpio et al., 2020). Το αρχικό στάδιο του διαβήτη τύπου 2, το οποίο χαρακτηρίζεται μόνο από αντίσταση στην ινσουλίνη και από μικρού βαθμού απορρόμηση του επιπέδου γλυκόζης ονομάζεται προδιαβήτης και μπορεί να διαρκέσει για αρκετούς μήνες ή ακόμα και έτη. Σε παιδιά ηλικίας 10-13 ετών η συχνότητα εμφάνισης του προδιαβήτη είναι 23.4% (Newton et al., 2016). Η αντίσταση των ιστών στην ινσουλίνη μπορεί να οφείλεται σε αυξημένα επίπεδα λιπαρών οξέων και φλεγμονωδών κυτταροκινών στο αίμα (χρόνια φλεγμονή «χαμηλού βαθμού»), ενώ σε κυτταρικό επίπεδο, η δυσλειτουργία των μιτοχονδρίων, το υψηλό οξειδωτικό στρες και η «λιποτοξικότητα», λόγω αυξημένης συγκέντρωσης κηραμιδίων, συνδέονται με το διαβήτη τύπου 2 (Rovira-Llopis et al., 2017).

Για την αντιμετώπιση του προδιαβήτη, αλλά και του σακχαρώδους διαβήτη τύπου 2, κεντρικό ρόλο διαδραματίζει η άσκηση και η απώλεια βάρους. Είναι γεγονός ότι σε ένα μεγάλο ποσοστό, το οποίο φτάνει το 80% των ασθενών με διαβήτη τύπου 2, η μεγάλη απώλεια βάρους και η συστηματική άσκηση συντελούν σε σημαντική υποχώρηση των συμπτωμάτων του διαβήτη τύπου 2 και του προδιαβήτη (Magkos et al., 2020).

Οι συστάσεις της Αμερικανικής Διαβητολογικής Εταιρείας (ADA) (Colberg et al., 2016) περιλαμβάνουν το συνδυασμό άσκησης μυϊκής ενδυνάμωσης με αερόβια άσκηση, ώστε να επιτευχθούν:

1. **Μειωμένα επίπεδα γλυκόζης νηστείας** για περίπου 24 ώρες μετά την άσκηση, αλλά και με την πάροδο του προγράμματος άσκησης
2. **Μείωση του καρδιαγγειακού κινδύνου** λόγω μείωσης του σπλαχνικού λίπους
3. **βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ** (μικρή μείωση της LDL-«κακής»- χοληστερόλης και μικρή αύξησης της HDL-«καλής» χοληστερόλης).
4. **Βελτίωση της «ελαστικότητας» των αρτηριών**
5. **Αύξηση της οστικής πυκνότητας** κυρίως μέσω πλειομετρικών ασκήσεων, στις οποίες εφαρμόζονται υψηλές συμπιεστικές δυνάμεις στα οστά (Gomez-Bruton et al., 2017). Παραδόξως, τα παιδιά προεφηβικής ηλικίας με προδιαβήτη εμφανίζουν μειωμένη οστική πυκνότητα σε σύγκριση με παιδιά κανονικού βάρους, παρά το γεγονός ότι η φόρτιση του σκελετικού συστήματος είναι υψηλότερη, λόγω του αυξημένου βάρους (Pollock et al., 2010). Αυτό εξηγείται πιθανότατα με την αυξημένη «χρόνια φλεγμονή χαμηλής έντασης» και την «κοιλιακή παχυσαρκία», καθώς και με διαταραχές στη λειτουργία των οστεοβλαστών, το μεταβολισμό της βιταμίνης D και του ασβεστίου, όπως και με την επίδραση της λεπτίνης στην οστική πυκνότητα (Pollock et al., 2010).
6. **Αύξηση της ευαισθησίας των ιστών στην ινσουλίνη**, για τις επόμενες 24-48 ώρες, λόγω της αυξημένης κινητοποίησης και δράσης των μεταφορέων γλυκόζης (GLUT-4) στους μυς. Η απώλεια ενδοκυτταρικού λίπους και η **αύξηση των μιτοχονδρίων** μέσω της συστηματικής δίαιτας και αερόβιας άσκησης συντελεί επίσης στην αυξημένη απορρόφηση γλυκόζης από τα μυϊκά κύτταρα (Gemnick et al., 2020).

Η σημασία της λειτουργικότητας των μιτοχονδρίων για την πρόληψη και την αντιμετώπιση του σακχαρώδους διαβήτη τύπου 2 σε παιδιά και νέους έχει τονιστεί σε πολλές μελέτες (Gordon et al., 2015; Hawley and Gibala, 2009). Αυτό συμβαίνει γιατί η μείωση της λειτουργικότητας των μιτοχονδρίων σε νεαρά, αλλά και σε ενήλικα άτομα, έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη ικανότητα μεταφοράς και διαχείρισης της γλυκόζης στα μυϊκά κύτταρα και τον «αποσυντονισμό» της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης (Makrecka-Kuka et al., 2020; Weijers, 2020). Η συστηματική φυσική δραστηριότητα και ιδιαίτερα η άσκηση με τον κατάλληλο όγκο και ένταση, συμβάλλει με πολλούς τρόπους στη βελτίωση της διαχείρισης της γλυκόζης από τα μυϊκά κύτταρα, με έναν σημαντικό μηχανισμό να αποτελεί η μιτοχονδριακή βιογένεση, δηλαδή η αύξηση του αριθμού των μιτοχονδρίων και ορισμένων μιτοχονδριακών πρωτεϊνών (Granata et al., 2016; Little et al., 2011a).

Η επιστημονική «διαμάχη» για το ποια άσκηση (διαλειμματική υψηλής έντασης ή συνεχόμενη μέτριας έντασης) είναι αποτελεσματικότερη για την αύξηση του όγκου και της λειτουργικότητας των μιτοχονδρίων, έχει αναδείξει ότι και οι δύο μορφές άσκησης είναι αποτελεσματικές (Bishop et al., 2019; MacInnis et al., 2019). Όμως η χαμηλού όγκου, μικρής διάρκειας έντονη άσκηση διεγείρει τη μιτοχονδριακή βιογένεση στους σκελετικούς μυς από την πρώτη συνεδρία άσκησης, επιτυγχάνοντας το επιθυμητό αποτέλεσμα σε συντομότερο χρόνο, αφιερώνοντας μόνο 20 min τη φορά, 3 ημέρες την εβδομάδα στην άσκηση (Cochran et al., 2014; Little et al., 2011b, 2010). Ο μηχανισμός της επίδρασης της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης (HIIT) σε μεταβολικές και φυσιολογικές παραμέτρους που σχετίζονται με την υγεία αναλύεται στην επόμενη υποενότητα.

Επίδραση της φυσικής δραστηριότητας στην παιδική παχυσαρκία και στην υγεία των παιδιών

Ο βαθμός της θετικής επίδρασης προγραμμάτων άσκησης στο σωματικό βάρος, στη σωματική σύσταση και σε παραμέτρους υγείας, είναι σε άμεση συνάρτηση με την «δοσολογία» της άσκησης, δηλαδή τον όγκο και την έντασή της. Για τους ενήλικες, τα οφέλη στην υγεία είναι μεγάλα, ακόμα και με μικρή αύξηση του χρόνου φυσικής δραστηριότητας σε άτομα που δεν ασκούνται ή ασκούνται λίγο (Kesaniemi et al., 2001). Όμως, όσο πιο γυμνασμένο είναι το άτομο, η περαιτέρω αύξηση της φυσικής δραστηριότητας δεν επιφέρει ανάλογα μεγάλα οφέλη. Στα παιδιά, υπάρχει σημαντικά μικρότερος αριθμός μελετών σχετικά με την επίδραση της φυσικής δραστηριότητας σε παραμέτρους υγείας, σε σύγκριση με τους ενήλικες. Όμως, τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον των ερευνητών εστιάζεται και στα παιδιά, διότι ένα υγιές παιδί έχει περισσότερες πιθανότητες να εξελιχθεί σε υγιή ενήλικα και το αντίθετο, δηλαδή πολλές ασθένειες και προβλήματα υγείας ξεκινούν από την παιδική ηλικία (Andersen et al., 2006; Ho et al., 2014). Για παράδειγμα, φαίνεται ότι υπάρχει σχέση μεταξύ του επιπέδου φυσικής δραστηριότητας μέτριας-έως υψηλής έντασης (MVPA) και ποσοστού παχυσαρκίας ακόμα και στην παιδική ηλικία (Lohman et al., 2006; Ness et al., 2007).

Επιπλέον, το επίπεδο της φυσικής δραστηριότητας των παιδιών συσχετίζεται θετικά και με τη μείωση παραγόντων καρδιαγγειακού κινδύνου, όπως είναι η αυξημένη συστολική αρτηριακή πίεση, η συγκέντρωση των τριγλυκεριδίων, η χο-

ληστερόλη HDL, το ποσοστό λίπους και η αερόβια ικανότητα. Σε μια συγχρονική μελέτη (cross-sectional study) σε 1732 παιδιά ηλικίας 9-15 ετών από τρεις χώρες (Δανία, Εσθονία, Πορτογαλία), βρέθηκε ότι τα 60 min φυσικής δραστηριότητας που συστήνονται στα παιδιά δεν είναι αρκετά για να μειωθούν οι παράγοντες καρδιαγγειακού κινδύνου. Συνεπώς, πρότειναν ότι χρειάζεται περισσότερος χρόνος (>100 min) μέτριας-έως έντονης φυσικής δραστηριότητας ή/και άσκηση υψηλότερης έντασης, ώστε να διασφαλιστούν τα οφέλη στην υγεία. Σημειώνεται ότι τα οφέλη της φυσικής δραστηριότητας με τη μορφή συστηματικής άσκησης επιτυγχάνονται ακόμα και αν το σωματικό βάρος και λίπος δεν μειωθούν.

Πολλές μελέτες δείχνουν ότι η μείωση του βάρους και του λίπους μετά από ένα πρόγραμμα αερόβιας προπόνησης δεν είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να βελτιωθούν μεταβολικοί και καρδιαγγειακοί παράγοντες που σχετίζονται με την υγεία, όπως για παράδειγμα το λιπιδαιμικό προφίλ και η «ευαισθησία των ιστών στην ινσουλίνη» (Andersen et al., 2006; Nassis et al., 2005). Συνεπώς, η συστηματική αερόβια προπόνηση σε υπέρβαρα και παχύσαρκα παιδιά βελτιώνει τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και την ευαισθησία στην ινσουλίνη, χωρίς να αλλάξει απαραίτητα το σωματικό βάρος και το λίπος (Silva et al., 2016). Αυτές οι μελέτες αναδεικνύουν τη **σημασία της φυσικής δραστηριότητας και του μοντέλου “fit and fat”**, όπου ένα παιδί που είναι ελαφρά υπέρβαρο (όχι παχύσαρκο) αλλά φυσικά δραστήριο είναι πιθανόν να έχει καλύτερο προφίλ καρδιαγγειακού κινδύνου σε σύγκριση με ένα παιδί κανονικού βάρους που δεν ασκείται καθόλου και κάνει καθιστική ζωή.

Η προοπτική να επιτευχθούν οφέλη στην υγεία με άσκηση υψηλότερης έντασης και πολύ μικρότερου όγκου και συχνότητας προπόνησης, είναι πολύ δημοφιλής την τελευταία δεκαετία (Gibala et al., 2012; Hawley and Gibala, 2012; MacInnis and Gibala, 2017a). Ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός μελετών δείχνει ότι με πολύ μικρότερο όγκο άσκησης (<20 min), η οποία εκτελείται διαλειμματικά σε υψηλή ένταση, είναι δυνατόν να επιτευχθούν προσαρμογές που βελτιώνουν τη μεταβολική και καρδιαγγειακή υγεία και είναι εφάμιλλες με αυτές που επιτυγχάνονται με άσκηση μέτριας έντασης με πολύ μεγαλύτερη διάρκεια (π.χ. 40 min) (Burgomaster et al., 2005; Hawley and Gibala, 2009; Hood et al., 2011).

Διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης

Ορισμός και είδη διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης

Ως διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης (high intensity interval training ή HIIT) ονομάζεται η άσκηση που περιλαμβάνει έντονες προσπάθειες μικρής (10 s) έως μέτριας διάρκειας (4-6 min), με ένταση η οποία προκαλεί αύξηση της καρδιακής συχνότητας >80% της μέγιστης, ανάμεσα στις οποίες παρεμβάλλονται σύντομες περίοδοι άσκησης χαμηλής έντασης ή απόλυτης αδράνειας (Gibala et al., 2009). Λόγω της υψηλής έντασης και της σημαντικής συμμετοχής του αναερόβιου μεταβολισμού (ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης), ο συνολικός όγκος προπόνησης που εκτελείται είναι πολύ χαμηλότερος σε σύγκριση με τη συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης, η οποία έχει ένταση 60-80% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας.

Η HIIT είναι μια μορφή έντονης άσκησης η οποία είναι γνωστή και έχει χρησιμοποιηθεί από αθλητές τα τελευταία 100 χρόνια (Billat, 2001). Όμως, τα τελευταία 15 χρόνια έχει επανέλθει στο προσκήνιο λόγω μιας σειράς επιστημονικών ερευνών, οι οποίες δείχνουν ότι η επαναλαμβανόμενη έντονη άσκηση, ακόμα και με τη μορφή sprints, χαρακτηρίζεται από αυξανόμενη συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού (Bogdanis, 2012; Bogdanis et al., 1996) και είναι επιφέρει γρήγορες και μεγάλου βαθμού προσαρμογές στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, την οξειδωτική ικανότητα των μυών, του αριθμού και του μεγέθους των τριχοειδών αγγείων και των μιτοχονδρίων, καθώς και σε μια σειρά μεταβολικών προσαρμογών που συμβάλλουν στην προαγωγή της υγείας (Kemi and Wisloff, 2010; Little et al., 2010; MacInnis and Gibala, 2017b; Martins et al., 2017).

Με βάση την ένταση και τη διάρκεια των περιόδων άσκησης, η διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης **μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο είδη:**

- την **διαλειμματική προπόνηση με ένταση 85-100% VO_{2max}** και διάρκεια προσπαθειών 1-4 min (HIIT)
- την **διαλειμματική προπόνηση με ένταση μεγαλύτερη από τη VO_{2max} (105-200% VO_{2max})** και διάρκεια προσπαθειών 10-30 s, η οποία ονομάζεται και sprint interval training (SIT), στην περίπτωση όπου εκτελούνται επαναλαμβανόμενα sprints.

Στον παιδικό πληθυσμό έχουν χρησιμοποιηθεί και τα δύο είδη διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης, αλλά οι μελέτες σε σχολικό περιβάλλον χρησιμοποι-

ούν κατά κανόνα εντάσεις 80-130% $\text{VO}_{2\text{max}}$, με διάρκεια προσπάθειών από 30 s έως και 4 min, με συνηθέστερη τη διάρκεια των 30-60 s (Huerta Ojeda et al., 2017; Khalafi and Symonds, 2020; Morris et al., 2018). Η ΗΠΤ στα παιδιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα δομημένο πρόγραμμα άσκησης (π.χ. 8-12 x 1 min έντονου τρεξίματος ή άσκησης σε κυκλοεργόμετρο ή ακόμα και κολύμβησης ή κυκλικής προπόνησης με ασκήσεις, με ισόχρονα διαλείμματα) (Kunz et al., 2019; Sperlich et al., 2010).

Σε αθλητικό περιβάλλον, η ΗΠΤ σε παιδιά και εφήβους μπορεί να περιλαμβάνει πρωτόκολλα με δομή 10-10 s ή 15-15 s, 30-30 s και 60-60, τα οποία προέρχονται από μελέτες σε αθλητές αντοχής (Billat, 2001) ή περιόδους έντονης άσκησης (>85% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας) με διάρκεια 4 min, που εκτελούνται 3-5 φορές και χρησιμοποιούνται συχνά ως συμπληρωματική ή εξειδικευμένη προπόνηση αντοχής στο ποδόσφαιρο.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι άσκησης ΗΠΤ προκαλούν καρδιοαναπνευστικές και μεταβολικές προσαρμογές που προάγουν την σωματική απόδοση αλλά και την υγεία. Οι προσαρμογές αυτές αναλύονται στη συνέχεια.

Καρδιοαναπνευστικές και μεταβολικές προσαρμογές

Σε σύγκριση με τους ενήλικες, τα παιδιά, ιδίως πριν την εφηβεία (ηλικίας <10-11 ετών) διαφέρουν από τους ενήλικες ως προς το φυσιολογικό και μεταβολικό τους προφίλ κατά την άσκηση. Μάλιστα, κάποιοι ερευνητές παρομοίωσαν τα παιδιά προεφηβικής ηλικίας με αθλητές αντοχής υψηλού επιπέδου, λόγω του μεταβολικού τους προφίλ, χωρίς όμως αυτό να αντιστοιχεί σε ίδιες επιδόσεις ή αερόβια ικανότητα (Ratel and Blazevich, 2017). Το μεταβολικό προφίλ των παιδιών έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Μεγάλο ποσοστό ινών βραδείας σύσπασης (63-69% σε παιδιά έως 13 ετών)
2. Υψηλή οξειδωτική ικανότητα των μυών (πυκνότητα μιτοχονδρίων και οξειδωτικά ένζυμα)
3. Γρήγορη κινητική οξυγόνου και καρδιακής συχνότητας, η οποία μειώνει το «έλλειμμα οξυγόνου» και συνεπώς την αναερόβια συμμετοχή
4. Χαμηλή παραγωγή και συγκέντρωση γαλακτικού σε υψηλές εντάσεις
5. Γρήγορη αποκατάσταση καρδιακής συχνότητας, απομάκρυνση γαλακτικού από το αίμα και ανασύνθεση φωσφοκρεατίνης

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, είναι φανερό ότι η ΗΠΤ στα παιδιά δεν χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού, αλλά από υψηλή συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού (Bogdanis et al., 1996; Tsolakis and Bogdanis, 2012). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκτέλεση των επαναλαμβανόμενων προσπαθειών χωρίς κόπωση (Bogdanis, 2012; Ratel and Blazevich, 2017; Salagas et al., 2019), γεγονός που καθιστά την ΗΠΤ ως μια εύχρηστη και αποδοτική μορφή άσκησης για τα παιδιά, η οποία επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις και σε παραμέτρους υγείας.

Σημειώνεται ότι η συμμετοχή του αναερόβιου γαλακτικού μηχανισμού στην ενεργειακή δαπάνη κατά την ΗΠΤ αυξάνεται σταδιακά από την παιδική, στην εφηβική ηλικία, και μεγιστοποιείται στην ενηλικίωση (Ratel et al., 2003; Tonson et al., 2010).

Χαρακτηριστικά προπόνησης ΗΠΤ για τη βελτίωση παραμέτρων υγείας

Η αποτελεσματικότητα της προπόνησης ΗΠΤ για τη βελτίωση παραμέτρων που σχετίζονται με την υγεία βασίζεται κυρίως στην υψηλή ένταση. Για παράδειγμα, για τη βελτίωση της VO_{2max} απαιτείται ένταση που αντιστοιχεί με καρδιακή συχνότητα $>80\%$ της μέγιστης (Armstrong and Barker, 2011). Η συχνότητα αυτού του είδους προπόνησης πρέπει να κυμαίνεται από 2-3 φορές την εβδομάδα (Rowland, 2015).

Ενδεικτικά πρωτόκολλα ΗΠΤ, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικές μορφές άσκησης (π.χ. τρέξιμο, άσκηση σε κυκλοεργόμετρο ή κολύμβηση) είναι:

- 15 s άσκηση με ένταση που αντιστοιχεί σε 100-130% της VO_{2max} , εναλλασσόμενη με 15 s αποκατάσταση
- 2-4 min, με ένταση 85-100% της VO_{2max} με διάλειμμα 1-3 min

Σημειώνεται ότι η άσκηση υψηλής έντασης με στόχο τη βελτίωση της υγείας μπορεί να εφαρμόζεται και μέσα από προγράμματα άσκησης με ομαδικά αθλήματα, όπως είναι το ποδόσφαιρο και η καλαθοσφαίριση (Cooper et al., 2016). Είναι αξιοσημείωτο ότι αρκεί ένα οργανωμένο παιχνίδι ποδοσφαίρου «μικρών χώρων» διάρκειας 12 min καθημερινά στην ώρα του διαλείμματος (5 ημέρες την εβδομάδα) για 10 μήνες, ώστε να επιτευχθούν προσαρμογές που βελτιώνουν την υγεία, όπως μείωση της αρτηριακής πίεσης και της καρδιοαναπνευστικής αντοχής (Larsen et al., 2020). Επίσης, μια πολύ αποτελεσματική μορφή άσκησης η οποία

βελτιώνει κυρίως μυοσκελετικές παραμέτρους υγείας, αλλά και την καρδιοαναπνευστική ικανότητα είναι η κυκλική προπόνηση, η οποία μπορεί να εκτελεστεί εύκολα και στο σχολικό περιβάλλον (Engel et al., 2019; Faigenbaum et al., 2019, 2016; Giannaki et al., 2016).

Πολύ ενδιαφέροντα, από πρακτικής άποψης, είναι τα ευρήματα από μελέτες όπου εξετάζεται η μια μορφή διαλειμματικής άσκησης μέσα από καθημερινές κινήσεις του ατόμου που γίνονται 3-4 φορές την ημέρα, όπως για παράδειγμα το ανέβασμα σκάλας (Stamatakis et al., 2019). Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η εκτέλεση 3-5 «σποραδικών προσπαθειών» διάρκειας 20-30 s (π.χ. ανέβασμα σκαλών τριών ορόφων) που γίνονται κάθε 1-4 ώρες για 3-6 ημέρες την εβδομάδα, έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση παραμέτρων υγείας, όπως είναι η VO_{2max} κατά 5% σε αγύμναστα άτομα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η παροδική «μυϊκή βλάβη» και ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος μετά από έντονη μυϊκή (και ιδιαίτερα έκκεντρη) άσκηση των κάτω άκρων, είναι κατά πολύ μικρότερα στα παιδιά και στους εφήβους σε σύγκριση με τους ενήλικες (Chen et al., 2014). Αυτό σημαίνει ότι οι μυς των παιδιών θα «πιαστούν» πολύ λιγότερο μετά από έντονη άσκηση με μεγάλη επιβάρυνση, ενώ όσο αυξάνεται η ηλικία (εφηβεία και ενηλικίωση), το μυϊκό «πιάσιμο» για αντίστοιχη άσκηση αυξάνεται.

Επιδράσεις της διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης στην υγεία των παιδιών

Σακχαρώδης διαβήτης – έλεγχος γλυκαιμίας

Μελέτες της τελευταίας δεκαετίας δείχνουν ότι η προπόνηση με ΗΠΤ σε ενήλικες επιφέρει σημαντική μείωση των επιπέδων γλυκόζης νηστείας, αλλά και των επιπέδων γλυκόζης και ινσουλίνης κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας, με πολύ μικρό χρόνο προπόνησης (3 φορές την εβδομάδα από <20 min τη φορά), μέσα σε 2-6 εβδομάδες (Hawley and Gibala, 2012; Vézina et al., 2012).

Ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός μελετών δείχνει ότι σε παιδικούς και εφηβικούς πληθυσμούς, η ΗΠΤ βελτιώνει το γλυκαιμικό έλεγχο (επίπεδα γλυκόζης και ινσουλίνης στην ηρεμία και μετά από γεύμα), μειώνει τα τριγλυκερίδια, τη ολική χοληστερόλη και την LDL ενώ αυξάνει την HDL, μειώνει επίσης την αρτηριακή πίεση, τους παράγοντες φλεγμονής, το σωματικό λίπος και το ενδοκοιλιακό ή «σπλαχνικό» λίπος (Cockcroft et al., 2015; Cooper et al., 2016; Eddolls et al.,

2017; García-Hermoso et al., 2019; Tolfrey et al., 2014). Οι προσαρμογές αυτές συμβάλλουν στην προαγωγή της υγείας στα παιδιά και μειώνουν τις πιθανότητες να υποφέρουν από τέτοιες μεταβολικές διαταραχές στην ενήλικη ζωή τους.

Οι ευεργετικές επιδράσεις της ΗΠΤ στον γλυκαιμικό έλεγχο οφείλονται στις μεταβολικές προσαρμογές που προκαλεί η αερόβια προπόνηση αυτού του είδους, οι οποίες αυξάνουν την ευαισθησία των ιστών στην ινσουλίνη, ακόμα και αν το παιδί δεν χάσει βάρος ή δεν βελτιώσει την αερόβια του ικανότητα (VO_{2max}) (Bird and Hawley, 2017). Σημειώνεται ότι η αύξηση του αριθμού, του όγκου και της λειτουργικότητας των μιτοχονδρίων βελτιώνει όχι μόνο την αερόβια ικανότητα (VO_{2max}), αλλά επίσης ρυθμίζει το επίπεδο γλυκόζης και τον μεταβολισμό των λιπιδίων (Gibala et al., 2012; Gibala and Hawley, 2017).

Ο συνδυασμός ΗΠΤ και αερόβιας συνεχόμενης προπόνησης μέτριας έντασης, όταν αυτές εναλλάσσονται στις προπονητικές ημέρες, επιφέρει μεγαλύτερη μείωση σε παραμέτρους που σχετίζονται με τον γλυκαιμικό έλεγχο και το μεταβολικό σύνδρομο, όπως τα επίπεδα γλυκόζης στη νηστεία και η περιφέρεια της μέσης (κεντρική παχυσαρκία) στα παιδιά (van Biljon et al., 2018).

Λιπιδαιμικό προφίλ

Η βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ περιλαμβάνει:

1. μείωση της **ολικής χοληστερόλης**
2. **αύξηση της χοληστερόλης υψηλής πυκνότητας** (High Density Lipoprotein ή HDL) η οποία χαρακτηρίζεται ως «καλή», διότι συμβάλλει στην καλή υγεία των αγγείων απομακρύνοντας χοληστερόλη από αυτά
3. **μείωση της χοληστερόλης χαμηλής πυκνότητας** (Low Density Lipoprotein ή LDL) η οποία χαρακτηρίζεται ως «κακή», διότι μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες χοληστερόλης, οι οποίες βλάπτουν τα αγγεία
4. **μείωση των τριγλυκεριδίων** στην κατάσταση νηστείας

Ένας διαρκώς αυξανόμενος αριθμός μελετών δείχνει ότι η ΗΠΤ είναι εξίσου αποδοτική σε παιδιά και εφήβους ως προς τη βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ, επιτυγχάνοντας μειώσεις στην ολική χοληστερόλη και στην LDL και στα τριγλυκερίδια, ιδίως σε υπέρβαρα παιδιά (Bond et al., 2017; Eddolls et al., 2017; García-Hermoso et al., 2019)

Μεταγευματική λιπιδαιμία

Ως μεταγευματική λιπιδαιμία ορίζεται η αύξηση της συγκέντρωσης τριγλυκεριδίων για 4-6 ώρες μετά την κατανάλωση ενός γεύματος (συνήθως λιπαρού). Τα αυξημένα μεταγευματικά επίπεδα τριγλυκεριδίων θεωρούνται ως ένας παράγοντας καρδιαγγειακού κινδύνου, οπότε είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η άσκηση ως μέσον μείωσης της (Cooper et al., 2016). Η μείωση της μεταγευματικής λιπιδαιμίας αποτελεί σημαντική παρέμβαση για την πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων, αφού ένα άτομο βρίσκεται σε μεταγευματική κατάσταση στο μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Η κακή διατροφή των παιδιών (fast food και τροφές με υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος, όπως π.χ. πατατάκια), προδιαθέτει την ανάπτυξη αθηροσκλήρωσης, η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί σε ικανοποιητικό βαθμό με την άσκηση. Παλαιότερες μελέτες έχουν επισημάνει ότι η μεταγευματική λιπιδαιμία μειώνεται σημαντικά (κατά 20%) μετά από αερόβια άσκηση, και η θετική αυτή επίδραση παραμένει για περίπου 24 ώρες (Tsetsonis and Hardman, 1996). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αντίστοιχη, αλλά ελαφρά μικρότερη, μείωση στη μεταγευματική λιπιδαιμία (12%) επιτυγχάνεται και με άσκηση αντιστάσεων κυκλικής μορφής ή και με έκκεντρη άσκηση με βάρη (Pafili et al., 2009; Zafeiridis et al., 2007). Αν και οι περισσότερες μελέτες της επίδρασης της άσκησης στη μεταγευματική λιπιδαιμία έχουν γίνει σε ενήλικες, υπάρχουν αρκετά στοιχεία που δείχνουν ότι αυτό ισχύει και στα παιδιά και τους εφήβους. Για παράδειγμα, η HIIT με τη μορφή ομαδικών παιχνιδιών διάρκειας 1 ώρας που έγινε στο σχολικό περιβάλλον το πρωί σε μαθητές 11-13 ετών, μείωσε την μεταγευματική ινσουλιναίμία μετά τη λήψη του μεσημεριανού γεύματος, καθώς και δείκτες φλεγμονής (π.χ. IL-6) έως και 24 ώρες μετά την άσκηση (Cooper et al., 2016). Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι άσκηση HIIT η οποία εκτελείται 14-24 ώρες πριν τη λήψη ενός λιπαρού γεύματος, μειώνει τον βαθμό της μεταγευματικής λιπιδαιμίας σε παιδιά και εφήβους (Cooper et al., 2016).

Έλεγχος όρεξης

Ερευνητικά δεδομένα των τελευταίων ετών υποστηρίζουν ότι η HIIT προκαλεί μείωση της όρεξης μέσω μεταβολών στη συγκέντρωση πεπτιδικών ορμονών που την ρυθμίζουν (Afrasyabi et al., 2019). Η γκρελίνη, η οποία είναι γνωστή και ως «ορμόνη της πείνας», παράγεται στον γαστρεντερικό σωλήνα και επιδρά στο κεντρικό νευρικό σύστημα προκαλώντας το αίσθημα της όρεξης (Müller et al.,

2015). Το πεπτίδιο-1 που προσομοιάζει στη γλυκαγόνη (GLP-1) και το πεπτίδιο ΥΥ (PYY) εκκρίνονται επίσης από τον γαστρεντερικό σωλήνα και προκαλούν μείωση της όρεξης (Dailey and Moran, 2013). Επίσης, η λεπτίνη και η αδιπονεκτίνη, οι οποίες παράγονται από τα λιποκύτταρα, επιδρούν την όρεξη με αντίθετο τρόπο, δηλαδή μειώνοντας (λεπτίνη) και αυξάνοντάς την (αδιπονεκτίνη).

Ένας αριθμός μελετών δείχνει ότι ακόμα και πολύ σύντομη άσκηση ΗΠΤ (π.χ. 2 x 20 s) έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της γκρελίνης για τουλάχιστον 60-90 min μετά την άσκηση, με αποτέλεσμα τη μείωση της όρεξης (Metcalf et al., 2015). Επίσης, η προπόνηση με ΗΠΤ αυξάνει τα επίπεδα του PYY σε άτομα με κανονικό βάρος, αλλά και σε υπέρβαρους, υποδεικνύοντας μείωση της όρεξης (Afrasyabi et al., 2019), σε αντίθεση με την συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης, η οποία είτε αυξάνει είτε δεν μεταβάλλει την όρεξη (Sim et al., 2015). Η μείωση της όρεξης με την ΗΠΤ πιθανόν να εξηγεί τα ευρήματα μιας μελέτης όπου συγκρίθηκε (Trapp et al., 2008) η διαλειμματική προπόνηση με sprints (12 s sprint + 8 s αποκατάσταση, για 20 min) και η συνεχόμενη προπόνηση μέτριας έντασης (40 min άσκηση με ένταση 60% VO_{2max}), για 15 εβδομάδες, με συχνότητα 3 φορές την εβδομάδα (Trapp et al., 2008). Παρά τη μεγαλύτερη ενεργειακή δαπάνη στη συνεχόμενη άσκηση, μόνο η ομάδα που εκτελούσε επαναλαμβανόμενα sprints πέτυχε μείωση του συνολικού λίπους (κατά περίπου 2,5 kg), του ενδοκοιλιακού λίπους (κατά 150 g) και του επιπέδου ινσουλίνης στη νηστεία (κατά 31%). Σημειώνεται ότι οι δύο ομάδες είχαν την ίδια βελτίωση στην αερόβια ικανότητα μετά το τέλος των 15 εβδομάδων προπόνησης. Συνεπώς, η διαφορά στην απώλεια λίπους πιθανόν να εξηγείται με τη μειωμένη όρεξη στην περίπτωση της άσκησης υψηλής έντασης, σε αντίθεση με αυξημένη όρεξη μετά από τη συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης.

Πρόσφατη έρευνα σε σχολικό περιβάλλον σε παιδιά 9-11 ετών, όπου εφαρμόστηκε προπόνηση ΗΠΤ διάρκειας 22 min (2 sets x [4 x 30 s sprints]), έδειξε ότι η άσκηση αυτή δεν προκάλεσε αύξηση της πείνας, όπως πιθανόν θα έκανε μια αντίστοιχη συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης (Morris et al., 2018), με συνέπεια να είναι προτιμότερη, λόγω της οικονομίας χρόνου και της αποτελεσματικότητάς της, και για το σχολικό περιβάλλον.

Δείκτες φλεγμονής

Η παιδική παχυσαρκία συνοδεύεται από χρόνια φλεγμονώδη κατάσταση ήπιας έντασης, η οποία εκδηλώνεται με ελαφρά αυξημένες τιμές λευκοκυττάρων, συγκέντρωσης του παράγοντα νέκρωσης όγκων-α (TNF-α), C-αντιδρώσας πρωτεΐνης (CRP) και ιντερλευκίνης-6 (IL-6). Αντίστοιχα υψηλότερα είναι τα επίπεδα φλεγμονωδών δεικτών μετά από άσκηση (McMurray et al., 2007). Επίσης, η αντιοξειδωτική ικανότητα του οργανισμού μειώνεται σε παχύσαρκα παιδιά με χαμηλή φυσική δραστηριότητα, παρά το γεγονός ότι το επίπεδο του οξειδωτικού στρες είναι αυξημένο (Paltoglou et al., 2015).

Εκτός από τους κλασικούς δείκτες, στη διαδικασία της φλεγμονής στην παιδική παχυσαρκία εμπλέκονται και δύο κυτταροκίνες, οι οποίες ονομάζονται και «αδιποκίνες» (adipokines) ή ορθότερα «λιποκίνες»: η λεπτίνη και η αδιπονεκτίνη, οι οποίες εκκρίνονται από τον λιπώδη ιστό ο οποίος θεωρείται ως ένας ενδοκρινής αδένας που παράγει βιοδραστικά πεπτίδια και φλεγμονώδεις ουσίες (Sirico et al., 2018). Οι λιποκίνες αυτές επιδρούν σε πολλά όργανα-στόχους, όπως οι μυς, το συκώτι, το πάγκρεας και ο εγκέφαλος. Μια κύρια δράση της λεπτίνης είναι η σηματοδότηση την ενεργειακής επάρκειας στον υποθάλαμο, προκαλώντας μείωση της όρεξης και αύξηση της ενεργειακής δαπάνης. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις παχυσαρκίας, η λεπτίνη είναι παραδόξως αυξημένη, υποδεικνύοντας «αντίσταση» στη λεπτίνη. Η αδιπονεκτίνη δρα κυρίως στους μυς και στο συκώτι, μειώνοντας την παραγωγή γλυκόζης και αυξάνοντας την ευαισθησία των ιστών στην ινσουλίνη και την ενεργειακή δαπάνη. Στην παιδική παχυσαρκία η συγκέντρωση της αδιπονεκτίνης είναι μειωμένη (Khalafi and Symonds, 2020; Sirico et al., 2018). Είναι αξιοσημείωτο ότι και οι δύο αυτές λιποκίνες εμπλέκονται στην εμφάνιση χρόνιας φλεγμονής ήπιας έντασης στα παιδιά, με τη λεπτίνη να ευνοεί την ανάπτυξη φλεγμονής (αύξηση παραγωγής IL-6 και TNF-α), και την αδιπονεκτίνη να μειώνει την παραγωγή TNF-α (Sirico et al., 2018).

Η διαλειμματική προπόνηση με χαμηλό όγκο άσκησης υψηλής έντασης επιφέρει μείωση δεικτών οξειδωτικού στρες και φλεγμονής σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, αυξάνοντας παράλληλα την αντιοξειδωτική ικανότητα (3-6 εβδομάδες) (Bogdanis et al., 2013; Khalafi and Symonds, 2020). Μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση ερευνητικών δεδομένων, έδειξε ότι η διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης (HIIT) επιφέρει μείωση του παράγοντα νέκρωσης όγκων-α (TNF-α), της IL-6, και της λεπτίνης, με παράλληλη αύξηση της αδι-

πονεκτίνης, με το μέγεθος επίδρασης να σχετίζεται με τη διάρκεια του προπονητικού προγράμματος (Khalafi and Symonds, 2020). Μετα-αναλύσεις ερευνητικών εργασιών δείχνουν επίσης ότι η C-αντιδρώσα πρωτεΐνη (CRP) και η ιντερλευκίνη-6 (IL-6), οι οποίες αποτελούν κλασικούς δείκτες φλεγμονής, μειώνονται με την ΗΠΤ, κυρίως όμως σε άτομα που έχουν αυξημένα επίπεδα, όπως παιδιά με μεταβολικές διαταραχές (π.χ. παχυσαρκία και μειωμένη ευαισθησία στην ινσουλίνη) (Khalafi and Symonds, 2020; Martland et al., 2020).

Αρτηριακή πίεση και ενδοθηλιακή λειτουργία

Η ΗΠΤ μειώνει την αυξημένη αρτηριακή πίεση σε άτομα με υπέρταση και αυτό πιθανότατα οφείλεται στην επίδρασή της στον αγγειακό τόνο και στην ενδοθηλιακή λειτουργία των αγγείων. Η φυσιολογική λειτουργία του ενδοθηλίου διαταράσσεται όταν υπάρχουν αυξημένοι παράγοντες καρδιαγγειακού κινδύνου, και η αρτηριακή υπέρταση συχνά συνυπάρχει με την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία. Τα κύτταρα του ενδοθηλίου ανιχνεύουν χημικά ή φυσικά ερεθίσματα και είτε τροποποιούν το σχήμα του αγγείου (αγγειοδιαστολή/αγγειοσυστολή- αγγειακός τόνος) είτε ενισχύουν ή εμποδίζουν διαδικασίες φλεγμονής, οξειδωσης και θρόμβωσης, συνδέοντας μεταβολικές και αγγειακές διαταραχές (δηλαδή διαβήτη και αθηροσκλήρωση) (Esper et al., 2008). Η συστηματική ΗΠΤ επιφέρει μείωση σε υποδοχείς του ενδοθηλίου, οι οποίοι ονομάζονται μόρια προσκόλλησης (cell adhesion molecules ή CAMs- με κυριότερα το ICAM-1 και το VCAM-1), και συμβάλλουν σε φλεγμονώδεις διαδικασίες που ευνοούν την αθηρωμάτωση (Kargarfard et al., 2016). Μάλιστα, η επίδραση αυτή είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με αντίστοιχη υπομέγιστη άσκηση αντοχής, δείχνοντας την αποτελεσματικότητα αυτού του τρόπου άσκησης.

Η ΗΠΤ, ως μια αποτελεσματική μέθοδος που είναι ασφαλής και εξοικονομεί χρόνο, επιφέρει επίσης βελτίωση και στη δομή και τη λειτουργία των αγγείων σε υπέρβαρα παιδιά προεφηβικής ηλικίας (8-12 ετών), μειώνοντας την αρτηριακή «σκληρότητα» (arterial stiffness) και την εξαρτώμενη από το ενδοθήλιο αγγειοδιαστολή (flow-mediated dilation, FMD), καθώς και το πάχος του έσω-μέσου χιτώνα της κοινής καρωτιδικής αρτηρίας (carotid intima-media thickness), σε διάστημα μόνο 12 εβδομάδων και συχνότητα 3 φορές την εβδομάδα (Chuensiri et al., 2018). Αυτό παρατηρήθηκε τόσο στην ηπιότερη μορφή ΗΠΤ (8 × 2 min με ένταση 90% της μέγιστης αερόβιας ισχύος), όσο και στην εντονότερη μορφή της (8 ×

20 s με ένταση 170% της μέγιστης αερόβιας ισχύος) (Chuensiri et al., 2018). Επίσης, η ΗΠΤ έχει βρεθεί να είναι ανώτερη της μέτριας έντασης άσκησης ως προς τη βελτίωση της ενδοθηλιακής λειτουργίας σε ασθενείς με διαβήτη τύπου 1 (Boff et al., 2019).

Καρδιοαναπνευστική ικανότητα

Η συστηματική άσκηση ΗΠΤ επιφέρει μεγαλύτερες βελτιώσεις στην καρδιοαναπνευστική ικανότητα των παιδιών, όπως αυτή εκφράζεται με τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}). Μια πρόσφατη μετα-ανάλυση 17 μελετών (Cao et al., 2019), έδειξε ότι η ΗΠΤ, ανεξαρτήτως διάρκειας προπόνησης και διαλειμμάτων ανάπαυσης, υπερτερεί σημαντικά της συνεχόμενης άσκησης μέτριας έντασης, δηλαδή της κλασικής άσκησης «αντοχής», σε παιδιά και εφήβους με μέγεθος επίδρασης 0.51 (διάστημα εμπιστοσύνης 95%=0.33-0.69). Η προπόνηση με ΗΠΤ είναι αποδοτική ως προς την αύξηση της VO_{2max} ακόμα και σε παιδιά με παχυσαρκία και χαμηλή αερόβια ικανότητα (Dias et al., 2018). Παρόμοια ευρήματα ανέφερε άλλη μετα-ανάλυση 9 μελετών σε για υπέρβαρα και παχύσαρκα παιδιά, όπου φάνηκε ότι η ΗΠΤ υπερτερεί στην αποτελεσματικότητα βελτίωσης της VO_{2max} , καθώς και στη μείωση της συστολικής αρτηριακής πίεσης κατά την ηρεμία (García-Hermoso et al., 2016).

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι η καλή αερόβια ικανότητα, όπως εκφράζεται με την υψηλή μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και το γαλακτικό κατώφλι, αποτελεί παράμετρο που συσχετίζεται με την καλή υγεία (Chu et al., 2016; García-Hermoso et al., 2016). Όσο αφορά την επιλογή της αποτελεσματικότερης δομής της ΗΠΤ, οι Ζαφειρίδης και συνεργάτες (Zafeiridis et al., 2011, 2010), συνέκριναν συνεχόμενη (83% vVO_{2max}) και διαλειμματική άσκηση μικρότερης (30 s, στο 110% vVO_{2max}) και μεγαλύτερης διάρκειας (3 min, στο 95% vVO_{2m}), με ισόχρονα διαλείμματα, έως το σημείο της εξάντλησης, σε έφηβους αθλητές ηλικίας 13-15 ετών. Βρέθηκε ότι ο χρόνος μέχρι την εξάντληση ήταν μεγαλύτερος με την ΗΠΤ που περιλάμβανε προσπάθειες μεγαλύτερης διάρκειας (3 min), σε σύγκριση με τη συνεχόμενη και τη διαλειμματική με προσπάθειες μικρής διάρκειας. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι όταν ο διαθέσιμος χρόνος για προπόνηση είναι ίδιος στη συνεχόμενη και διαλειμματική άσκηση, τότε η ΗΠΤ με προσπάθειες μεγάλης διάρκειας είναι προτιμότερες στους εφήβους.

Τα παραπάνω επιστημονικά δεδομένα δεν σημαίνουν ότι η συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης δεν είναι αποτελεσματική στα παιδιά. Απλώς υποδεικνύουν ότι η ΗΠΤ έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και πιο γρήγορα αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι τόσο η ΗΠΤ (4 x 4 min με καρδιακή συχνότητα 85-95% της μέγιστης) όσο και η συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης (44 min με καρδιακή συχνότητα 60-70% της μέγιστης), με συχνότητα 3 φορές την εβδομάδα, βελτιώνουν τη λειτουργία της αριστερής κοιλίας της καρδιάς σε υπέρβαρα παιδιά (Ingul et al., 2018).

Οστική πυκνότητα

Η αύξηση της οστικής πυκνότητας επιτυγχάνεται κυρίως μέσω πλειομετρικών ασκήσεων, στις οποίες εφαρμόζονται υψηλές συμπιεστικές δυνάμεις στα οστά (Gomez-Bruton et al., 2017). Η μειωμένη φυσική δραστηριότητα των παιδιών και των εφήβων έχει αρνητικά αποτελέσματα στην οστική πυκνότητα, η οποία κορυφώνεται μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης και δεν αυξάνεται περαιτέρω μετέπειτα, αλλά αντίθετα μειώνεται. Έτσι, η επίτευξη υψηλής οστικής πυκνότητας στα αναπτυξιακά χρόνια είναι πολύ σημαντική για την σκελετική υγεία, ιδιαίτερα για τις γυναίκες, οι οποίες θα χάσουν ραγδαία την οστική τους πυκνότητα μετά την εμμηνόπαυση. Η άσκηση ΗΠΤ, όταν εκτελείται με ασκήσεις ή κινήσεις που φορτίζουν τον σκελετό με υψηλές δυνάμεις με γρήγορο ρυθμό εφαρμογής (π.χ. sprint, άλματα) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της οστικής πυκνότητας (Karlsson and Rosengren, 2020). Είναι λοιπόν εξαιρετικά σημαντικό να φορτίζεται ο σκελετός των παιδιών μέσω της συστηματικής φυσικής δραστηριότητας στο σχολείο, καθώς και μέσα από οργανωμένη άσκηση από την παιδική ηλικία (Karlsson and Rosengren, 2020). Μελέτες σε παιδιά ηλικίας 8-10 ετών δείχνουν ότι η άσκηση με υψηλές εντάσεις που εφαρμόζεται στο σχολικό περιβάλλον μέσω ομαδικών παιχνιδιών (π.χ. ποδόσφαιρο σε «μικρούς χώρους»- small sided games), 3 φορές την εβδομάδα για 40 min την κάθε φορά, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της οστικής μάζας και πυκνότητας μετά από ένα σχολικό έτος διάρκειας 10 μηνών (Larsen et al., 2018).

Η ηλικία κατά την οποία παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης της οστικής μάζας είναι περίπου 6 μήνες με 1 έτος μετά τη φάση της «ραγδαίας αύξησης του αναστήματος» (Peak Height Velocity-PHV) (Elhakeem et al., 2019), ενώ η συστηματική άσκηση μπορεί να επιδράσει θετικά στο μέγεθος της αύξησης της ο-

οστικής πυκνότητας. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, περαιτέρω αύξηση της οστικής μάζας στα παιδιά επιτυγχάνεται όταν οι δυνάμεις που ασκούνται στα οστά είναι υψηλές (>3.5-4.0), δηλαδή όταν η άσκηση περιλαμβάνει έντονες αναπηδήσεις/άλματα και γρήγορο τρέξιμο/sprint (Deere et al., 2012). Σύμφωνα με αυτή τη βασική αρχή που αφορά το είδος της επιβάρυνσης, συγκριτικές μελέτες έδειξαν ότι παιδιά ηλικίας 13 ετών που ασχολούνται με το ποδόσφαιρο (υψηλές συμπιεστικές επιβαρύνσεις στα οστά) ή που προπονούνται για 12 μήνες με ποδόσφαιρο, έχουν υψηλότερη οστική πυκνότητα (5,5%) και «δυνατότερα» (ως προς την αρχιτεκτονική τους δομή), οστά σε σύγκριση με παιδιά που προπονούνται με αθλήματα όπως η κολύμβηση και η ποδηλασία, όπου η σκελετική φόρτιση είναι σημαντικά μικρότερη (Vlachopoulos et al., 2018a, 2017).

Συνεπώς, για την αύξηση της οστικής πυκνότητας στη φάση της εφηβείας, θα πρέπει τα οστά να φορτίζονται με υψηλές δυνάμεις με γρήγορο ρυθμό εφαρμογής, όπως είναι οι μονοποδικές αλματικές ασκήσεις, ώστε να μεγιστοποιείται η οστική πυκνότητα και να μειώνεται ο κίνδυνος οστεοπενίας/οστεοπόρωσης στην ενήλικη ζωή (Vlachopoulos et al., 2018b). Αυτό εξηγείται με το γεγονός ότι τα μηχανικά φορτία ενεργοποιούν σηματοδοτικούς μηχανισμούς που αυξάνουν την οστεογένεση (αύξηση οστικής μάζας) και μειώνουν την οστεοκλαστογένεση (απώλεια οστικής μάζας) (Knapik et al., 2014). Πρόσφατες μελέτες όπου χρησιμοποιήθηκε ΗΠΤ σε περιβάλλον γυμναστηρίου με ασκήσεις υψηλών σκελετικών φορτίων (sprints, άλματα, ασκήσεις με βάρη), αναφέρει βελτίωση τόσο σε καρδιοαναπνευστικές όσο και σε μυοσκελετικές παραμέτρους, μεταξύ των οποίων και η οστική πυκνότητα σε νεαρές γυναίκες (Brown et al., 2018). Τέτοιο είδος άσκησης αποτελεί και η κυκλική προπόνηση με διάφορες πλειομετρικές και δυναμικές ασκήσεις με το βάρος του σώματος, η οποία μπορεί να εκτελεστεί από παιδιά πολύ μικρής ηλικίας (7-9 ετών) και να επιφέρει βελτιώσεις στη μυοσκελετική υγεία, αλλά και στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα των παιδιών (Bogdanis et al., 2019; Faigenbaum et al., 2014; Karagianni et al., 2019; Salagas et al., 2019).

Επίδραση ενδοκρινικών διαταραχών κατά την εφηβεία στην οστική πυκνότητα

Εξαιρέση στη θετική επίδραση της συστηματικής άσκησης αποτελεί η περίπτωση της πολύ έντονης έως εξαντλητικής αγωνιστικής προπόνησης νεαρών αθλητριών, με υψηλό ψυχολογικό στρες και παράλληλο περιορισμό της διατροφής με υποθερμιδικές δίαιτες (Maïmoun et al., 2014). Ο συνδυασμός αυτός προκαλεί

διαταραχές στη ενδοκρινική λειτουργία (χαμηλά επίπεδα οιστραδιόλης, λεπτίνης, τριωδοθυρονίνης-T3, ινσουλινομιμητικού αυξητικού παράγοντα-IGF-1, και αυξημένα επίπεδα κορτιζόλης) καθώς και στον καταμήνιο κύκλο, οι οποίες συνδέονται με μειωμένη οστική πυκνότητα (Maïmoun et al., 2014; Roupas and Georgopoulos, 2011). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται κυρίως σε αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής και μπαλέτου στην εφηβική ηλικία, οι οποίες εμφανίζουν καθυστέρηση εμμηναρχής κατά 2-3 έτη και μειωμένη οστική πυκνότητα στην εφηβεία (Roupas and Georgopoulos, 2011).

Μελέτες δείχνουν ότι οι αθλήτριες ρυθμικής γυμναστικής υψηλού επιπέδου εμφανίζουν μεν μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης στην εφηβεία, αλλά αυτό αντισταθμίζεται με αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης αργότερα, με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται το τελικό τους σωματικό ανάστημα και η οστική τους πυκνότητα, παρά την καθυστέρηση της σκελετικής τους ωρίμανσης (Maimoun et al., 2013). Σε αυτή την αντιστάθμιση, ως προς την οστική μάζα, συμβάλλει και η αυξημένη οστική φόρτιση του σκελετικού τους συστήματος από το άθλημα (Maimoun et al., 2013).

Τα παραπάνω δείχνουν ότι η υπερβολικά έντονη και εξαντλητική άσκηση, ιδίως στα νεαρά κορίτσια σε συνδυασμό με χαμηλή ενεργειακή πρόσληψη, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και ευεξία των αναπτυσσόμενων παιδιών, τις οποίες οι επαγγελματίες του αθλητισμού θα πρέπει να γνωρίζουν. Αντίθετα, η φυσική δραστηριότητα και η συστηματική άσκηση με τη σωστή δοσολογία και γενικότερη προσέγγιση, έχει πάντα θετικά αποτελέσματα στην υγεία.

Επιδράσεις σε ψυχολογικές παραμέτρους, σε νοητικές λειτουργίες

Η ΗΠΤ επιδρά θετικά σε παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα ζωής, με μεγαλύτερη επίδραση σε άτομα με καρδιομεταβολικές διαταραχές ή άτομα που κάνουν πολύ καθιστική ζωή (Martland et al., 2020; Stavrinou et al., 2018). Μελέτες που αφορούν στη συχνότητα της ΗΠΤ για την επίτευξη θετικών καρδιομεταβολικών προσαρμογών δείχνουν ότι ακόμα και 2 φορές την εβδομάδα, εκτελώντας ένα πρωτόκολλο 10 x 60 s ποδηλασίας στο 83% της ισχύος που αντιστοιχεί στη VO_{2max} , βελτιώνουν την υγεία και την ποιότητα ζωής με έναν σύντομο και ευχάριστο τρόπο άσκησης (Stavrinou et al., 2018)

Επίδραση της ΗΠΤ στις συναισθηματικές αντιδράσεις στην άσκηση

Σύμφωνα με την λεγόμενη "ηδονική" θεωρία των κινήτρων, οι συναισθηματικές αντιδράσεις στην άσκηση σχετίζονται με τη μακροχρόνια παραμονή ή την

εγκατάλειψη της συστηματικής άσκησης (Ekkekakis, 2009). Έτσι, εντάσεις άσκησης με ένταση πάνω από το αναπνευστικό κατώφλι προκαλούν αρνητικά συναισθήματα προς την άσκηση, ενώ εντάσεις κάτω από το αναπνευστικό κατώφλι προκαλούν μεγαλύτερη αίσθηση ευχαρίστησης. Συνεπώς, οι ερευνητές αυτοί θεωρούν ότι αυτός ο τύπος άσκησης (HIIT) δεν είναι ευχάριστος και δεν μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα (Decker and Ekkekakis, 2017). Παρόλα αυτά, μελέτες όπου η διάρκεια των «επαναλαμβανόμενων» ασκήσεων κατά την HIIT είναι μικρή (≤ 60 s), παρουσιάζουν δεδομένα όπου οι συμμετέχοντες νιώθουν μεγαλύτερη ευχαρίστηση και κατά την HIIT σε σύγκριση με τη συνεχόμενη άσκηση μέτριας έντασης (Martinez et al., 2015; Stork et al., 2017). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και για παιδικούς πληθυσμούς (π.χ. 13-15 ετών) όπου η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης (8-12 x 1 min με ένταση 90% της μέγιστης δρομικής ταχύτητας) δεν προκάλεσε αρνητικά συναισθήματα, αλλά αντίθετα προκάλεσε μεγαλύτερη ευχαρίστηση (Malik et al., 2017).

Επίδραση της HIIT σε ψυχολογικές παραμέτρους και γνωστικές λειτουργίες

Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι, εκτός από την επίδραση στο μεταβολισμό και στο μυοσκελετικό σύστημα, η φυσική δραστηριότητα βελτιώνει την αυτοπεποίθηση, την αυτοεκτίμηση και μειώνει το στρες, τις διαταραχές συμπεριφοράς και την κατάθλιψη σε παιδιά σχολικής ηλικίας και ιδιαίτερα σε αυτά που είναι υπέρβαρα (Das et al., 2016; Martin et al., 2018a). Επίσης, η φυσική δραστηριότητα με τη μορφή HIIT που εφαρμόζονται στο σχολικό περιβάλλον σε μαθητές 11-13 ετών με παιγνιώδη μορφή, βελτιώνουν γνωστικές λειτουργίες όπως η βραχυπρόθεσμη μνήμη, η προσοχή και η συγκέντρωση, και συνεπώς συμβάλλει θετικά στη διαδικασία της μάθησης (Cooper et al., 2018). Τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι η άσκηση με τη μορφή HIIT, ιδιαίτερα σε παιγνιώδη μορφή, είναι ιδανική για τα διαλείμματα και μπορεί να αποτελεί μέρος του μαθήματος της γυμναστικής στο σχολείο, διότι εκτός από τα οφέλη στην υγεία, συμβάλλει θετικά στις σχολικές επιδόσεις (π.χ. μαθηματικές πράξεις, ανάγνωση, κλπ.) (Cooper et al., 2018; Kucab et al., 2020; Leahy et al., 2020; Martin et al., 2018b; O'Donovan et al., 2010).

Επίδραση της HIIT στον εγκέφαλο

Οι θετικές επιδράσεις της φυσικής δραστηριότητας, και ιδιαίτερα της HIIT σε νοητικές λειτουργίες πιθανόν να συνδέεται και με την αύξηση του εγκεφαλικού νευροτροφικού παράγοντα (Brain Derived Neurotrophic Factor ή BDNF), ο ο-

ποίος συμβάλλει στην διατήρηση και ανάπτυξη των νευρικών κυττάρων συνάψεων και κατά συνέπεια, επηρεάζει την ανάπτυξη του εγκεφάλου και των λειτουργιών του (Calverley et al., 2020). Μελέτες δείχνουν ότι η φυσική δραστηριότητα βελτιώνει επίσης την αιμάτωση του εγκεφάλου και βελτιώνει την μικροκυκλοφορία και την ενδοθηλιακή λειτουργία. Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι εντονότερες στην άσκηση ΗΠΤ, με συνέπεια να θεωρείται ως πολύ αποτελεσματική και για τη βελτίωση της εγκεφαλικής λειτουργίας και την «νευροπροστασία» (Calverley et al., 2020; Inoue et al., 2020). Σημειώνεται ότι η παχυσαρκία επηρεάζει τη συμπεριφορά και τις σχολικές επιδόσεις των παιδιών τόσο μέσω αλλαγών στην ψυχολογική κατάσταση (π.χ. μείωση αυτοπεποίθησης και αυτοεκτίμησης), αλλά και μέσω αλλαγών στη μορφολογία του εγκεφάλου. Έτσι η φυσική δραστηριότητα και ιδιαίτερα η ΗΠΤ που εφαρμόζεται με σωστό προγραμματισμό και δοσολογία στο σχολικό περιβάλλον ή στο χώρο του αθλητισμού, μπορεί να βελτιώσει όλους αυτούς τους παράγοντες και να προάγει την υγεία και την ευεξία του παιδιού και του εφήβου.

ΙΑΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΑΣΚΗΣΗΣ ΥΠΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

Η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης είναι ένας συνήθης και φυσιολογικός τρόπος φυσικής δραστηριότητας στα παιδιά, αφού το παιδικό παιχνίδι χαρακτηρίζεται από έντονες και σύντομες περιόδους άσκησης, οι οποίες εναλλάσσονται με περιόδους ήπιας άσκησης ή ηρεμίας. Αυτό συμβαίνει διότι το μεταβολικό προφίλ των παιδιών ευνοεί τον οξειδωτικό μηχανισμό παραγωγής ενέργειας, έχοντας υψηλή πυκνότητα μιτοχονδρίων και δραστικότητα οξειδωτικών ενζύμων, γρηγορότερη κινητική οξυγόνου και χαμηλότερη παραγωγή γαλακτικού και ιόντων υδρογόνου, όταν η άσκηση είναι υψηλής έντασης (Birat et al., 2018; Ratel and Blazevich, 2017). Επίσης, η αποκατάσταση της καρδιακής συχνότητας και του μεταβολισμού (ανασύνθεση φωσφοκρεατίνης) είναι γρηγορότερη σε σύγκριση με τους ενήλικες και αυτό ευνοεί την επανάληψη έντονων προσπαθειών σχεδόν χωρίς κόπωση (Birat et al., 2018; Ratel and Blazevich, 2017). Με βάση τα παραπάνω, η προπόνηση ΗΠΤ στα παιδιά δεν χαρακτηρίζεται από τόσο υψηλή αναερόβια ενεργειακή συμμετοχή και μεταβολική οξέωση, αλλά από υψηλή συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού (Bogdanis, 2012; Bogdanis et al., 1996; Salagas et al., 2019). Συνεπώς, αυτή η μορφή άσκησης (ΗΠΤ) δεν είναι «βλαπτι-

κή» για τον οργανισμό τους όταν η δοσολογία της άσκησης δεν είναι υπερβολική και αυτό ισχύει ακόμα και για παιδιά με αυξημένο καρδιομεταβολικό κίνδυνο (Dias et al., 2016). Αντίθετα, η ΗΠΤ βελτιώνει πολλές παραμέτρους της φυσικής κατάστασης που συνδέονται με την υγεία και μειώνει πολλούς παράγοντες καρδιομεταβολικού κινδύνου, αφιερώνοντας πολύ λιγότερο χρόνο άσκησης (Dias et al., 2018). Σημεία που θα πρέπει να προσεχθούν είναι το μυοσκελετικό φορτίο κατά τη διάρκεια της ΗΠΤ, όπου στην περίπτωση υπέρβαρων και παχύσαρκων παιδιών εφαρμόζονται υψηλές δυνάμεις στις αρθρώσεις των κάτω άκρων και χρειάζεται προσοχή. Για να αποφευχθεί η δυσανάλογα μεγάλη μυοσκελετική φόρτιση σε αυτά τα παιδιά, προτιμώνται δραστηριότητες όπως η κολύμβηση και το ποδήλατο.

Αυτό που πρέπει να προσεχθεί περισσότερο στα παιδιά προεφηβικής και κυρίως στα παιδιά εφηβικής ηλικίας που ασχολούνται με τον αθλητισμό είναι οι υπέρμετρες «απαιτήσεις» που τίθενται πολλές φορές από προπονητές και γονείς, οι οποίες συνεπάγονται όχι μόνο υψηλά προπονητικά φορτία, αλλά και μεγάλη ψυχολογική φόρτιση όπου πολλές φορές καταλήγει σε πρόωρη εγκατάλειψη του αθλητισμού (Myer et al., 2015; Parker and LaBotz, 2020).

Σε κάθε περίπτωση όμως, για να διασφαλιστεί η υγεία και η ακεραιότητα των παιδιών που ασκούνται συστηματικά εντός και εκτός αθλητικών συλλόγων, χρειάζεται αυτά να υποβάλλονται σε υποχρεωτικό ετήσιο ιατρικό έλεγχο, ο οποίος περιλαμβάνει καρδιολογική και παθολογική εξέταση, καθώς και μυοσκελετική αξιολόγηση. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι πιθανοί κίνδυνοι λόγω της έντονης άσκησης, οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι σε παιδιά με αυξημένους καρδιομεταβολικούς παράγοντες κινδύνου (π.χ. παχύσαρκια, προδιαβήτης, αυξημένη αρτηριακή πίεση). Επίσης, ο ιατρικός έλεγχος πριν την έναρξη προγραμμάτων προπόνησης συμβάλλει στον εντοπισμό και άλλων προβλημάτων υγείας ή νόσων, που μπορεί να είναι σε ήπια ή υποκλινική μορφή και θέτουν σε κίνδυνο την υγεία των παιδιών κατά την έντονη άσκηση.

Σύνοψη

Συμπερασματικά, η ΗΠΤ αποτελεί έναν ευχάριστο, ασφαλή και πολύ αποδοτικό τρόπο άσκησης για τον παιδικό πληθυσμό, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχολικό περιβάλλον (στο διάλειμμα ή στις ώρες φυσικής αγωγής) ή σε αθλητικούς συλλόγους, επιφέροντας πολλαπλά οφέλη σε παραμέτρους υγείας. Μέσω συστηματικής σύντομης άσκησης ΗΠΤ (περίπου 20 min, 3 φορές την εβδομάδα)

επιτυγχάνονται προσαρμογές που βελτιώνουν τη μεταβολική και καρδιαγγειακή υγεία, οι οποίες είναι εφάμιλλες με αυτές που επιτυγχάνονται με άσκηση μέτριας έντασης με πολύ μεγαλύτερη διάρκεια. Η ΗΠΤ στα παιδιά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες μορφές, όπως έντονο τρέξιμο, ποδήλατο, κολύμβηση, ομαδικά παιχνίδια και κυκλική προπόνηση, ενώ η αποτελεσματικότητα της ΗΠΤ για τη βελτίωση παραμέτρων υγείας βασίζεται κυρίως στην υψηλή ένταση, με την καρδιακή συχνότητα να ξεπερνά το 80% της μέγιστης. Η συστηματική εφαρμογή προγραμμάτων ΗΠΤ σε παιδικούς και εφηβικούς πληθυσμούς, βελτιώνει το γλυκαιμικό έλεγχο (επίπεδα γλυκόζης και ινσουλίνης στην ηρεμία και μετά από γεύμα), μειώνει τα τριγλυκερίδια, τη ολική χοληστερόλη και την LDL, ενώ αυξάνει την HDL, μειώνει επίσης την αρτηριακή πίεση, τους παράγοντες φλεγμονής, το σωματικό λίπος και το ενδοκοιλιακό ή «σπλαχνικό» λίπος. Επίσης, η ΗΠΤ μειώνει τη χρόνια φλεγμονώδη κατάσταση ήπιας έντασης που παρατηρείται στην παιδική παχυσαρκία, μειώνει την αρτηριακή πίεση, βελτιώνει την ενδοθηλιακή λειτουργία και αυξάνει την οστική πυκνότητα. Τα οφέλη της ΗΠΤ δεν περιορίζονται μόνο στη σωματική υγεία, αλλά επεκτείνονται και σε ψυχολογικές παραμέτρους (π.χ. άγχος, διαταραχές συμπεριφοράς) και νοητικές λειτουργίες (π.χ. βραχυπρόθεσμη μνήμη, προσοχή και συγκέντρωση).

Πρακτικές εφαρμογές

- Η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης (ΗΠΤ) επιφέρει ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία αφιερώνοντας μόνο 20 min, 3 φορές την εβδομάδα
- Τα οφέλη της ΗΠΤ σε μεταβολικές και καρδιαγγειακές παραμέτρους υγείας επιτυγχάνονται ακόμα και εάν το σωματικό βάρος δεν μειωθεί σημαντικά
- Η συστηματική ΗΠΤ σε παιδιά βελτιώνει το γλυκαιμικό έλεγχο, το λιπιδαιμικό προφίλ, την αγγειακή υγεία και την χρόνια φλεγμονή που εμφανίζουν πολλά υπέρβαρα και παχύσαρκα παιδιά.
- Η ΗΠΤ με παιγνιώδη μορφή μπορεί να εφαρμοστεί στο σχολικό περιβάλλον και να βελτιώσει τις σχολικές επιδόσεις, μέσω

βελτίωσης ψυχολογικών παραμέτρων και γνωστικών λειτουργιών.

Βιβλιογραφία

- ACSM, 2010. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Lippincott Williams & Wilkins. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Afrasyabi, S., Marandi, S.M., Kargarfard, M., 2019. The effects of high intensity interval training on appetite management in individuals with type 2 diabetes: influenced by participants weight. *J. Diabetes Metab. Disord.* 18, 107–117. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00396-0>
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R., Tudor-Locke, C., L., G.J., VEZINA, J., Whitt -Glover, M.C., Leon, A.S., 2011. 2011 Compendium of Physical Activities. *Med. Sci. Sport. Exerc.* 43, 1575–1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>
- Andersen, L.B., Harro, M., Sardinha, L.B., Froberg, K., Ekelund, U., Brage, S., Anderssen, S.A., 2006. Physical activity and clustered cardiovascular risk in children: a cross-sectional study (The European Youth Heart Study). *Lancet* 368, 299–304. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69075-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69075-2)
- Armstrong, N., Barker, A.R., 2011. Endurance training and elite young athletes. *Med. Sport Sci.* 56, 59–83. <https://doi.org/10.1159/000320633>
- Billat, V.L., 2001. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med.* 31, 13–31.
- Birat, A., Bourdier, P., Piponnier, E., Blazeovich, A.J., Maciejewski, H., Duché, P., Ratel, S., 2018. Metabolic and Fatigue Profiles Are Comparable Between Prepubertal Children and Well-Trained Adult Endurance Athletes. *Front. Physiol.* 9, 387. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00387>
- Bird, S.R., Hawley, J.A., 2017. Update on the effects of physical activity on insulin sensitivity in humans. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2, e000143. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000143>

- Bishop, D.J., Botella, J., Granata, C., 2019. CrossTalk opposing view: Exercise training volume is more important than training intensity to promote increases in mitochondrial content. *J. Physiol.* JP277634. <https://doi.org/10.1113/JP277634>
- Boff, W., da Silva, A.M., Farinha, J.B., Rodrigues-Krause, J., Reischak-Oliveira, A., Tschiedel, B., Puñales, M., Bertoluci, M.C., 2019. Superior Effects of High-Intensity Interval vs. Moderate-Intensity Continuous Training on Endothelial Function and Cardiorespiratory Fitness in Patients With Type 1 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *Front. Physiol.* 10, 450. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00450>
- Bogdanis, G.C., 2012. Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Front. Physiol.* 3, 142. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00142>
- Bogdanis, G.C., Donti, O., Papia, A., Donti, A., Apostolidis, N., Sands, W.A., 2019. Effect of Plyometric Training on Jumping, Sprinting and Change of Direction Speed in Child Female Athletes. *Sports* 7, 116. <https://doi.org/10.3390/sports7050116>
- Bogdanis, G.C., Stavrinou, P., Fatouros, I.G., Philippou, A., Chatzinikolaou, A., Draganidis, D., Ermidis, G., Maridaki, M., 2013. Short-term high-intensity interval exercise training attenuates oxidative stress responses and improves antioxidant status in healthy humans. *Food Chem. Toxicol.* 61. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.046>
- Bogdanis, G.C.C., Nevill, M.E.E., Boobis, L.H.H., Lakomy, H.K.A.K., 1996. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J. Appl. Physiol.* 80, 876–84.
- Bond, B., Weston, K., Williams, C., Barker, A., 2017. Perspectives on high-intensity interval exercise for health promotion in children and adolescents. *Open Access J. Sport. Med.* Volume 8, 243–265. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s127395>
- Brown, E.C., Hew-Butler, T., Marks, C.R.C., Butcher, S.J., Choi, M.D., 2018. The Impact of Different High-Intensity Interval Training Protocols on Body Composition and Physical Fitness in Healthy Young Adult Females. *Biores. Open Access* 7, 177–185. <https://doi.org/10.1089/biores.2018.0032>
- Burgomaster, K.A., Hughes, S.C., Heigenhauser, G.J.F., Bradwell, S.N., Gibala, M.J., Kirsten, A., George, J.F., 2005. Six sessions of sprint interval training

- increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J. Appl. Physiol.* 98, 1985–1990. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01095.2004>.
- Calverley, T.A., Ogoh, S., Marley, C.J., Steggall, M., Marchi, N., Brassard, P., Lucas, S.J.E., Cotter, J.D., Roig, M., Ainslie, P.N., Wisløff, U., Bailey, D.M., 2020. HIITing the brain with exercise: mechanisms, consequences and practical recommendations. *J. Physiol.* <https://doi.org/10.1113/JP275021>
- Cao, M., Quan, M., Zhuang, J., 2019. Effect of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on cardiorespiratory fitness in children and adolescents: A meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* <https://doi.org/10.3390/ijerph16091533>
- Caprio, S., Santoro, N., Weiss, R., 2020. Childhood obesity and the associated rise in cardiometabolic complications. *Nat. Metab.* <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0183-z>
- Carayanni, V., Vlachopapadopoulou, E., Koutsouki, D., Bogdanis, G., Psaltopoulou, T., Manios, Y., Karachaliou, F., Hatzakis, A., Michalacos, S., 2020. Effects of Body Mass Index (BMI), demographic and socioeconomic factors on organized physical activity (OPA) participation in children aged 6-15years: A cross-sectional study comparing primary and secondary school children in Greece. *BMC Pediatr.* In press.
- Caspersen, C.J., Christenson, G.M., 1985. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 100, 126–131. <https://doi.org/10.2307/20056429>
- Chaput, J.P., Barnes, J.D., Tremblay, M.S., Fogelholm, M., Hu, G., Lambert, E. V, Maher, C., Maia, J., Olds, T., Onywera, V., Sarmiento, O.L., Standage, M., Tudor-Locke, C., Katzmarzyk, P.T., 2018. Thresholds of physical activity associated with obesity by level of sedentary behaviour in children. *Pediatr. Obes.* 13, 450–457. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12276>
- Chen, T.C., Chen, H.L., Liu, Y.C., Nosaka, K., 2014. Eccentric exercise-induced muscle damage of pre-adolescent and adolescent boys in comparison to young men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 114, 1183–1195. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2848-3>

- Chu, L., Morrison, K.M., Riddell, M.C., Raha, S., Timmons, B.W., 2016. Exercise Training in Children with Obesity. *Pediatr. Exerc. Sci.* 28, 21.
- Chuensiri, N., Suksom, D., Tanaka, H., 2018. Effects of High-Intensity Intermittent Training on Vascular Function in Obese Preadolescent Boys. *Child. Obes.* 14, 41–49. <https://doi.org/10.1089/chi.2017.0024>
- Cochran, A.J.R., Percival, M.E., Tricarico, S., Little, J.P., Cermak, N., Gillen, J.B., Tarnopolsky, M.A., Gibala, M.J., 2014. Intermittent and continuous high-intensity exercise training induce similar acute but different chronic muscle adaptations. *Exp. Physiol.* 99, 782–91. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2013.077453>
- Cockcroft, E.J., Williams, C.A., Tomlinson, O.W., Vlachopoulos, D., Jackman, S.R., Armstrong, N., Barker, A.R., 2015. High intensity interval exercise is an effective alternative to moderate intensity exercise for improving glucose tolerance and insulin sensitivity in adolescent boys. *J. Sci. Med. Sport* 18, 720–724. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.10.001>
- Colberg, S.R., Sigal, R.J., Yardley, J.E., Riddell, M.C., Dunstan, D.W., Dempsey, P.C., Horton, E.S., Castorino, K., Tate, D.F., 2016. Physical activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* <https://doi.org/10.2337/dc16-1728>
- Cooper, S.B., Dring, K.J., Morris, J.G., Sunderland, C., Bandelow, S., Nevill, M.E., 2018. High intensity intermittent games-based activity and adolescents' cognition: Moderating effect of physical fitness. *BMC Public Health* 18, 603. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5514-6>
- Cooper, S.B., Dring, K.J., Nevill, M.E., 2016. High-Intensity Intermittent Exercise: Effect on Young People's Cardiometabolic Health and Cognition. *Curr. Sports Med. Rep.* 15, 245–251. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000273>
- Dailey, M.J., Moran, T.H., 2013. Glucagon-like peptide 1 and appetite. *Trends Endocrinol. Metab.* <https://doi.org/10.1016/j.tem.2012.11.008>
- Das, J.K., Salam, R.A., Lassi, Z.S., Khan, M.N., Mahmood, W., Patel, V., Bhutta, Z.A., 2016. Interventions for Adolescent Mental Health: An Overview of Systematic Reviews. *J. Adolesc. Heal.* 59, S49–S60. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2016.06.020>

- Decker, E.S., Ekkekakis, P., 2017. More efficient, perhaps, but at what price? Pleasure and enjoyment responses to high-intensity interval exercise in low-active women with obesity. *Psychol. Sport Exerc.* 28, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.09.005>
- Deere, K., Sayers, A., Rittweger, J., Tobias, J.H., 2012. Habitual levels of high, but not moderate or low, impact activity are positively related to hip BMD and geometry: Results from a population-based study of adolescents. *J. Bone Miner. Res.* 27, 1887–1895. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1631>
- Dias, K.A., Coombes, J.S., Green, D.J., Gomersall, S.R., Keating, S.E., Tjonna, A.E., Hollekim-Strand, S.M., Hosseini, M.S., Ro, T.B., Haram, M., Huuse, E.M., Davies, P.S.W., Cain, P.A., Leong, G.M., Ingul, C.B., 2016. Effects of exercise intensity and nutrition advice on myocardial function in obese children and adolescents: A multicentre randomised controlled trial study protocol. *BMJ Open* 6, e010929. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-010929>
- Dias, K.A., Ingul, C.B., Tjønna, A.E., Keating, S.E., Gomersall, S.R., Follstad, T., Hosseini, M.S., Hollekim-Strand, S.M., Ro, T.B., Haram, M., Huuse, E.M., Davies, P.S.W., Cain, P.A., Leong, G.M., Coombes, J.S., 2018. Effect of High-Intensity Interval Training on Fitness, Fat Mass and Cardiometabolic Biomarkers in Children with Obesity: A Randomised Controlled Trial. *Sport. Med.* 48, 733–746. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0777-0>
- Eddolls, W.T.B., McNarry, M.A., Stratton, G., Winn, C.O.N., Mackintosh, K.A., 2017. High-Intensity Interval Training Interventions in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Sport. Med.* 47, 2363–2374. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0753-8>
- Eisenmann, J.C., Laurson, K.R., Welk, G.J., 2011. Aerobic Fitness Percentiles for U.S. Adolescents. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.07.005>
- Ekkekakis, P., 2009. The Dual-Mode Theory of affective responses to exercise in metatheoretical context: I. Initial impetus, basic postulates, and philosophical framework. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol.* 2, 73–94. <https://doi.org/10.1080/17509840802705920>
- Elhakeem, A., Frysz, M., Tilling, K., Tobias, J.H., Lawlor, D.A., 2019. Association between Age at Puberty and Bone Accrual from 10 to 25 Years

- of Age. *JAMA Netw. Open* 2. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.8918>
- Engel, F.A., Wagner, M.O., Schelhorn, F., Deubert, F., Leutzsch, S., Stolz, A., Sperlich, B., 2019. Classroom-Based Micro-Sessions of Functional High-Intensity Circuit Training Enhances Functional Strength but Not Cardiorespiratory Fitness in School Children—A Feasibility Study. *Front. Public Heal.* 7. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2019.00291>
- Esper, R., Vilariño, J., Machado, R., Paragano, A., 2008. Endothelial dysfunction in normal and abnormal glucose metabolism. *Adv. Cardiol.* <https://doi.org/10.1159/000115120>
- Faigenbaum, A.D., Kang, J., Ratamess, N.A., Farrell, A.C., Belfert, M., Duffy, S., Jenson, C., Bush, J., 2019. Acute cardiometabolic responses to multi-modal integrative neuromuscular training in children. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 4, 39. <https://doi.org/10.3390/jfmk4020039>
- Faigenbaum, A.D., Lloyd, R.S., MacDonald, J., Myer, G.D., 2016. Citius, Altius, Fortius: beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *Br. J. Sports Med.* 50, 3–7. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094621>
- Faigenbaum, A.D., Myer, G.D., Farrell, A., Radler, T., Fabiano, M., Kang, J., Ratamess, N., Houry, J., Hewett, T.E., 2014. Integrative neuromuscular training and sex-specific fitness performance in 7-year-old children: an exploratory investigation. *J. Athl. Train.* 49, 145–53. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.1.08>
- García-Hermoso, A., Cerrillo-Urbina, A.J., Herrera-Valenzuela, T., Cristi-Montero, C., Saavedra, J.M., Martínez-Vizcaíno, V., 2016. Is high-intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. *Obes. Rev.* 17, 531–40. <https://doi.org/10.1111/obr.12395>
- García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., Saavedra, J.M., 2019. Exercise, health outcomes, and paediatric obesity: A systematic review of meta-analyses. *J. Sci. Med. Sport.* <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.07.006>

- Gemmink, A., Schrauwen, P., Hesselink, M.K.C., 2020. Exercising your fat (metabolism) into shape: a muscle-centred view. *Diabetologia*. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05170-z>
- Giannaki, C.D., Aphas, G., Sakkis, P., Hadjicharalambous, M., 2016. Eight weeks of a combination of high intensity interval training and conventional training reduce visceral adiposity and improve physical fitness: A group-based intervention. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 56, 483–490.
- Gibala, M.J., Hawley, J.A., 2017. Sprinting Toward Fitness. *Cell Metab.* 25, 988–990. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2017.04.030>
- Gibala, M.J., Little, J.P., Macdonald, M.J., Hawley, J.A., 2012. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol* 590, 1077–1084. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725>
- Gibala, M.J., McGee, S.L., Garnham, A.P., Howlett, K.F., Snow, R.J., Hargreaves, M., 2009. Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1alpha in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 106, 929–34. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90880.2008>
- Gibson, A.L., Wagner, D.R., Heyward, V.H., 2019. Advanced fitness assessment and exercise prescription. Human Kinetics, Inc.
- Glass, S., Dwyer, G.B., American College of Sports Medicine., 2007. ACSM'S metabolic calculations handbook. Lippincott Williams & Wilkins.
- Gomez-Bruton, A., Matute-Llorente, A., Gonzalez-Aguero, A., Casajus, J.A., Vicente-Rodriguez, G., 2017. Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review. *World J. Pediatr.* 13, 112–121. <https://doi.org/10.1007/s12519-016-0076-0>
- Gordon, J.W., Dolinsky, V.W., Mughal, W., Gordon, G.R.J., McGavock, J., 2015. Targeting skeletal muscle mitochondria to prevent type 2 diabetes in youth. *Biochem. Cell Biol.* 93, 452–465. <https://doi.org/10.1139/bcb-2015-0012>
- Granata, C., Oliveira, R.S.F., Little, J.P., Renner, K., Bishop, D.J., 2016. Training intensity modulates changes in PGC-1 α and p53 protein content and mitochondrial respiration, but not markers of mitochondrial content in human skeletal muscle. *FASEB J.* 30, 959–970. <https://doi.org/10.1096/fj.15-276907>

- Hawley, J.A., Gibala, M.J., 2012. What's new since Hippocrates? Preventing type 2 diabetes by physical exercise and diet. *Diabetologia* 55, 535–539. <https://doi.org/10.1007/s00125-012-2460-1>
- Hawley, J.A., Gibala, M.J., 2009. Exercise intensity and insulin sensitivity: how low can you go? *Diabetologia* 52. <https://doi.org/10.1007/s00125-009-1425-5>
- Ho, M., Garnett, S.P., Baur, L.A., 2014. Childhood obesity and insulin resistance: how should it be managed? *Curr. Treat. Options Cardiovasc. Med.* 16, 351. <https://doi.org/10.1007/s11936-014-0351-0>
- Hood, M.S., Little, J.P., Tarnopolsky, M. a., Myslik, F., Gibala, M.J., 2011. Low-volume interval training improves muscle oxidative capacity in sedentary adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43, 1849–1856. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182199834>
- Huerta Ojeda, Á., Galdames Maliqueo, S., Cataldo Guerra, M., Barahona Fuentes, G., Rozas Villanueva, T., Cáceres Serrano, P., 2017. [Effects of a high intensity interval training on the aerobic capacity of adolescents]. *Rev. Med. Chil.* 145, 972–979. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872017000800972>
- Ingul, C.B., Dias, K.A., Tjonna, A.E., Follestad, T., Hosseini, M.S., Timilsina, A.S., Hollekim-Strand, S.M., Ro, T.B., Davies, P.S.W., Cain, P.A., Leong, G.M., Coombes, J.S., 2018. Effect of High Intensity Interval Training on Cardiac Function in Children with Obesity: A Randomised Controlled Trial. *Prog. Cardiovasc. Dis.* <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.01.012>
- Inoue, D.S., Monteiro, P.A., Neto, J.G., Santana, P.R., Peres, F.P., Edwards, K.M., Lira, F.S., 2020. Acute increases in brain - derived neurotrophic factor following high or moderate - intensity exercise is accompanied with better cognition performance in obese adults. *Sci. Rep.* 10, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70326-1>
- Janssen, I., 2007. Physical activity guidelines for children and youth This article is part of a supplement entitled *Advancing physical activity measurement and guidelines in Canada: a scientific review and evidence-based foundation for the future of Canadian physical activity guidelines* co-published by *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* and the *Canadian Journal of Public Health* . It may be cited as *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 32(Suppl. 2E) or as

- Can. J. Public Health 98(Suppl. 2). Appl. Physiol. Nutr. Metab. 32, S109-121. <https://doi.org/10.1139/H07-109>
- Janssen, I., LeBlanc, A.G., 2010. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act.* 7, 40. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-40>
- Karachaliou, F., Vlachopapadopoulou, E., Psaltopoulou, T., Manios, Y., Koutsouki, D., Bogdanis, G., Carayianni, V., Sergentanis, T., Hatzakis, A., Michalacos, S., 2018. Prevalence of asthma symptoms and association with obesity, sedentary lifestyle and sociodemographic factors: data from the Hellenic National Action Plan for the assessment, prevention and treatment of childhood obesity (MIS301205). *J. Asthma* 1–7. <https://doi.org/10.1080/02770903.2018.1541356>
- Karagianni, K., Donti, O., Bogdanis, G.C., 2019. Effects of a Supplementary Strength-Power Training Program on Neuromuscular Performance in Young Female Athletes. *Proceedings* 25, 7. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019025007>
- Kargarfard, M., Lam, E.T.C., Shariat, A., Asle Mohammadi, M., Afrasiabi, S., Shaw, I., Shaw, B.S., 2016. Effects of endurance and high intensity training on ICAM-1 and VCAM-1 levels and arterial pressure in obese and normal weight adolescents. *Phys. Sportsmed.* 44, 208–16. <https://doi.org/10.1080/00913847.2016.1200442>
- Karlsson, M.K., Rosengren, B.E., 2020. Exercise and Peak Bone Mass. *Curr. Osteoporos. Rep.* <https://doi.org/10.1007/s11914-020-00588-1>
- Kassi, E., Pervanidou, P., Kaltsas, G., Chrousos, G., 2011. Metabolic syndrome: Definitions and controversies. *BMC Med.* 9, 1–13. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-48>
- Katzmarzyk, P.T., Barreira, T. V, Broyles, S.T., Chaput, J.-P., Fogelholm, M., Hu, G., Kuriyan, R., Kurpad, A., Lambert, E. V, Maher, C., Maia, J., Matsudo, V., Olds, T., Onywera, V., Sarmiento, O.L., Standage, M., Tremblay, M.S., Tudor-Locke, C., Zhao, P., Church, T.S., 2015. Association between body mass index and body fat in 9–11-year-old children from countries spanning a range of human development. *Int. J. Obes. Suppl.* 5, S43–S46. <https://doi.org/10.1038/ijosup.2015.18>

- Katzmarzyk, P.T., Tremblay, M.S., 2007. Limitations of data on physical activity in Canada: Implications for monitoring trends. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* <https://doi.org/10.1139/H07-167>
- Kelishadi, R., Heidari-Beni, M., 2019. Prevention and Control of Childhood Obesity: The Backbone in Prevention of Non Communicable Disease, in: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer New York LLC, pp. 61–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10616-4_7
- Kemi, O.J., Wisloff, U., 2010. High-intensity aerobic exercise training improves the heart in health and disease. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.* <https://doi.org/10.1097/HCR.0b013e3181c56b89>
- Kesaniemi, Y.A., Danforth E., J., Jensen, M.D., Kopelman, P.G., Lefebvre, P., Reeder, B.A., 2001. Dose-response issues concerning physical activity and health: An evidence-based symposium, in: *Medicine and Science in Sports and Exercise*. American College of Sports Medicine. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00003>
- Khalafi, M., Symonds, M.E., 2020. The impact of high-intensity interval training on inflammatory markers in metabolic disorders: A meta-analysis. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* <https://doi.org/10.1111/sms.13754>
- Knapik, D.M., Perera, P., Nam, J., Blazek, A.D., Rath, B., Leblebicioglu, B., Das, H., Wu, L.C., Hewett, T.E., Agarwal, S.K., Robling, A.G., Flanigan, D.C., Lee, B.S., Agarwal, S., 2014. Mechanosignaling in bone health, trauma and inflammation. *Antioxidants Redox Signal.* <https://doi.org/10.1089/ars.2013.5467>
- Kucab, M., Bellissimo, N., Prusky, C., Brett, N.R., Totosy de Zepetnek, J.O., 2020. Effects of a high-intensity interval training session and chocolate milk on appetite and cognitive performance in youth aged 9–13 years. *Eur. J. Clin. Nutr.* <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00718-z>
- Kulmala, P., 2003. Prediabetes in children: Natural history, diagnosis, and preventive strategies. *Pediatr. Drugs.* <https://doi.org/10.2165/00128072-200305040-00001>
- Kunz, P., Engel, F.A., Holmberg, H.C., Sperlich, B., 2019. A Meta-Comparison of the Effects of High-Intensity Interval Training to Those of Small-Sided Games and Other Training Protocols on Parameters Related to the

- Physiology and Performance of Youth Soccer Players. *Sport. Med. - Open*. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0180-5>
- Larsen, M., Nielsen, C., Helge, E., Madsen, M., Manniche, V., Hansen, L., Hansen, P., Bangsbo, J., Krstrup, P., 2018. Positive effects on bone mineralisation and muscular fitness after 10 months of intense school-based physical training for children aged 8-10 years: the FIT FIRST randomised controlled trial. *Br. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096219>
- Larsen, M.N., Madsen, M., Nielsen, C.M., Manniche, V., Hansen, L., Bangsbo, J., Krstrup, P., Hansen, P.R., 2020. Cardiovascular adaptations after 10 months of daily 12-min bouts of intense school-based physical training for 8–10-year-old children. *Prog. Cardiovasc. Dis.* <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.05.011>
- Leahy, A.A., Mavilidi, M.F., Smith, J.J., Hillman, C.H., Eather, N., Barker, D., Lubans, D.R., 2020. Review of High-Intensity Interval Training for Cognitive and Mental Health in Youth. *Med. Sci. Sport. Exerc.* <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002359>
- Leis, R., Jurado-Castro, J.M., Llorente-Cantarero, F.J., Anguita-Ruiz, A., Iris-Rupérez, A., Bedoya-Carpente, J.J., Vázquez-Cobela, R., Aguilera, C.M., Bueno, G., Gil-Campos, M., 2020. Cluster analysis of physical activity patterns, and relationship with sedentary behavior and healthy lifestyles in prepubertal children: Genobox cohort. *Nutrients* 12. <https://doi.org/10.3390/nu12051288>
- Lissak, G., 2018. Adverse physiological and psychological effects of screen time on children and adolescents: Literature review and case study. *Environ. Res.* 164, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.015>
- Little, J.P., Safdar, A., Bishop, D., Tarnopolsky, M.A., Gibala, M.J., 2011a. An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 300, R1303–R1310. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00538.2010>
- Little, J.P., Safdar, A., Bishop, D., Tarnopolsky, M.A., Gibala, M.J., 2011b. An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human

- skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Integr. Comp. Physiol.* 300, R1303–R1310. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00538.2010>
- Little, J.P., Safdar, A., Wilkin, G.P., Tarnopolsky, M.A., Gibala, M.J., 2010. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *J Physiol* 588, 1011–1022. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.181743>
- Lobstein, T., Jackson-Leach, R., 2016. Planning for the worst: estimates of obesity and comorbidities in school-age children in 2025. *Pediatr. Obes.* 11, 321–325. <https://doi.org/10.1111/ijpo.12185>
- Lobstein, T., Jackson-leach, R., Moodie, M.L., Hall, K.D., Gortmaker, S.L., Swinburn, B. a, James, W.P.T., Wang, Y., 2015. Obesity 4 - Child and adolescent obesity: part of a bigger picture. *Lancet*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61746-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61746-3)
- Lohman, T.G., Ring, K., Schmitz, K.H., Treuth, M.S., Loftin, M., Yang, S., Sothorn, M., Going, S., 2006. Associations of body size and composition with physical activity in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38, 1175–1181. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000222846.27380.61>
- MacInnis, M.J., Gibala, M.J., 2017a. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J. Physiol.* <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- MacInnis, M.J., Gibala, M.J., 2017b. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J. Physiol.* <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- MacInnis, M.J., Skelly, L.E., Gibala, M.J., 2019. CrossTalk proposal: Exercise training intensity is more important than volume to promote increases in human skeletal muscle mitochondrial content. *J. Physiol.* JP277633. <https://doi.org/10.1113/JP277633>
- Magkos, F., Hjorth, M.F., Astrup, A., 2020. Diet and exercise in the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus. *Nat. Rev. Endocrinol.* <https://doi.org/10.1038/s41574-020-0381-5>
- Magkos, F., Manios, Y., Christakis, G., Kafatos, A.G., 2005. Secular trends in cardiovascular risk factors among school-aged boys from Crete, Greece, 1982-2002. *Eur. J. Clin. Nutr.* 59, 1–7. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602023>

- Maimoun, L., Coste, O., Georgopoulos, N.A., Roupas, N.D., Mahadea, K.K., Tsouka, A., Mura, T., Philibert, P., Gaspari, L., Mariano-Goulart, D., Leglise, M., Sultan, C., 2013. Despite a high prevalence of menstrual disorders, bone health is improved at a weight-bearing bone site in world-class female rhythmic gymnasts. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 98, 4961–4969. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-2794>
- Maïmoun, L., Georgopoulos, N.A., Sultan, C., 2014. Endocrine disorders in adolescent and young female athletes: Impact on growth, menstrual cycles, and bone mass acquisition. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 99, 4037–4050. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-3030>
- Makrecka-Kuka, M., Liepinsh, E., Murray, A.J., Lemieux, H., Dambrova, M., Tepp, K., Puurand, M., Käämbre, T., Han, W.H., de Goede, P., O'Brien, K.A., Turan, B., Tuncay, E., Olgar, Y., Rolo, A.P., Palmeira, C.M., Boardman, N.T., Wüst, R.C.I., Larsen, T.S., 2020. Altered mitochondrial metabolism in the insulin-resistant heart. *Acta Physiol.* <https://doi.org/10.1111/apha.13430>
- Malik, A.A., Williams, C.A., Weston, K.L., Barker, A.R., 2017. Perceptual Responses to High- and Moderate-Intensity Interval Exercise in Adolescents. *Med. Sci. Sport. Exerc.* 1. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001508>
- Manios, Y., Vlachopapadopoulou, E., Moschonis, G., Karachaliou, F., Psaltopoulou, T., Koutsouki, D., Bogdanis, G., Carayanni, V., Hatzakis, A., Michalacos, S., 2016. Utility and applicability of the “Childhood Obesity Risk Evaluation” (CORE)-index in predicting obesity in childhood and adolescence in Greece from early life: the “National Action Plan for Public Health.” *Eur. J. Pediatr.* 175. <https://doi.org/10.1007/s00431-016-2799-2>
- Martin, A., Booth, J.N., Laird, Y., Sproule, J., Reilly, J.J., Saunders, D.H., 2018a. Physical activity, diet and other behavioural interventions for improving cognition and school achievement in children and adolescents with obesity or overweight. *Cochrane Database Syst. Rev.* <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009728.pub3>
- Martin, A., Booth, J.N., Laird, Y., Sproule, J., Reilly, J.J., Saunders, D.H., 2018b. Physical activity, diet and other behavioural interventions for improving cognition and school achievement in children and adolescents with obesity

- or overweight. *Cochrane Database Syst. Rev.* 3, CD009728. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009728.pub4>
- Martinez, N., Kilpatrick, M.W., Salomon, K., Jung, M.E., Little, J.P., 2015. Affective and enjoyment responses to high-intensity interval training in overweight-to-obese and insufficiently active adults. *J. Sport Exerc. Psychol.* 37, 138–149. <https://doi.org/10.1123/jsep.2014-0212>
- Martins, C., Aschehoug, I., Ludviksen, M., Holst, J., Finlayson, G., Wisloff, U., Morgan, L., King, N., Kulseng, B., 2017. High-Intensity Interval Training, Appetite, and Reward Value of Food in the Obese. *Med. Sci. Sports Exerc.* 49, 1851–1858. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001296>
- Martland, R., Mondelli, V., Gaughran, F., Stubbs, B., 2020. Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes? A meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan. *J. Sports Sci.* 38, 430–469. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1706829>
- McMurray, R.G., Zaldivar, F., Galassetti, P., Larson, J., Eliakim, A., Nemet, D., Cooper, D.M., 2007. Cellular immunity and inflammatory mediator responses to intense exercise in overweight children and adolescents. *J. Investig. Med.* 55, 120–9. <https://doi.org/10.2310/6650.2007.06031>
- Metcalf, R.S., Koumanov, F., Ruffino, J.S., Stokes, K.A., Holman, G.D., Thompson, D., Vollaard, N.B.J., 2015. Physiological and molecular responses to an acute bout of reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT). *Eur. J. Appl. Physiol.* 115, 2321–2334. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3217-6>
- Morris, A., Cramb, R., Dodd-Reynolds, C.J., 2018. Food intake and appetite following school-based high-intensity interval training in 9-11-year-old children. *J. Sports Sci.* 36, 286–292. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1302599>
- Müller, T.D., Nogueiras, R., Andermann, M.L., Andrews, Z.B., Anker, S.D., Argente, J., Batterham, R.L., Benoit, S.C., Bowers, C.Y., Broglio, F., Casanueva, F.F., D'Alessio, D., Depoortere, I., Geliebter, A., Ghigo, E., Cole, P.A., Cowley, M., Cummings, D.E., Dagher, A., Diano, S., Dickson, S.L., Diéguez, C., Granata, R., Grill, H.J., Grove, K., Habegger, K.M., Heppner, K., Heiman, M.L., Holsen, L., Holst, B., Inui, A., Jansson, J.O., Kirchner, H., Korbonits, M., Laferrère, B., LeRoux, C.W., Lopez, M.,

- Morin, S., Nakazato, M., Nass, R., Perez-Tilve, D., Pfluger, P.T., Schwartz, T.W., Seeley, R.J., Sleeman, M., Sun, Y., Sussel, L., Tong, J., Thorner, M.O., van der Lely, A.J., van der Ploeg, L.H.T., Zigman, J.M., Kojima, M., Kangawa, K., Smith, R.G., Horvath, T., Tschöp, M.H., 2015. Ghrelin. *Mol. Metab.* <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2015.03.005>
- Myer, G.D., Jayanthi, N., Difiori, J.P., Faigenbaum, A.D., Kiefer, A.W., Logerstedt, D., Micheli, L.J., 2015. Sport Specialization, Part I: Does Early Sports Specialization Increase Negative Outcomes and Reduce the Opportunity for Success in Young Athletes? *Sports Health* 7, 437–442. <https://doi.org/10.1177/1941738115598747>
- Myer, G.D., Jayanthi, N., DiFiori, J.P., Faigenbaum, A.D., Kiefer, A.W., Logerstedt, D., Micheli, L.J., 2016. Sports Specialization, Part II: Alternative Solutions to Early Sport Specialization in Youth Athletes. *Sports Health* 8, 65–73. <https://doi.org/10.1177/1941738115614811>
- Narzisi, K., Simons, J., 2020. Interventions that prevent or reduce obesity in children from birth to five years of age: A systematic review. *J. Child Heal. Care.* <https://doi.org/10.1177/1367493520917863>
- Nassis, G.P., Papantakou, K., Skenderi, K., Triandafillopoulou, M., Kavouras, S.A., Yannakoulia, M., Chrousos, G.P., Sidossis, L.S., 2005. Aerobic exercise training improves insulin sensitivity without changes in body weight, body fat, adiponectin, and inflammatory markers in overweight and obese girls. *Metabolism.* <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2005.05.013>
- Ness, A.R., Leary, S.D., Mattocks, C., Blair, S.N., Reilly, J.J., Wells, J., Ingle, S., Tilling, K., Smith, G.D., Riddoch, C., 2007. Objectively measured physical activity and fat mass in a large cohort of children. *PLoS Med.* 4, 476–484. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040097>
- Newton, K.P., Hou, J., Crimmins, N.A., Lavine, J.E., Barlow, S.E., Xanthakos, S.A., Africa, J., Behling, C., Donithan, M., Clark, J.M., Schwimmer, J.B., 2016. Prevalence of prediabetes and type 2 diabetes in children with nonalcoholic fatty liver disease. *JAMA Pediatr.* 170, 161971. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2016.1971>
- O'Donovan, G., Blazevich, A.J., Boreham, C., Cooper, A.R., Crank, H., Ekelund, U., Fox, K.R., Gately, P., Giles-Corti, B., Gill, J.M.R., Hamer, M., McDermott, I., Murphy, M., Mutrie, N., Reilly, J.J., Saxton, J.M.,

- Stamatakis, E., 2010. The ABC of physical activity for health: A consensus statement from the British association of sport and exercise sciences. *J. Sports Sci.* 28, 573–591. <https://doi.org/10.1080/02640411003671212>
- Pafili, Z.K.Z.K., Bogdanis, G.C.G.C., Tsetsonis, N.V.N. V, Maridaki, M., 2009. Postprandial lipemia 16 and 40 hours after low-volume eccentric resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41, 375–82. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818703ec>
- Paltoglou, G., Fatouros, I.G., Valsamakis, G., Schoina, M., Avloniti, A., Chatzinikolaou, A., Kambas, A., Draganidis, D., Mantzou, A., Papagianni, M., Kanaka-Gantenbein, C., Chrousos, G.P., Mastorakos, G., 2015. Antioxidation improves in puberty in normal weight and obese boys, in positive association with exercise-stimulated growth hormone secretion. *Pediatr. Res.* 78, 158–164. <https://doi.org/10.1038/pr.2015.85>
- Parker, L.T., LaBotz, M., 2020. Sport specialization in young athletes. *JAAPA*. <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000615504.85054.fd>
- Pate, R.R., 1983. A new definition of youth fitness. *Phys. Sportsmed.* 11, 77–83. <https://doi.org/10.1080/00913847.1983.11708509>
- Pollock, N.K., Bernard, P.J., Wenger, K., Misra, S., Gower, B.A., Allison, J.D., Zhu, H., Davis, C.L., 2010. Lower bone mass in prepubertal overweight children with prediabetes. *J. Bone Miner. Res.* 25, 2760–2769. <https://doi.org/10.1002/jbmr.184>
- Ratel, S., Blazevich, A.J., 2017. Are Prepubertal Children Metabolically Comparable to Well-Trained Adult Endurance Athletes? *Sport. Med.* 47, 1477–1485. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0671-1>
- Ratel, S., Lazaar, N., Williams, C.A., Bedu, M., Duché, P., 2003. Age differences in human skeletal muscle fatigue during high-intensity intermittent exercise. *Acta Paediatr.* 92, 1248–54.
- Reinehr, T., Wabitsch, M., Kleber, M., de Sousa, G., Denzer, C., Toschke, A.M., 2009. Parental diabetes, pubertal stage, and extreme obesity are the main risk factors for prediabetes in children and adolescents: A simple risk score to identify children at risk for prediabetes. *Pediatr. Diabetes* 10, 395–400. <https://doi.org/10.1111/j.1399-5448.2008.00492.x>
- Roupas, N.D., Georgopoulos, N.A., 2011. Menstrual function in sports. *Hormones* 10, 104–116. <https://doi.org/10.14310/horm.2002.1300>

- Rovira-Llopis, S., Bañuls, C., Diaz-Morales, N., Hernandez-Mijares, A., Rocha, M., Victor, V.M., 2017. Mitochondrial dynamics in type 2 diabetes: Pathophysiological implications. *Redox Biol.* <https://doi.org/10.1016/j.redox.2017.01.013>
- Rowland, T.W., 2015. Physiological Aspects of Early Specialized Athletic Training in Children. *Kinesiol. Rev.* 4, 279–291.
- Rughani, A., Friedman, J.E., Tryggstad, J.B., 2020. Type 2 Diabetes in Youth: the Role of Early Life Exposures. *Curr. Diab. Rep.* <https://doi.org/10.1007/s11892-020-01328-6>
- Salagas, A., Donti, O., Bogdanis, G.C., 2019. Heart Rate Responses during High-Intensity Functional Training in Child Female Gymnasts. *Proceedings* 25, 31. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019025031>
- Silva, J.R., Brito, J., Akenhead, R., Nassis, G.P., 2016. The Transition Period in Soccer: A Window of Opportunity. *Sports Med.* 46, 305–13. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0419-3>
- Sim, A.Y., Wallman, K.E., Fairchild, T.J., Guelfi, K.J., 2015. Effects of high-intensity intermittent exercise training on appetite regulation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 47, 2441–2449. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000687>
- Sirico, F., Bianco, A., D’Alicandro, G., Castaldo, C., Montagnani, S., Spera, R., Di Meglio, F., Nurzynska, D., 2018. Effects of Physical Exercise on Adiponectin, Leptin, and Inflammatory Markers in Childhood Obesity: Systematic Review and Meta-Analysis. *Child. Obes.* <https://doi.org/10.1089/chi.2017.0269>
- Sperlich, B., Zinner, C., Heilemann, I., Kjendlie, P.L., Holmberg, H.C., Mester, J., 2010. High-intensity interval training improves VO₂peak, maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11-year-old swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110, 1029–1036. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1586-4>
- Stamatakis, E., Johnson, N.A., Powell, L., Hamer, M., Rangul, V., Holtermann, A., 2019. Short and sporadic bouts in the 2018 US physical activity guidelines: Is high-intensity incidental physical activity the new HIIT? *Br. J. Sports Med.* <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100397>

- Stavrinou, P.S., Bogdanis, G.C., Giannaki, C.D., Terzis, G., Hadjicharalambous, M., 2018. High-intensity Interval Training Frequency: Cardiometabolic Effects and Quality of Life. *Int. J. Sports Med.* 39, 210–217. <https://doi.org/10.1055/s-0043-125074>
- Stork, M.J., Banfield, L.E., Gibala, M.J., Martin Ginis, K.A., 2017. A scoping review of the psychological responses to interval exercise: Is interval exercise a viable alternative to traditional exercise? *Health Psychol. Rev.* 1–47. <https://doi.org/10.1080/17437199.2017.1326011>
- Swain, D.P., Abernathy, K.S., Smith, C.S., Lee, S.J., Bunn, S.A., 1994. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, 112–6.
- Tolfrey, K., Thackray, A.E., Barrett, L.A., 2014. Acute exercise and postprandial lipemia in young people. *Pediatr. Exerc. Sci.* 26, 127–37. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0126>
- Tonson, A., Ratel, S., Le Fur, Y., Vilmen, C., Cozzone, P.J., Bendahan, D., 2010. Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative ³¹P-MRS analysis. *J. Appl. Physiol.* 109, 1769–1778. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01423.2009>
- Trapp, E., Heydari, M., Freund, J., Boutcher, S.H., 2008. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int. J. Obes.* <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803781>
- Tremblay, M.S., LeBlanc, A.G., Carson, V., Choquette, L., Gorber, S.C., Dillman, C., Duggan, M., Gordon, M.J., Hicks, A., Janssen, I., Kho, M.E., Latimer-Cheung, A.E., LeBlanc, C., Murumets, K., Okely, A.D., Reilly, J.J., Spence, J.C., Stearns, J.A., Timmons, B.W., 2012. Canadian physical activity guidelines for the early years (aged 0-4 years). *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 37, 345–356. <https://doi.org/10.1139/H2012-018>
- Tsetsonis, N. V., Hardman, A.E., 1996. Reduction in postprandial lipemia after walking: influence of exercise intensity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28, 1235–1242.
- Tsolakis, C., Bogdanis, G.C.G.C., 2012. Acute effects of two different warm-up protocols on flexibility and lower limb explosive performance in male and female high level athletes. *J. Sports Sci. Med.* 11, 669–675.

- Tudor-Locke, C., Bassett, D.R., 2004. How Many Steps/Day Are Enough? Preliminary Pedometer Indices for Public Health. *Sport. Med.* <https://doi.org/10.2165/00007256-200434010-00001>
- Tudor-Locke, C., Williams, J.E., Reis, J.P., Pluto, D., 2004. Utility of pedometers for assessing physical activity: Construct validity. *Sport. Med.* <https://doi.org/10.2165/00007256-200434050-00001>
- van Biljon, A., McKune, A.J., DuBose, K.D., Kolanisi, U., Semple, S.J., 2018. Do Short-Term Exercise Interventions Improve Cardiometabolic Risk Factors in Children? *J. Pediatr.* 203, 325–329. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.07.067>
- Venetsanou, F., Kambas, A., Gourgoulis, V., Yannakoulia, M., 2019. Physical activity in pre-school children: Trends over time and associations with body mass index and screen time. *Ann. Hum. Biol.* 46, 393–399. <https://doi.org/10.1080/03014460.2019.1659414>
- Vézina, F., Williams, T.D., Piersma, T., Guy Morrison, R.I., 2012. Phenotypic compromises in a long-distance migrant during the transition from migration to reproduction in the High Arctic. *Funct. Ecol.* 26, 500–512. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01955.x>
- Vlachopapadopoulou, E., Psaltopoulou, T., Karachaliou, F., Koutsouki, D., Manios, Y., Bogdanis, G., C., Karagianni, V., Sergentanis, T., Panagiotopoulos, I., Papadopoulou, A., Hatzakis, A., Michalakos, S., 2015. Prevalence of obesity in students of elementary schools. Impact of socioeconomic factors. Data from the Hellenic national action plan for the assessment, prevention and treatment of childhood obesity. *Obes. Facts* 8, 201–202.
- Vlachopoulos, D., Barker, A.R., Ubago-Guisado, E., Fatouros, I.G., Knapp, K.M., Williams, C.A., Gracia-Marco, L., 2017. Longitudinal Adaptations of Bone Mass, Geometry, and Metabolism in Adolescent Male Athletes: The PRO-BONE Study. *J. Bone Miner. Res.* 32, 2269–2277. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3206>
- Vlachopoulos, D., Barker, A.R., Ubago-Guisado, E., Ortega, F.B., Krstrup, P., Metcalf, B., Castro Pinero, J., Ruiz, J.R., Knapp, K.M., Williams, C.A., Moreno, L.A., Gracia-Marco, L., 2018a. The effect of 12-month participation in osteogenic and non-osteogenic sports on bone development

- in adolescent male athletes. The PRO-BONE study. *J. Sci. Med. Sport* 21, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.08.018>
- Vlachopoulos, D., Barker, A.R., Ubago-Guisado, E., Williams, C.A., Gracia-Marco, L., 2018b. A 9-Month jumping intervention to improve bone geometry in adolescent male athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 50, 2544–2554. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001719>
- Wang, Y., Lobstein, T., 2006. Worldwide trends in childhood overweight and obesity. *Int. J. Pediatr. Obes.* 1, 11–25. <https://doi.org/10.1080/17477160600586747>
- Weijers, R.N., 2020. Fundamentals about onset and progressive disease character of type 2 diabetes mellitus. *World J. Diabetes* 11, 165–181. <https://doi.org/10.4239/wjd.v11.i5.165>
- World Health Organization, 2016. Obesity and overweight [www Document]. URL <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (accessed 8.15.20).
- Zafeiridis, A., Goloi, E., Petridou, A., Dipla, K., Mougios, V., Kellis, S., 2007. Effects of low- and high-volume resistance exercise on postprandial lipaemia. *Br. J. Nutr.* 97, 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0007114507336787>
- Zafeiridis, A., Rizos, S., Sarivasiliou, H., Kazias, A., Dipla, K., Vrabas, I.S., 2011. The extent of aerobic system activation during continuous and interval exercise protocols in young adolescents and men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 36, 128–136. <https://doi.org/10.1139/H10-096>
- Zafeiridis, A., Sarivasiliou, H., Dipla, K., Vrabas, I.S., 2010. The effects of heavy continuous versus long and short intermittent aerobic exercise protocols on oxygen consumption, heart rate, and lactate responses in adolescents. *Eur. J. Appl. Physiol.* 110, 17–26. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1467-x>

Καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές από τη γύμναση κατά την παιδική και εφηβική ηλικία: Εφαρμογές στα προγράμματα υγείας

Νικόλαος Κουτλιάνος

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται αρχικά μια περιγραφή των βασικών στοιχείων ανατομίας και φυσιολογίας του κυκλοφορικού και αναπνευστικού συστήματος, αναφέρονται οι κύριες οξείες καρδιοαναπνευστικές ανταποκρίσεις κατά την άσκηση και οι χρόνιες καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές από τη γύμναση. Επιπλέον, σε ειδική ενότητα στο τέλος του κεφαλαίου αναλύονται θέματα προασκησιακού ιατρικού ελέγχου για την προάσπιση της υγείας των νεαρών αθλουμένων. Ειδικότερα, το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε 4 κύριες ενότητες. Η 1^η ενότητα περιλαμβάνει τις βασικές γνώσεις ανατομίας και φυσιολογίας του κυκλοφορικού συστήματος, τον ορισμό των κυριότερων καρδιολογικών όρων, τις οξείες ανταποκρίσεις του κυκλοφορικού συστήματος και τις χρόνιες μορφολογικές και λειτουργικές καρδιαγγειακές ασκησιογενείς προσαρμογές στην παιδική και εφηβική ηλικία. Η 2^η ενότητα πραγματεύεται τα αντίστοιχα θέματα στο αναπνευστικό σύστημα. Η 3^η ενότητα παρουσιάζει τις κυριότερες πληροφορίες για την εργοσπιρομετρία στην παιδική και εφηβική ηλικία σε συνάρτηση με την αξιολόγηση των μετρούμενων εργοσπιρομετρικών δεικτών. Η 4^η ενότητα παραθέτει διεξοδικά όλα τα νεότερα δεδομένα για το πρωτόκολλο των ιατρικών εξετάσεων στις οποίες θα πρέπει να υποβάλλεται το παιδί ή ο έφηβος πριν από την ενασχόλησή του με τη συστηματική άσκηση και τον αθλητισμό.

Η τακτική συμμετοχή σε φυσικές δραστηριότητες είτε με τη μορφή παιχνιδιού είτε με τη μορφή γύμνασης και ενασχόλησης με αθλητικές δραστηριότητες κρίνεται απαραίτητη για την ομαλή βιολογική-κινητική, ψυχική και κοινωνική ανάπτυξη του παιδιού και του εφήβου αλλά και για την προάσπιση της υγείας τους απέναντι σε παράγοντες αυξημένου κινδύνου όπως είναι η παχυσαρκία (Floriani and Kennedy, 2007; Merchant et al., 2007; Tolfrey et al., 1998). Ο έφηβος και ιδιαίτε-

ρα το παιδί δε θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ενήλικες καθώς δεν ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο στην άσκηση ενώ επιπρόσθετα δεν έχουν αποσαφηνιστεί ακόμη πολλές βιολογικές παράμετροι στα παιδιά (Craig et al., 1996; Ganley, 2000; Jackson et al., 1999; Nassis and Sidossis, 2006; Clement et al., 2020). Επί αξιολόγησης της λειτουργικής ικανότητας των παιδιών θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπ' όψη η σκελετική ανάπτυξη και η ανάπτυξη του φύλου καθώς η βιολογική ηλικία των παιδιών δε συμβαδίζει πάντα με τη χρονολογική (απόκλιση βιολογικής ηλικίας: ± 2 έτη από τη χρονολογική).

Τα δύο φύλα παρουσιάζουν περίπου όμοια ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά μέχρι μόνο την προεφηβεία καθώς τα κορίτσια ωριμάζουν βιολογικά νωρίτερα συγκριτικά με τα αγόρια εισερχόμενα στην εφηβική περίοδο. Η βιολογική ωρίμανση επιταχύνεται κατά την ήβη, κατά την οποία παρατηρείται απότομη αλλά διαφορετική σε βαθμό μεταξύ των δύο φύλων αύξηση του σωματικού ύψους και βάρους, καθώς και διαφοροποίηση της λιπώδους μάζας σώματος. Τα αγόρια υπολείπονται σε ανάπτυξη περίπου 2 έτη κατά την προεφηβεία (10-12 έτη) συγκριτικά με τα κορίτσια. Επιπλέον, κατά την προεφηβική ηλικία και ειδικότερα στην περίοδο της ταχείας αύξησης του ύψους, τα αγόρια εμφανίζουν μειωμένες τιμές υποδόριου λιπώδους ιστού ενώ στα κορίτσια παρατηρείται ήδη από την ηλικία των 9 ετών προοδευτική αύξηση της λιπώδους μάζας προκειμένου να επιτευχθεί η εμμηναρχή. Ως κριτικό βάρος και ποσοστό σωματικού λίπους για την εμμηναρχή αναφέρονται τα 47 kg και το 22%, αντίστοιχα (Mohamad et al., 2013; Yermachenko et al., 2014).

Κυκλοφορικό σύστημα

Βασικές γνώσεις ανατομίας & φυσιολογίας

Η καρδιά αποτελεί ένα κοίλο μυώδες όργανο, σχήματος και μεγέθους περίπου γροθιάς που είναι τοποθετημένο εντός της θωρακικής κοιλότητας οπισθοστερνικά. Ο καρδιακός μυς ή μυοκάρδιο είναι ένας γραμμωτός μυς με λειτουργικές και μορφολογικές ιδιότητες αντίστοιχες των γραμμωτών σκελετικών μυών αλλά και με αρκετές ιδιαιτερότητες. Ειδικότερα, το μυοκάρδιο αποτελείται από 4 κοιλότητες: Δύο κόλπους και δύο κοιλίες. Οι κόλποι (δεξιός και αριστερός) επικοινωνούν με τις κοιλίες μέσω των κολποκοιλιακών βαλβίδων και ειδικότερα, ανάμεσα στο δεξιό κόλπο και τη δεξιά κοιλία παρεμβάλλεται η τριγλώχινα βαλβίδα ενώ η μι-

τροχειδής βαλβίδα ανευρίσκεται ανάμεσα στον αριστερό κόλπο και την αριστερή κοιλία. Οι μηνοειδείς βαλβίδες εμποδίζουν την παλινδρόμηση του αίματος προς την καρδιακές κοιλίες. Ειδικότερα, η πνευμονική βαλβίδα μεσολαβεί στην επικοινωνία μεταξύ της δεξιάς κοιλίας και των πνευμονικών αρτηριών και η αορτική βαλβίδα παρεμβάλλεται μεταξύ της αριστερής κοιλίας και της αορτής. Οι κόλποι διαχωρίζονται μεταξύ τους με την παρεμβολή του μεσοκοιλιακού διαφράγματος και οι κοιλίες με το μεσοκοιλιακό διάφραγμα. Η αιμάτωση του μυοκαρδίου πραγματοποιείται με τη δεξιά και την αριστερή στεφανιαία αρτηρία με κυριότερους κλάδους την περισπώμενη και τον πρόσθιο κατιόντα κλάδο.

Η μικρή κυκλοφορία του αίματος αρχίζει με τη συλλογή του μέσω της άνω και κάτω κοίλης φλέβας εκβάλλοντας στο δεξιό κόλπο. Ακολουθώντας, το αίμα διέρχεται μέσω της ανοικτής τριγλώχινας βαλβίδας στη δεξιά κοιλία ενώ η σύσπαση του δεξιού κόλπου συμβάλει στην επιπλέον πλήρωσή της. Η δεξιά κοιλία με τη συστολή της εξωθεί το αίμα προς τις πνευμονικές αρτηρίες δια μέσου της πνευμονικής βαλβίδας. Στους πνεύμονες επιτελείται ταχύτατα η οξυγόνωση του αίματος στα πνευμονικά τριχοειδή (μέσα σε λιγότερο από 300 msec) και επιστρέφει στον αριστερό κόλπο με τις πνευμονικές φλέβες. Το οξυγονωμένο αίμα ρέει από τον αριστερό κόλπο προς την αριστερή κοιλία διαμέσου της μιτροειδούς βαλβίδας και ο αριστερός κόλπος συστέλλεται διοχετεύοντας επιπρόσθετη ποσότητα αίματος προς την αριστερή κοιλία. Η σύσπαση της αριστερής κοιλίας και η έξοδος του αίματος προς την αορτή διαμέσου της αορτικής βαλβίδας οριοθετεί την ολοκλήρωση της μικρής κυκλοφορίας. Η μεγάλη κυκλοφορία του αίματος αρχίζει με την έξοδο του αίματος από την αριστερή κοιλία προς το αορτικό τόξο. Το αίμα που διοχετεύεται από την αριστερή κοιλία στην αορτή διανέμεται τελικά σε όλο το σώμα μέσω των αρτηριών και μικρότερων αρτηριακών κλάδων (αρτηρίδια). Τα αρτηρίδια μεταπίπτουν στα αρτηριακά τριχοειδή και τα τελευταία καταλήγουν σε ένα δίκτυο από ιδιαίτερα μικρά σε μέγεθος αιμοφόρα αγγεία (τριχοειδή αγγεία) με τα οποία πραγματοποιείται η απόδοση θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου στους ιστούς και η απομάκρυνση παραγόμενων προϊόντων του μεταβολισμού. Η συνέχεια του αγγειακού δένδρου περιλαμβάνει αδρά τα φλεβίδια, τα οποία τροφοδοτούνται με αποξυγονωμένο αίμα από τα τριχοειδή αγγεία, τις φλέβες οι οποίες καταλήγουν στην άνω και στην κάτω κοίλη φλέβα και τις τελευταίες με τη σειρά τους να καταλήγουν στο δεξιό κόλπο, τερματίζοντας τη μεγάλη κυκλοφορία (συστηματική κυκλοφορία).

Το μυοκάρδιο νευρώνεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα (συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό) ενώ παρουσιάζει αυτοματία, δηλαδή συστέλλεται αυτόματα με συχνότητα περίπου 72 σφύξεων/λεπτό. Η διάδοση του ερεθίσματος αρχίζει από το φλεβόκομβο (συχνότητα εκπόλωσης 72/λεπτό), ακολούθως διαμέσου ειδικών δεματιών το ερέθισμα άγεται στον κολποκοιλιακό κόμβο (συχνότητα εκπόλωσης 60/λεπτό), στο δεμάτιο του His, στο δεξιό και αριστερό κλάδο του δεματίου του His και καταλήγει υπενδοκαρδιακά στις ίνες του Purkinje (συχνότητα εκπόλωσης 30/λεπτό).

Κύρια πηγή ενέργειας του μυοκαρδίου στην ηρεμία αποτελούν τα ελεύθερα λιπαρά οξέα.

Κύριοι καρδιολογικοί όροι

Όγκος παλμού: Η ποσότητα αίματος που εξωθείται από την κοιλία σε κάθε καρδιακή συστολή (φυσιολογικές τιμές ενήλικα 65-80 ml ενώ στα παιδιά οι τιμές κατέρχονται ανάλογα με την ηλικία).

Κλάσμα εξώθησης: Η εκατοστιαία αναλογία που προκύπτει από τον όγκο παλμού και τον τελοδιαστολικό όγκο αίματος της κοιλίας (φυσιολογική τιμή >50%).

Καρδιακή παροχή: Καρδιακή συχνότητα x όγκος παλμού (περίπου 5 λίτρα/λεπτό στην ηρεμία – π.χ. 100 σφύξεις/λεπτό x 50 ml όγκο παλμού = 5.000 ml).

Αρτηριακή πίεση: Καρδιακή παροχή x περιφερικές αγγειακές αντιστάσεις (φυσιολογικές τιμές ενήλικα στην ηρεμία 120/80 mmHg ενώ στα παιδιά οι τιμές κατέρχονται ανάλογα με την ηλικία και το ανάστημα του παιδιού).

Οξείες ανταποκρίσεις κατά την άσκηση

Κατά την έναρξη μιας φυσικής δραστηριότητας, η καρδιακή συχνότητα αυξάνεται προοδευτικά. Τιμές καρδιακής συχνότητας ηρεμίας 80-100 σφύξεις/λεπτό είναι συνηθισμένες στην παιδική ηλικία και δε θα πρέπει να συγχέονται με ταχυκαρδία. Η προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα που μπορεί να επιτευχθεί υπολογίζεται με τον τύπο: 220 - ηλικία ± 10 σφυγμοί/λεπτό. Η προβλεπόμενη μέγιστη καρδιακή συχνότητα κατέρχεται 10 σφυγμούς/λεπτό επιπλέον όταν η άσκηση εκτελείται εντός υδάτινου περιβάλλοντος λόγω της εξωτερικής υδροστατικής πίεσης που ασκείται στη θωρακική κοιλότητα. Οι Christensen και Brandborg (1973) διαπίστωσαν ότι η αρχική αύξηση της καρδιακής συχνότητας κατά την άσκηση (οι 30 περίπου πρώτοι σφυγμοί) αποδίδεται στην άρση του τόνου του πα-

ρασυμπαθητικού και ακολούθως επικρατεί η διέγερση του τόνου του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Ο όγκος παλμού κατά την άσκηση αυξάνεται προοδευτικά και μπορεί να τριπλασιαστεί κατά την άσκηση υπομέγιστης έντασης. Στη μέγιστη προσπάθεια ο όγκος παλμού δε συνεχίζει να αυξάνεται παρουσιάζοντας σταθεροποίηση των τιμών του (plateau) λόγω της αυξημένης καρδιακής συχνότητας που δεν επιτρέπει τη μεγαλύτερη πλήρωση της κοιλίας με αίμα κατά τη μειωμένη σε διάρκεια διαστολική περίοδο του καρδιακού κύκλου. Η καρδιακή παροχή από 5-6 λίτρα/λεπτό στην ηρεμία είναι δυνατόν να αυξηθεί και σε τιμές άνω των 20 λίτρων/λεπτό κατά την έντονη αερόβια άσκηση στα παιδιά και τους εφήβους ενώ χαμηλότερες τιμές μέγιστης καρδιακής παροχής επισημαίνονται κατά την εκτέλεση ισομετρικών ασκήσεων. Επιπλέον, κατά την έντονη άσκηση παρατηρείται ανακατανομή της κυκλοφορίας του αίματος υπέρ των εργαζόμενων σκελετικών μυών (μέχρι και >80% του κυκλοφορούντος όγκου αίματος) και εις βάρος της σπλαχνικής κυκλοφορίας.

Η αρτηριακή πίεση κατά την αερόβια άσκηση αυξάνεται ως αποτέλεσμα κυρίως της αύξησης της καρδιακής παροχής. Κατά την εκτέλεση αερόβιου έργου με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση παρατηρείται αύξηση της συστολικής αρτηριακής πίεσης (μέχρι και >160 mmHg στα παιδιά), ενώ η διαστολική πίεση παραμένει σταθερή ή μειώνεται ελαφρά λόγω κυρίως της μείωσης των περιφερικών αγγειακών αντιστάσεων. Αντίθετα, κατά την εκτέλεση ισομετρικής άσκησης μέγιστης προσπάθειας, η αρτηριακή πίεση αυξάνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται τόσο η συστολική όσο και η διαστολική πίεση κυρίως λόγω αύξησης της ενδοθωρακικής πίεσης (μηχανισμός Valsalva). Στη σχετική βιβλιογραφία δεν αναφέρονται για τα παιδιά οι μέγιστες δυνατές τιμές της αρτηριακής πίεσης κατά την εκτέλεση έντονων ισομετρικών ασκήσεων (όπως π.χ. κατά την άρση βαρών) κυρίως λόγω της περιορισμένης ενασχόλησης με ανάλογες ασκήσεις στην παιδική ηλικία. Ωστόσο, τιμές αρτηριακής πίεσης 180/100 mmHg θα πρέπει να θεωρούνται αναμενόμενες στα παιδιά και ακόμη μεγαλύτερες στους εφήβους καθώς ο έφηβος ενηλικιώνεται. Στους ενήλικες έχουν αναφερθεί αντίστοιχες μέγιστες τιμές αρτηριακής πίεσης της τάξεως των 400/300 mmHg για τη συστολική και διαστολική πίεση, αντίστοιχα.

Κύρια πηγή ενέργειας του μυοκαρδίου κατά την άσκηση αποτελεί το γαλακτικό οξύ.

Χρόνιες προσαρμογές από τη γύμναση

Ασκησιογενείς λειτουργικές και μορφολογικές καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές παρατηρούνται κυρίως στους εφήβους αθλητές ενώ στα παιδιά τα σχετικά βιβλιογραφικά δεδομένα είναι περιορισμένα και συχνά αντικρουόμενα.

- Λειτουργικές προσαρμογές

Οι συχνότερες λειτουργικές μεταβολές του κυκλοφορικού συστήματος στους νεαρούς αθλητές είναι η βραδυκαρδία και οι διάφορες ηλεκτροκαρδιογραφικές μεταβολές όπως οι διαταραχές αγωγιμότητας (Coelho et al., 1986; Sharma et al., 1999; Pieleś et al., 2020). Η χαμηλότερη καρδιακή συχνότητα ηρεμίας που έχει μετρηθεί σε έφηβο αθλητή, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία είναι 28 σφυγμοί/λεπτό (Koutlianos et al., 2004^b), ενώ σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως κατά την κατάδυση με άπνοια σε μεγάλο βάθος παρατηρείται καρδιακή συχνότητα μικρότερη από 20 σφυγμούς/λεπτό λόγω όμως της τεράστιας υδροστατικής πίεσης που ασκείται στο θωρακικό τοίχωμα. Συνήθεις διαταραχές αγωγιμότητας που καταγράφονται ιδιαίτερα στους εφήβους αθλητές αερόβιων αγωνισμάτων είναι ο ατελής και ο πλήρης αποκλεισμός του δεξιού σκέλους του δεματίου του His, κολποκοιλιακοί αποκλεισμοί 1^{ου} και 2^{ου} βαθμού, ενώ είναι δυνατόν επίσης, να παρατηρηθούν σε καλά προπονημένους εφήβους αθλητές αντοχής φλεβοκομβικές παύσεις του καρδιακού ρυθμού διάρκειας άνω των 2,5 δευτερολέπτων (Bjornstad et al. 1993^a; Bjornstad et al., 1993^b; Hanne-Paparo et al., 1976; Holly et al., 1998; Link et al., 1999). Η κύρια αιτία για την εκδήλωση των ανωτέρω λειτουργικών καρδιακών προσαρμογών είναι η αύξηση της επίδρασης του τόνου του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος στην καρδιακή λειτουργία κατά την ηρεμία (Koutlianos et al., 2004^a, PellICCIA et al., 2000). Στα παιδιά, οι διάφορες ηλεκτροκαρδιογραφικές μεταβολές που παρατηρούνται στο ηλεκτροκαρδιογράφημα ηρεμίας οφείλονται περισσότερο στο νεαρό της ηλικίας (π.χ. ανεστραμμένα T στις προκάρδιες απαγωγές) και λιγότερο στην αναδιαμόρφωση του μυοκαρδίου λόγω της χρόνιας συστηματικής άσκησης η οποία άλλωστε εκλείπει στις περισσότερες των περιπτώσεων καθώς η πλειοψηφία των παιδιών που αθλούνται δεν έχει μεγάλη προπονητική ηλικία. Η πλειοψηφία των μελετών που έχουν διερευνήσει την επίδραση της συστηματικής αερόβιας άσκησης στη δράση του αυτόνομου νευρικού συστήματος στην καρδιακή λειτουργία στα παιδιά έχει διαπιστώσει αύξηση της παρασυμπαθητικοτονίας. Η αύξηση του τόνου του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος εκφράζεται κυρίως με την έλευση της βραδυκαρδίας

και την αύξηση της μεταβλητότητας της καρδιακής συχνότητας στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου (Koutlianos et al., 2004^a; Task Force ESC and NASPE, 1996). Ωστόσο, ένας περιορισμένος αλλά ικανός αριθμός μελετών σε παιδιά ηλικίας 10-12 ετών δεν έχει καταλήξει στα ίδια ευρήματα αναφορικά με τη δεκτικότητα για προσαρμογές του αυτόνομου νευρικού συστήματος στα ασκησιογενή ερεθίσματα (Vinet et al., 2005).

- Μορφολογικές προσαρμογές

Στους εφήβους αθλητές που ασκούνται συστηματικά με ισομετρικού τύπου ασκήσεις όπως είναι η πάλη ή η άρση βαρών, έχει διαπιστωθεί αυξημένη μάζα της αριστερής κοιλίας που οφείλεται σε αύξηση του πάχους τόσο του μεσοκοιλιακού διαφράγματος όσο και του οπισθίου τοιχώματος, ενώ η τελοδιαστολική διάμετρος της αριστερής κοιλίας φαίνεται πως παραμένει αμετάβλητη. Η προπόνηση με ισομετρικού τύπου ασκήσεις έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του καρδιακού μεταφορτίου, η οποία οδηγεί στην ακόλουθη αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων της αριστερής κοιλίας σύμφωνα με το νόμο του Laplace για την αντιστάθμιση των υψηλών πιέσεων που ασκούνται στην αριστερή κοιλία από την περιφέρεια κατά την εξώθηση του αίματος (George et al., 1991; Gilbert et al., 1977; Maron 1986).

Οι έφηβοι αθλητές που προπονούνται συστηματικά σε αθλήματα με δυναμικού τύπου ασκήσεις όπως είναι το τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων, παρουσιάζουν κυρίως αύξηση της τελοδιαστολικής διαμέτρου της αριστερής κοιλίας στην οποία αποδίδεται και η μερική αύξηση της μάζας της σε αυτούς τους αθλητές ενώ το πάχος του μεσοκοιλιακού και του ελεύθερου τοιχώματος παραμένουν στα φυσιολογικά όρια (<13mm) (PellICCIA et al., 1991). Το αυξημένο καρδιακό προφορτίο (τελοδιαστολικός όγκος αριστερής κοιλίας) είναι κυρίως υπεύθυνο για την αύξηση των διαστάσεων της αριστερής κοιλίας στους νεαρούς αθλητές αγωνισμάτων αντοχής.

Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι οι περισσότεροι έφηβοι όπως και οι ενήλικες αθλητές συμπεριλαμβάνουν τόσο δυναμικού όσο και ισομετρικού τύπου ασκήσεις στο προπονητικό τους πρόγραμμα (αθλητές ατομικών αθλημάτων όπως η ποδηλασία αλλά κυρίως αθλοπαιδιών) που έχουν ως αποτέλεσμα μικτές προσαρμογές που οφείλονται στη συνδυασμένη επίδραση του καρδιακού προφορτίου και μεταφορτίου (Pluim et al., 2000). Αυτές οι μορφολογικές προσαρμογές της αριστερής κοιλίας δε φαίνεται πάντως να επηρεάζουν τη συστολική ή τη διαστολική λει-

τουργία της, η οποία παραμένει σε φυσιολογικά επίπεδα (Nottin et al., 2004; Obert et al., 2005; Obert et al., 2007).

Οι χρόνιες ασκησιογενείς μορφολογικές καρδιακές προσαρμογές στην παιδική ηλικία τόσο στα αγόρια όσο και στα κορίτσια διαφέρουν από τις αντίστοιχες των ενηλίκων αλλά μερικώς και μεταξύ των δύο φύλων (Krysztofiak et al., 2020). Προπονητικά προγράμματα τόσο αερόβιας γύμνασης όσο και μυικής ενδυνάμωσης οδηγούν κυρίως σε μικρή υπερτροφία των καρδιακών τοιχωμάτων και αύξηση της διαμέτρου της δεξιάς κοιλίας και λιγότερο σε αυξημένη τελοδιαστολική διάμετρο της αριστερής κοιλίας (Obert et al., 2003; Rowland et al., 2003).

Η ανάπτυξη υπερτροφίας του μυοκαρδίου ως αποτέλεσμα συστηματικής άσκησης φαίνεται πως ίσως συνοδεύεται και από ανάλογη βελτίωση της αιμάτωσής του. Στους ενήλικες αθλητές, η συστηματική άσκηση και ιδιαίτερα αερόβια χαρακτηρίζεται ως οδηγός σε σχηματισμό νέων αρτηριδίων ενώ παράλληλα αυξάνεται η ενδοαυλική εγκάρσια διατομή των τριχοειδών αγγείων που ήδη υπάρχουν παράλληλα με την ανάπτυξη των μυοκαρδιακών κυττάρων (Brown, 2003). Ωστόσο, στους έφηβους και στα παιδιά δεν υπάρχουν αντίστοιχες ακόμη μελέτες που να επιβεβαιώνουν ή να διαψεύδουν τα ανωτέρω ευρήματα.

Αναπνευστικό σύστημα

Βασικές γνώσεις ανατομίας & φυσιολογίας

Τα κύρια όργανα για την τέλεση της αναπνευστικής λειτουργίας είναι οι δύο πνεύμονες (δεξιός-τρεις λοβοί και αριστερός-δύο λοβοί) και οι αεροφόροι οδοί του αναπνευστικού συστήματος που περιλαμβάνουν τη ρινική κοιλότητα, τον φάρυγγα, τον λάρυγγα, την τραχεία και τους 2 βασικούς στελεχειαίους βρόγχους. Ακολουθώς επέρχεται διαδοχική διακλάδωση του αναπνευστικού δένδρου σε μικρότερους βρόγχους και βρογχιόλια (έως και 25 στην περιοχή της γλωσσίδας) με κατάληξη τους αναπνευστικούς σάκους και τις αναπνευστικές κυψελίδες. Οι αναπνευστικές κυψελίδες των πνευμόνων ανέρχονται σε 300 εκατομμύρια και η ανταλλαγή των αερίων πραγματοποιείται με ταχύτατη διάχυσή τους δια μέσου της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης (Δεληγιάννης, 2016). Η ρύθμιση της αναπνευστικής λειτουργίας επιτελείται υπό τον έλεγχο του αναπνευστικού κέντρου που εδρεύει στον προμήκη μυελό και που δέχεται κεντρομόλα ερεθίσματα-πληροφορίες κυρίως από περιφερικούς χημειοϋποδοχείς (Δεληγιάννης, 2016). Η

διαμόρφωση της μερικής πίεσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο αίμα αποτελεί τον βασικό ρυθμιστή της αναπνευστικής λειτουργίας και η αύξηση του παραγόμενου όγκου του οδηγεί σε επίταση του αναπνευστικού έργου.

Κύριοι αναπνευστικοί όροι

Αναπνεόμενος όγκος αέρα: Ο όγκος του αέρα που εισπνέεται σε κάθε αναπνοή (περίπου 300 ml στα παιδιά και 400 ml στους εφήβους).

Συχνότητα αναπνοών: Ο αριθμός των αναπνοών ανά λεπτό (περίπου 18-20 αναπνοές/λεπτό στα παιδιά και 14-16 αναπνοές/λεπτό στους εφήβους στην ηρεμία).

Πνευμονικός αερισμός: Συχνότητα αναπνοών x αναπνεόμενος όγκος αέρα (περίπου 6 λίτρα/λεπτό στην ηρεμία).

Ζωτική χωρητικότητα: Η μέγιστη ποσότητα αέρα που προκύπτει από το άθροισμα του αναπνεόμενου όγκου αέρα, του εφεδρικού εισπνεόμενου όγκου και του εφεδρικού εκπνεόμενου όγκου αέρα.

Δυναμική ζωτική χωρητικότητα: Η μέγιστη ποσότητα όγκου αέρα που εκπνέεται σε μια βίαιη εκπνοή μετά από μέγιστη εισπνοή.

Οξείες ανταποκρίσεις κατά την άσκηση

Κατά την άσκηση έχει διαπιστωθεί ότι αυξάνεται σημαντικά ο πνευμονικός αερισμός μέχρι και πάνω από 100 λίτρα/λεπτό. Η αύξηση του πνευμονικού αερισμού στην παιδική αλλά και στην εφηβική ηλικία οφείλεται σε αύξηση τόσο της συχνότητας αναπνοών (40-50 αναπνοές/λεπτό) όσο και του αναπνεόμενου όγκου αέρα σε κάθε εισπνοή (1-2 λίτρα ανάλογα με την ηλικία και τη ζωτική χωρητικότητα). Η επιτάχυνση της αναπνευστικής λειτουργίας κατά την άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης ενισχύεται και από την αυξημένη παραγωγή CO₂ λόγω εκτέλεσης αναερόβιου έργου που οδηγεί σε επιπρόσθετη διέγερση του αναπνευστικού κέντρου και σε αύξηση του πνευμονικού αερισμού (Δεληγιάννης, 2016). Επιπλέον, κατά την άσκηση παρατηρείται αύξηση της αιμάτωσης των αναπνευστικών μυών αλλά και αύξηση της πνευμονικής αιμάτωσης προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα των πνευμονικών τριχοειδών για ανταλλαγή μεγαλύτερου όγκου αναπνευστικών αερίων ενώ παράλληλα διαπιστώνεται και επιτάχυνση της ικανότητας διάχυσής τους. Η διαχυτική ικανότητα του οξυγόνου κατά την άσκηση μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 300% της τιμής ηρεμίας ενώ η διάχυση του CO₂ μπορεί να γίνει έως και 20% ταχύτερα.

Χρόνιες προσαρμογές από τη γύμναση

Η χρόνια συστηματική προπόνηση επιφέρει προσαρμογές στον πνευμονικό αερισμό των νεαρών αθλητών. Οι προπονημένοι αερόβιοι έφηβοι αθλητές είναι δυνατόν να επιτύχουν τιμές πνευμονικού αερισμού ακόμη και >150 λίτρα αέρα/λεπτό, κυρίως με τη βελτίωση του αναπνεόμενου όγκου αέρα σε κάθε εισπνοή (μπορεί να υπερβεί τα 2,5 λίτρα) και λιγότερο μέσω αύξησης της συχνότητας αναπνοών. Μια άλλη σημαντική προσαρμογή του αναπνευστικού συστήματος που επέρχεται στους νεαρούς αθλητές με τη συστηματική άσκηση είναι η αύξηση της διαχυτικής ικανότητας των αερίων. Ο κύριος μηχανισμός για τη μεταβολή αυτή φαίνεται πως είναι η αύξηση της επιφάνειας διάχυσης, καθώς στους προπονημένους αθλητές (ιδιαίτερα σε αθλητές αερόβιων αγωνισμάτων) αυξάνεται ο αριθμός των πνευμονικών τριχοειδών που συμμετέχουν στην ανταλλαγή των αερίων διάμεσου της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης και τα οποία παραμένουν κλειστά στα νεαρά άτομα που δεν ασκούνται συστηματικά. Τα τριχοειδή αυτά αγγεία εντοπίζονται κυρίως στους άνω πνευμονικούς λοβούς και στα απροπόνητα άτομα συμμετέχουν μερικώς στην ανταλλαγή αερίων μόνο επί μέγιστης κόπωσης.

Η ζωτική χωρητικότητα δε φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από τη μακροχρόνια συστηματική άσκηση τόσο στα παιδιά όσο και στους εφήβους. Η τιμή της ζωτικής χωρητικότητας καθορίζεται κυρίως από ανατομικούς (κατασκευή θώρακα - ύψος ατόμου), περιβαλλοντικούς (υψόμετρο διαβίωσης) και κληρονομικούς παράγοντες και λιγότερο από τη γύμναση. Σε κάθε περίπτωση, όμως, οι ανωτέρω διαπιστώσεις ισχύουν για υγιείς νεαρούς αθλητές και όχι για παιδιά και εφήβους με παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος όπως πνευμονοπάθειες αποφρακτικού (π.χ. βρογχικό άσθμα) και περιοριστικού τύπου (διάμεσες πνευμονοπάθειες) στους οποίους οι αναπνευστικοί όγκοι και χωρητικότητες πράγματι βελτιώνονται με τη συμμετοχή τους σε προγράμματα γύμνασης. Αντίθετα με τη ζωτική χωρητικότητα, η πλειοψηφία των ερευνών υποστηρίζει πως η δυναμική ζωτική χωρητικότητα μπορεί να βελτιωθεί με τη συστηματική άσκηση τόσο στα παιδιά όσο και στους εφήβους, ιδιαίτερα με την κολύμβηση, κυρίως λόγω ενδυνάμωσης των αναπνευστικών μυών (διάφραγμα, έσω και έξω μεσοπλευρίοι μύες) (Δεληγιάννης, 2016).

Οι κυριότερες διαφοροποιήσεις οξέων καρδιαγγειακών και αναπνευστικών ανταποκρίσεων κατά την άσκηση τόσο υπομέγιστης όσο και μέγιστης έντασης στα παιδιά συγκριτικά με τους ενήλικες, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<i>Καρδιακή συχνότητα</i>	→	<i>Αυξημένη</i>
<i>Όγκος παλμού</i>	→	<i>Μειωμένος</i>
<i>Καρδιακή παροχή</i>	→	<i>Μειωμένη</i>
<i>Αρτηριοφλεβική διαφορά O₂</i>	→	<i>Αυξημένη</i>
<i>Αιματική ροή στους μύες</i>	→	<i>Αυξημένη</i>
<i>Συστολική-διαστολική πίεση</i>	→	<i>Μειωμένες</i>
<i>Αναπνευστική συχνότητα</i>	→	<i>Αυξημένη</i>
<i>Πνευμονικός αερισμός</i>	→	<i>Αυξημένος</i>

Εργοσπιρομέτρηση – καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές

Οι πιο σημαντικές βιολογικές παράμετροι που προσδιορίζονται κατά την εργομετρική αξιολόγηση της αερόβιας απόδοσης με την εργοσπιρομέτρηση είναι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$) και το αναερόβιο κατώφλι. Ως $\dot{V}O_{2max}$ ορίζεται το γινόμενο της μέγιστης καρδιακής παροχής επί τη μέγιστη αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max} = ΚΠ \times a-vO_2$). Παράδειγμα: Σε έναν προπονημένο αερόβια έφηβο, η καρδιακή παροχή αίματος από 5-6 λίτρα/λεπτό που είναι στην ηρεμία μπορεί να αυξηθεί στα 30 λίτρα/λεπτό και η αρτηριοφλεβική διαφορά O_2 από τα 5ml O_2 στην ηρεμία στα 15 ml κατά την άσκηση. Το αποτέλεσμα είναι 4500 ml O_2 που για ένα άτομο 70 κιλών αντιστοιχεί περίπου σε 64 ml O_2 /kg/min. Η μέση τιμή της $\dot{V}O_{2max}$ για τα μη αθλούμενα παιδιά και εφήβους είναι 40-44 ml/kg/min για τα αγόρια και 36-40 ml/kg/min για τα κορίτσια. Η τιμή των 63 ml/kg/min θεωρείται ως μια ικανή τιμή $\dot{V}O_{2max}$ για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων σε αγωνίσματα αντοχής κατά την εφηβική ηλικία.

Η μέγιστη αερόβια ικανότητα των παιδιών όπως προσδιορίζεται εργαστηριακά από τη $\dot{V}O_{2max}$ κατά προτίμηση στο δαπεδοεργόμετρο (Forbregd et al., 2019) έχει βρεθεί ότι δε διαφέρει σημαντικά με την αντίστοιχη εφήβων και ενηλίκων όταν εκφράζεται σε σχετικές τιμές (ml O_2 /kg/min) (Daniels et al., 1978; Armstrong, 2019). Επιπλέον, στην παιδική ηλικία δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στην αερόβια απόδοση μεταξύ αγοριών και κοριτσιών σε αντίθεση με την εφηβική και την ενήλικη περίοδο όπου οι διαφοροποιήσεις στη σωματική ανάπτυξη και ειδικότερα σε χαρακτηριστικά κυρίως του κυκλοφορικού, του αναπνευστικού και του μυϊκού συστήματος αλλά και του αιματολογικού (Armstrong et al., 2020) προφίλ (αιματοκρίτης, αιμοσφαιρίνη κ.α.), επιφέρουν μεταβολές στην αερόβια ικανότητα. Ειδικότερα, παρατηρείται μια υπεροχή των αρρένων έ-

ναντι των θηλέων ως προς τις τιμές της VO_2max σε ποσοστό περίπου 20%. Η διαφορά αυτή εξηγείται κυρίως από το γεγονός ότι οι άνδρες διαθέτουν μεγαλύτερη σκελετική μυϊκή μάζα, αυξημένους δείκτες καρδιακής παροχής, αιματοκρίτη και αιμοσφαιρίνης και μεγαλύτερες πνευμονικές χωρητικότητες.

Το αναερόβιο κατώφλι αποτελεί, επίσης, ένα σημαντικό καρδιοαναπνευστικό δείκτη και περιγράφει την πρόσληψη οξυγόνου κατά την κόπωση στην οποία μπορεί να φτάσει ο ασθενής χωρίς να παρουσιάζει σημαντική γαλακτική οξέωση. Συνήθως, αξιολογείται ως πιο σημαντικός δείκτης από τη VO_2max για αγωνίσματα διάρκειας άνω των 9 λεπτών (π.χ. 1500 μέτρα ελεύθερη κολύμβηση). Το αναπνευστικό αναερόβιο κατώφλι προσδιορίζεται εύκολα κατά την εργοσπιρομέτρηση από την ανάλυση των αναπνεόμενων αερίων και αντιστοιχεί στο χρονικό σημείο όπου ο ρυθμός αύξησης του εκπνεόμενου CO_2 υπερβαίνει τον ρυθμό αύξησης του προσλαμβανόμενου O_2 , ενώ παράλληλα παρατηρείται απότομη αύξηση του πνευμονικού αερισμού.

Αρκετές μελέτες (ακόμη και σε μονοζυγωτικούς διδύμους) έχουν διερευνήσει την επίδραση συστηματικών προγραμμάτων αερόβιας προπόνησης στη VO_2max τόσο στην παιδική όσο και στην προεφηβική ηλικία. Η πλειοψηφία τους δε διαπίστωσε σημαντική βελτίωση της αερόβιας ικανότητας των παιδιών που αθλούνται και το εύρημα αυτό αποδίδεται κυρίως σε ορμονικούς παράγοντες και στη γενικότερη σωματική ανάπτυξη του νεαρού αθλητή (Danis et al., 2003). Η βιολογική ωρίμανση του οργανισμού κατά την παιδική και εφηβική ηλικία συνοδεύεται και από έντονες ορμονικές μεταβολές η επίδραση των οποίων φαίνεται πως μπορεί να υπερβαίνει τις σημαντικές ασκησιογενείς αερόβιες προσαρμογές. Υποστηρίζεται, ωστόσο, πως με την αερόβια προπόνηση στην παιδική ηλικία επιτυγχάνονται σημαντικές προσαρμογές στο αναερόβιο κατώφλι και ότι το αναερόβιο γαλακτικό ή αναπνευστικό κατώφλι αποτελεί ίσως πιο αξιόπιστο δείκτη αερόβιων καρδιοαναπνευστικών προσαρμογών στα παιδιά από ό,τι η VO_2max (Danis et al., 2003).

Σημαντικές πληροφορίες για τις καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές των νεαρών αθλητών μπορούν να εξαχθούν και με τη μελέτη του ρυθμού αποκατάστασης διαφόρων καρδιοαναπνευστικών δεικτών και ιδιαίτερα της καρδιακής συχνότητας και της VO_2 μετά το πέρας της δοκιμασίας. Αξίζει, πάντως να αναφερθεί, ότι σχετικά πρόσφατα αρκετοί ερευνητές υποστήριξαν σε αντίθεση με τα ανωτέρω ότι γρηγορότερη αποκατάσταση δεν εμφανίζει υποχρεωτικά ο καλύτερος αεροβιακά αθλητής αλλά εκείνος που παρουσιάζει μεγαλύτερη παρασυμπαθητικοτονία π.χ.

χαμηλότερη καρδιακή συχνότητα ηρεμίας (Bosquet et al., 2007). Ωστόσο, όπως αναφέρθηκενωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο, αυξημένη δράση του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος ως αποτέλεσμα αερόβιας προπόνησης δεν παρατηρείται πάντα στην παιδική και εφηβική ηλικία.

Προαγωνιστικός ιατρικός έλεγχος νεαρών αθλητών

Η αύξηση του αριθμού των αθλητών οδηγεί και σε αύξηση των ασκησιογενών διαταραχών της υγείας τους (Korlan, 1979). Από αυτές η πλέον συχνή είναι η πρόκληση αθλητικών κακώσεων ενώ ασφαλώς η πιο δραματική είναι ο αιφνίδιος θάνατος καρδιακής ή άλλης αιτιολογίας. Το ποσοστό αιφνιδίου καρδιακού θανάτου ανέρχεται σε 1-3 περιπτώσεις ανά 100.000 αθλητές ανά έτος και σε πολλούς αθλητές συχνά προϋπάρχουν συμπτώματα και ενδείξεις υποκείμενης καρδιοπάθειας (Maron et al., 1986; Maron et al., 1996). Στα παιδιά και τους εφήβους, οι πιο συχνές καρδιοπάθειες που οδηγούν σε αιφνίδιο θάνατο κατά την άθληση ή σε άλλες σοβαρές καρδιακές διαταραχές είναι η υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια (κληρονομικά μεταδιδόμενη ασθένεια), οι συγγενείς ανωμαλίες των στεφανιαίων αγγείων αλλά και άγνωστα αίτια (Clark and Coats, 1993; Corrado et al., 1998; Maron 1999; Sharma et al., 2000, La Gerche et al., 2013; D'Silva et al., 2015).

Ο ορθός και πλήρης περιοδικός έλεγχος της υγείας των νεαρών αθλητών και ασκουμένων συμβάλλει καθοριστικά στον περιορισμό των διαταραχών αυτών (AHA, 1996). Σε χώρες με μεγάλη ιατρική και αθλητική παράδοση έχουν στο παρελθόν θεσπιστεί συγκεκριμένα κριτήρια με βάση διαγνωστικές τεχνικές για τον βαθμό επιτρεπόμενης αθλητικής δραστηριότητας σε νεαρά άτομα με καρδιοπάθειες (PellICCIA et al., 2005). Επιπλέον, έχουν προταθεί οι καρδιολογικές διαγνωστικές μέθοδοι που θα πρέπει να απαρτίζουν το πρωτόκολλο ιατρικού ελέγχου των αθλουμένων (Balady et al., 1998; McGrew, 1998). Σχετικά πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Καρδιολογική Εταιρεία εξέδωσε οδηγίες για τον προαγωνιστικό καρδιολογικό έλεγχο των αθλητών όλων των αθλημάτων (Corrado et al., 2005) καθώς και για την αντιμετώπιση των ασκουμένων με συγγενείς και επίκτητες καρδιοπάθειες (PellICCIA et al., 2005). Σύμφωνα με τις οδηγίες αυτές, που από το 2018 έχουν υιοθετηθεί και από την ελληνική πολιτεία, ο έλεγχος του κυκλοφορικού συστήματος σε όλους τους νεαρούς αθλούμενους για την υπογραφή του δελτίου υγείας τους, ανεξαρτήτως αθλήματος, θα πρέπει να διενεργείται με την έναρξη της

συστηματικής αθλητικής δραστηριότητας, συστηματικά ετησίως και **υποχρεωτικά** να περιλαμβάνει:

- Προσεκτική λήψη του ατομικού και οικογενειακού-κληρονομικού ιστορικού
- Φυσική εξέταση και
- Ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) ηρεμίας

Σε περιπτώσεις που από τον έλεγχο διαπιστωθούν «παθολογικά» ευρήματα, οι νεαροί αθλητές θα πρέπει να υποβάλλονται σε ειδικότερες διαγνωστικές δοκιμασίες όπως υπερηχοκαρδιογραφικός έλεγχος και δοκιμασία κόπωσης, ενώ για τη διερεύνηση αρρυθμιών εφαρμόζονται αναίμακτες (24ωρη καταγραφή του ΗΚΓ) ή/και αιματηρές εξετάσεις (καθετηριασμός). Το υπερηχοκαρδιογράφημα χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στη διερεύνηση των μορφολογικών και λειτουργικών προσαρμογών του μυοκαρδίου από την άσκηση, στην αξιολόγηση της λειτουργίας των βαλβίδων, κ.α. (Schamoroth, 1991; Cousteau, 1986), ενώ συμβάλει και στη μελέτη και διαφοροδιάγνωση από καρδιακές παθήσεις όπως μορφολογικές ασκισιογενείς προσαρμογές στο πάχος των καρδιακών τοιχωμάτων από την υπερτροφική μυοκαρδιοπάθεια (ACC/AHA, 1997). Ο έλεγχος του DNA με την αναζήτηση των αντίστοιχων παθογόνων γονιδίων αποτελεί το πιο πρόσφατο όπλο στη φάρετρα των ιατρών για τη βεβαία διάγνωση κληρονομικών καρδιακών νοσημάτων στον νεαρό αθλητή.

Ένα υψηλό ποσοστό διαταραχών από το κυκλοφορικό σύστημα νεαρών αθλητών ανιχνεύεται τυχαία κατά τον προληπτικό έλεγχο της υγείας τους για τη χορήγηση του πιστοποιητικού καταλληλότητας για άθληση. Από έρευνες του Εργαστηρίου Αθλητιατρικής ΤΕΦΑΑ ΑΠΘ προκύπτει ότι το 50% σχεδόν των παιδιών και εφήβων που αθλούνται εμφανίζει κάποια διαταραχή κατά τον προληπτικό ιατρικό τους έλεγχο που χρίζει περαιτέρω διερεύνησης, όπως καρδιακό φύσημα στο 30% (συνήθως λειτουργικό συστολικό φύσημα), ανωμαλίες του ΗΚΓ στο 48%, πρόπτωση μιτροειδούς στο 3,4%, καθώς και άλλα ευρήματα.

Η μεγάλη συχνότητα ανίχνευσης «παθολογικών» ευρημάτων κατά τις ιατρικές εξετάσεις των αθλητών, καθιστά, λοιπόν, απαραίτητο τον ετήσιο προληπτικό ιατρικό έλεγχο σε όλους τους νεαρούς αθλητές ανεξαρτήτου ηλικίας για την αποφυγή δυσάρεστων επιπλοκών κατά την άθληση. Καθήκον του προπονητή και του γυμναστή θα πρέπει να αποτελεί η ευαισθητοποίηση και των υπόλοιπων μελών της αθλητικής κοινότητας (αθλητικοί παράγοντες, ασκούμενοι, γονείς, αθλητικοί οργανισμοί) για την πιστή τήρηση της σχετικής νομοθεσίας και την υποχρεωτική

διενέργεια προληπτικού προαγωνιστικού ελέγχου στους νεαρούς αθλητές για την προάσπιση της υγείας τους.

Περίληψη

Ο έφηβος και ιδιαίτερα το παιδί δε θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ενήλικες καθώς συχνά δεν ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο τόσο στην οξεία όσο και στη χρόνια άσκηση ενώ επιπρόσθετα δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως όλο το φάσμα συμπεριφοράς πολλών βιολογικών παραμέτρων στα παιδιά. Οι συχνότερες λειτουργικές μεταβολές του κυκλοφορικού συστήματος στους νεαρούς αθλητές είναι η βραδυκαρδία και οι διαταραχές αγωγιμότητας καθώς και άλλα ευρήματα στο ηλεκτροκαρδιογράφημα ηρεμίας τα οποία στην πλειοψηφία τους όμως δε θα πρέπει να θεωρούνται παθολογικά. Η κύρια αιτία για την εκδήλωση των ανωτέρω λειτουργικών καρδιακών προσαρμογών, ιδιαίτερα στους εφήβους, είναι η αυξημένη παρασυμπαθητικοτονία στην καρδιακή λειτουργία κατά την ηρεμία. Οι περισσότεροι νεαροί αθλητές συμπεριλαμβάνουν τόσο δυναμικού όσο και ισομετρικού τύπου ασκήσεις στο προπονητικό τους πρόγραμμα που φέρουν ως αποτέλεσμα μικτές προσαρμογές δηλαδή ποικίλου βαθμού αύξηση τόσο της διαμέτρου των καρδιακών κοιλοτήτων όσο και του πάχους των καρδιακών τοιχωμάτων. Ασκησιογενείς προσαρμογές σε πνευμονικούς όγκους και χωρητικότητες στις αναπτυξιακές ηλικίες επισημαίνονται κυρίως στη δυναμική ζωτική χωρητικότητα που βελτιώνεται κυρίως λόγω ενδυνάμωσης των αναπνευστικών μυών. Η μέση τιμή της VO_2max για τα παιδιά και τους εφήβους δε διαφέρει σημαντικά από την αντίστοιχη των ενηλίκων όταν εκφράζεται σε σχετικές τιμές ενώ υποστηρίζεται ότι το αναερόβιο γαλακτικό ή αναπνευστικό κατάφλι αποτελεί ίσως πιο αξιόπιστο δείκτη αερόβιων καρδιοαναπνευστικών προσαρμογών στα παιδιά από ό,τι η VO_2max . Ο προαγωνιστικός έλεγχος του κυκλοφορικού συστήματος σε όλους τους νεαρούς αθλούμενους για την υπογραφή του δελτίου υγείας τους, θα πρέπει να διενεργείται με την έναρξη της άθλησης και ακολούθως συστηματικά ετησίως και να περιλαμβάνει: λήψη ατομικού και κληρονομικού ιστορικού, κλινική εξέταση, έλεγχο αρτηριακής πίεσης και ηλεκτροκαρδιογράφημα ηρεμίας.

Λέξεις Κλειδιά: καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές (cardiorespiratory adaptations), παιδική ηλικία (childhood), έφηβοι (adolescents), προαγωνιστικός ιατρικός έλεγχος (pre-participation medical screening)

Κεντρικά σημεία κεφαλαίου

- Ο έφηβος και ιδιαίτερα το παιδί δε θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ενήλικες καθώς συχνά δεν ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο τόσο στην οξεία όσο και στη χρόνια άσκηση ενώ επιπρόσθετα δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως όλο το φάσμα συμπεριφοράς πολλών βιολογικών παραμέτρων στα παιδιά.
- Ο προαγωνιστικός έλεγχος σε όλους τους νεαρούς αθλούμενους για την πιστοποίηση της καταλληλότητας για άσκηση θα πρέπει να διενεργείται με την έναρξη ενασχόλησης με αθλητικές δραστηριότητες και να επαναλαμβάνεται ετησίως.
- Ο προληπτικός ιατρικός έλεγχος για την υπογραφή της κάρτας υγείας του νεαρού αθλητή θα πρέπει να περιλαμβάνει τη λήψη ατομικού και κληρονομικού ιστορικού, κλινική εξέταση, έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και ηλεκτροκαρδιογράφημα ηρεμίας.

Βιβλιογραφία

- ACC/AHA Guidelines for the clinical application of echocardiography. (1997). A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (Committee on clinical application of echocardiography) developed in collaboration with the American Society of Echocardiography. *Circulation*, 95: 1686-1744.
- American Heart Association. (1996). Cardiovascular preparticipation screening of competitive athletes. *Circulation*, 94: 850-856.
- Armstrong N., Welsman J. (2019). Youth cardiorespiratory fitness: evidence, myths and misconceptions. *Bull World Health Organ*, 97(11): 777-782.
- Armstrong N., Welsman J. (2020). Multilevel allometric modelling of maximum cardiac output, maximum arteriovenous oxygen difference, and peak oxygen uptake in 11–13-year-olds. *Eur J Appl Physiol*, 120(2): 527–537.
- Balady G.J., Chaitman B., Driscoll D., Foster C., Froelicher E., Gordon N., Pate R., Rippe J., Bazzare T. (1998). AHA/ACSM Scientific Statement: Recommendations for cardiovascular screening, staffing and emergency policies at health/fitness facilities. *Circulation*, 97: 2283-2293.

- Bjornstad H., Smith G., Storstein L., Meen H.D., Hals O. (1993). Electrocardiographic and echocardiographic findings in top athletes, athletic students and sedentary controls. *Cardiology*, 82(1): 66-74.
- Bjornstad H., Storstein L., Meen H.D., Hals O. (1993). Electrocardiographic findings according to level of fitness and sport activity. *Cardiology*, 83(4): 268-279.
- Bosquet L., Gamelin F.X., Berthoin L. (2007). Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *Eur J Appl Physiol*, 100: 363-369.
- Brown M. (2003). Exercise and coronary vascular remodelling in the healthy heart. *Experimental Physiology*, 88(5): 645-658.
- Chistensen N.J., Brandborg O. (1973). The relationship between plasma catecholamine concentration and pulse rate during exercise and standing. *Eur J Clin Invest*, e: 299-306.
- Clark A.L., & Coats A.J. (1993). Screening for hypertrophic cardiomyopathy. *BMJ*, 306(6875): 409-410.
- Clemente F., Ardigo L., Song W., Lenoir M., Rodrigues L., Sigmundsson H. (2020). Editorial: Children's Exercise Physiology. *Front Physiol*, 11: 269.
- Coelho A., Palileo E., Ashley W., Swiryn S., Petropoulos A.T. Welch W.J., Bauernfeind R.A. (1986). Tachyarrhythmias in young athletes. *J Am Coll Cardiol*, 7(1): 237-43.
- Corrado D., Basso C., Schiavon M., Thiene G. (1998). Screening for hypertrophic cardiomyopathy in young athletes. *N Engl J Med*, 339: 364-9.
- Corrado D., Pelliccia A., Bjornstad H.H., Vanhees L., Biffi A., Borjesson M., et al. (2005). Cardiovascular pre-participation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: proposal for a common European protocol. Consensus Statement of the Study Group of Sport Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and the Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*, 26: 516-524.
- Cousteau J.P. (1986). Mitral valve prolapse: When should exercise be forbidden? *Science & Sports (Paris)*, 1(3): 231-235.
- Craig S.B. (1996). The impact of physical activity on lipids, lipoproteins and blood pressure on preadolescent girls. *Pediatrics*, 9: 125-134.

- D'Silva A., Papadakis M. (2015). Sudden Cardiac Death in Athletes. *Eur Cardiol*, 10(1): 48–53.
- Daniels J., Oldridge, N., Nagle, F., White, B. (1978). Differences and changes in VO_2 among young runners 10 to 18 years of age. *Med Sci Sports*, 10: 200.
- Danis A., Kyriazis Y., Klissouras V. (2003). The effect of training in male prepubertal and pubertal monozygotic twins. *Eur J Appl Physiol*, 89(3-4): 309-318.
- Floriani V. & Kennedy, C. (2007). Promotion of physical activity in primary care for obesity treatment/prevention in children. *Cur Opin Pediatr*, 19: 99-103.
- Forbregd T., Aloyseus M., Berg A., Greve G. (2019). Cardiopulmonary Capacity in Children During Exercise Testing: The Differences Between Treadmill and Upright and Supine Cycle Ergometry. *Front Physiol*, 10: 1440.
- Ganley T. (2000). Exercise and children's health. *The Physician and Sportsmedicine*, 28(2): 1-6.
- George K.P., Wolfe L.A., Burggraf G.W. (1991). The 'Athletic Heart Syndrome'. A Critical Review. *Sports Medicine*, 11(5): 300-331.
- Gilbert C.A., Nutter D.O., Felner J.M., Perkins J.V., Heymsfield S.B., Schlant R.C. (1977). Echocardiographic study of cardiac dimensions and function in the endurance-trained athletes. *Am J Cardiol*, 40: 528-533.
- Hanne-Paparo N., Drory Y., Schoenfeld Y., Shapira Y., Kellermann J.J. (1976). Common ECG changes in athletes. *Cardiology*, 62: 267-278.
- Holly R.G., Shaffrath J.D., Amsterdam E.A. (1998). Electrocardiographic alterations associated with the hearts of athletes. *Sports Med*, 25(3): 139-148.
- Jackson, A.W., Morrow, J.R.Jr., Hill, D.W., Dishman, R.K. Physical activity for health and fitness. Updated edition. *Human Kinetics*, Champaign 1999.
- Koplan J.P. (1979). Cardiovascular deaths while running. *JAMA*, 242: 2578-2579.
- Koutlianos N., Kouidi E., Deligiannis A. (2004). Heart rate variability in soccer players with mitral valve prolapse or benign arrhythmia. *Sport Sci Health*, 1: 5-10.
- Koutlianos N., Kouidi E., Metaxas Th., Deligiannis A. (2004). Non-invasive cardiac electrophysiological indices in soccer players with mitral valve prolapse, *EJCPR*, 11: 435-441.

- Krysztofiak H., Młyńczak M., Łukasz A. Malek L., Folga A., Braksator W. (2020). Left ventricular mass normalization in child and adolescent athletes must account for sex differences. *PLoS One*, 15(7): e0236632.
- La Gerche A., Baggish A., Knuuti J., Prior D., Sharma S., Heidbuchel H., Thompson P. (2013). Cardiac Imaging and Stress Testing Asymptomatic Athletes to Identify Those at Risk of Sudden Cardiac Death. *J Am Coll Cardiol Img*, 6(9): 991-1007
- Link M.S., Olshansky, B., Estes, N.A.^{3rd}. (1999). Cardiac arrhythmias and the athlete. *Curr Opin Cardiol*, 14(1): 24-29.
- Maron B.J. (1986). Structural features of the athletic heart as determined by echocardiography. *J Am Coll Cardiol*, 7: 190-203.
- Maron B.J. (1999). New interventions for obstructive hypertrophic cardiomyopathy: promise and prudence. *Eur Heart J*, 20(18): 1292-1294.
- Maron B.J., Epstein S.E., Roberts W.C. (1986). Causes of sudden cardiac death in competitive athletes. *J Am Coll Cardiol*, 7: 204-214.
- Maron B.J., Shirani J., Poliac L.C., Mathenge R., Roberts W.C., Mueller F.O. (1996). Sudden death in young competitive athletes: clinical, demographic and pathological profiles. *JAMA*, 276: 199-204.
- McGrew C.A. (1998). Insights into the AHA scientific statement concerning cardiovascular preparticipation screening of competitive athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 30(10 Suppl): S351-S353.
- Merchant A.T., Dehghan, M., Behnke-Cook, D., Anand, S.S. (2007). Diet, physical activity, and adiposity in children in poor and rich neighbourhoods: a cross-sectional comparison. *Nutrition Journal*, 6:1.
- Mohamad K., Jamshidi L., Nouri Jelyani K. (2013). Is age of menarche related with body mass index? *Iran J Public Health*, 42(9): 1043-1048.
- Nassis G.P., Sidossis L.S. (2006). Methods for assessing body composition, cardiovascular and metabolic function in children and adolescents: implications for exercise studies. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 9: 560-567.
- Nottin S., N’Guyen L.D., Terbah M., Obert P. (2004). Left ventricular function in endurance-trained children by tissue Doppler imaging. *Med Sci Sports Exerc*, 36(9): 1507-1513.

- Obert P., Mandigout S., Nottin S., Vinet A., N'Guyen L.D., Lecoq A.M. (2003). Cardiovascular responses to endurance training in children: effect of gender. *Eur J Clin Invest*, 33(3): 199-208.
- Obert P., Mandigout S., Vinet A., Nottin S., N'Guyen L.D., Lecoq A.M. (2005). Relationships between left ventricular morphology, diastolic function and oxygen carrying capacity and maximal oxygen uptake in children. *Int J Sports Med*, 26(2): 122-127.
- Obert P., Nottin S., Baquet G., Thevenet D., Gamelin F.X., Berthoin S. (2007). Two months of endurance training does not alter diastolic function evaluated by TDI in 9-11 years old boys and girls. *Br J Sports Med*, Epub ahead of print.
- Pelliccia A., Maron B.J., Culasso F., Di Paolo F.M., Spataro A., Biffi A., Caselli G., Piovano P. (2000). Clinical significance of abnormal electrocardiographic patterns in trained athletes. *Circulation*, 102: 278-284.
- Pelliccia A., Fagard R., Bjornstad H.H., Anastassakis A., Arbustini E., Assanelli D., Biffi A., Borjesson M., Carre F., Corrado D., Delise P., Dorwarth U., Hirth A., Heidbuchel H., Hoffmann E., Mellwig K.P., Panhuyzen-Goedkoop N., Pisani A., Solberg E.E., van-Buuren F., Vanhees L., Blomstrom-Lundqvist C., Deligiannis A., Dugmore D., Glikson M., Hoff P.I., Hoffmann A., Hoffmann E., Horstkotte D., Nordrehaug J.E., Oudhof J., McKenna W.J., Penco M., Priori S., Reybrouck T., Senden J., Spataro A., Thiene G.; Study Group of Sports Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology; Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology (2005). Recommendations for competitive sports participation in athletes with cardiovascular disease: a consensus document from the Study Group of Sports Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and the Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*, 26(14): 1422-45. Review.
- Pelliccia A., Maron B.J., Spataro A., Proschan M.A., Spirito P. (1991). The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes. *N Engl J Med*, 324: 295-301.

- Pieles G., Stuart G. (2020). The adolescent athlete's heart; A miniature adult or grown-up child? *Clin Cardiol.* 43(8): 852–862.
- Pluim B.M., Zwinderman A.H., van der Laarse A., van der Wall E.E. (2000). The athlete's heart. A meta-analysis of cardiac structure and function. *Circulation*, 100: 336-344.
- Rowland T., Heffernan K., Jae S.Y., Echols G., Krull G., Fernhall B. (2006). Cardiovascular responses to static exercise in boys: insights from tissue Doppler imaging. *Eur J Appl Physiol*, 97(5): 637-642.
- Schamroth L. (1971). An introduction to electrocardiography (4th edition). *Blackwell Scientific publications*: Oxford and Edinburgh.
- Sharma S., Elliott P., Whyte G., Jones S., Mahon N., Whipp B., McKenna W.J. (2000). Utility of cardiopulmonary exercise in the assessment of clinical determinants of functional capacity in hypertrophic cardiomyopathy. *Am J Cardiol*, 86: 162-168.
- Sharma S., Whyte, G., Elliott, P., Padula, M., Kaushal, R., Mahon, N., McKenna, W.J. (1999). Electrocardiographic changes in 1000 highly trained junior elite athletes. *Br J Sports Med*, 33: 319-324.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J*, 17: 354-381.
- Tolfrey K., Campbell I.G., Batterham A.M. (1998). Exercise training induced alterations in prepubertal children's lipid-lipoprotein profile. *Med Sci Sports Exerc*, 30(12): 1648-1692.
- Vinet A., Beck L., Nottin S., Obert P. (2005). Effect of intensive training on heart rate variability in prepubertal swimmers. *Eur J Clin Invest*, 35(10): 610-614.
- Yermachenko A., Dvornyk V. (2014). Nongenetic determinants of age at menarche: A systematic review. *Biomed Res Int*, doi: 10.1155/2014/371583.
- Δεληγιάννης Α. (2016). Ιατρική της άθλησης. 3^η Έκδοση. *University Studio Press*, Θεσσαλονίκη.

Η έκδοση αυτή είναι το αποτέλεσμα μίας συλλογικής προσπάθειας διακεκριμένων ερευνητών των ΣΕΦΑΑ της Ελλάδος και Ελλήνων ερευνητών του εξωτερικού, για την έκδοση ενός βιβλίου για την κινητική ανάπτυξη και την προπόνηση φυσικής κατάστασης του παιδιού. Το κάθε κεφάλαιο περιλαμβάνει ένα θεωρητικό σκέλος, καθώς και προτάσεις για πρακτική εφαρμογή. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε ο καθένας μας να γράψει το κεφάλαιο όπου έχει ασχοληθεί ερευνητικά, καθώς φιλοδοξία της συγγραφικής μας ομάδας είναι η παράθεση των προτάσεων με τεκμηρίωση στηριζόμενη σε ερευνητικά δεδομένα. Ουσιαστικά, η επιδίωξή μας είναι να αποτελέσει το παρόν μία ολοκληρωμένη πρόταση για το τι μπορεί ή τι δεν μπορεί να κάνει το παιδί στην προπόνηση, τι χρειάζεται ή τι δε χρειάζεται να γίνει, με πρώτιστο στόχο τη διασφάλιση της υγείας του. Στην παρούσα έκδοση προκρίνουμε τρία πεδία: ανάπτυξη, προπόνηση, υγεία. Περισσότερο τονισμένα είναι τα πεδία της προπόνησης και της ανάπτυξης. Στο μέλλον, μεγαλύτερη βαρύτητα θα δοθεί, επίσης, στα θέματα υγείας του παιδιού. Άλλωστε, σε τακτά χρονικά διαστήματα, θα γίνεται ενημέρωση με νέα δεδομένα που θα αναδεικνύει η έρευνα. Ενδεχομένως, θα προστίθενται και νέα κεφάλαια, με βάση την εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, των προπονητικών αναζητήσεων και των απαιτήσεων που θα διαμορφωθούν στο μέλλον για υγιή ανάπτυξη και άθληση των παιδιών.



ISBN 978-960-602-298-2