



Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και
Φυσιολογίας της Άσκησης

Hellenic Society of Biochemistry
and Physiology of Exercise

Επιθεώρηση Βιοχημείας και
Φυσιολογίας της Άσκησης
5: 1-24, 2018

Reviews in Biochemistry and
Physiology of Exercise
5: 1-24, 2018

www.eevfa.gr/web/emag - ISSN 2407-960X

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΛΕΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΚΑΙ ΟΨΙΜΗ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ

Ολύβια Δόντη, Αθανασία Παπία, Ιόλη Πανίδη, Νικόλαος Αποστολίδης, Γρηγόρης Χ. Μπογδάνης

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Κύριος στόχος της πλειομετρικής προπόνησης είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας του κύκλου διάτασης-βράχυνσης και η αύξηση της μυϊκής ισχύος. Η πλειομετρική προπόνηση σε ασκούμενους παιδικής ηλικίας μπορεί να βελτιώσει τη μυϊκή ισχύ των κάτω άκρων, την ευκινησία, την ταχύτητα και εξειδικευμένες ανάλογα με το άθλημα δεξιότητες. Ακόμα και ήπιας μορφής πλειομετρική προπόνηση φαίνεται να αυξάνει την οστική πυκνότητα σε αναπτυσσόμενα παιδιά. Ο βαθμός επίδρασης της πλειομετρικής προπόνησης στην αθλητική απόδοση εξαρτάται από το στάδιο ωρίμανσης των αθλητών. Νευρομυϊκοί μηχανισμοί που συνδέονται με την ανάπτυξη και την ωρίμανση, όπως η χαμηλότερη εθελούσια μυϊκή ενεργοποίηση και το πιθανώς χαμηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II, ευθύνονται για τη λιγότερο αποτελεσματική χρήση του κύκλου διάτασης-βράχυνσης που συνήθως παρατηρείται στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες. Τα διαφορετικά μεγέθη βελτίωσης, τα οποία έχουν αναφερθεί σχετικά με την επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης στην αθλητική απόδοση παιδιών, πιθανώς οφείλονται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων άσκησης (αριθμός επαναλήψεων και σετ, διάλειμμα μεταξύ των σετ, τύπος αλμάτων και περίοδος μέσα στη χρονιά) και των ασκούμενων (χρονολογική και βιολογική ηλικία, άθλημα και επίπεδο απόδοσης, προγενέστερη εξοικείωση με την πλειομετρική άσκηση). Ο μικρός αριθμός μελετών σε αθλητές παιδικής ηλικίας και η απουσία ερευνητικών δεδομένων για αθλήτριες, καθώς και για αθλητές ατομικών αθλημάτων, περιορίζουν τη γενίκευση των μέχρι σήμερα ευρημάτων και τονίζουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με την εύρεση των αποτελεσματικότερων πρωτοκόλλων πλειομετρικής προπόνησης, ανάλογα με τη βιολογική ωρίμανση.

Διεύθυνση αλληλογραφίας

Ολύβια Δόντη

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντίστασης 41, 17237 Δάφνη

E-mail: odonti@phed.uoa.gr

1. Εισαγωγή

Η πλειομετρική προπόνηση περιλαμβάνει γρήγορες και εκρηκτικές κινήσεις, συνήθως διάφορους τύπους αλμάτων ή αναπηδήσεων και ωθήσεων για τα κάτω ή τα άνω άκρα, με χρήση ως αντίστασης του βάρους του σώματος (76, 121, 122) ή και επιπρόσθετου φορτίου (80). Κύριος στόχος της πλειομετρικής προπόνησης είναι η βελτίωση της ικανότητας των ασκουμένων να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τον κύκλο διάτασης-βράχυνσης (55, 77). Ο κύκλος διάτασης-βράχυνσης αρχίζει με μια έκκεντρη σύσπαση (επιμήκυνση) της μυοτενόντιας μονάδας, η οποία διακόπτεται από μια ισομετρική σύσπαση, κυρίως λόγω λειτουργίας του μυοστατικού αντανακλαστικού, αλλά και κεντρικών νευρικών οδών, και ακολουθείται από μια σύγκεντρη σύσπαση (βράχυνση) του μυός (58, 94, 100). Ο κύκλος διάτασης-βράχυνσης συνεπάγεται επίσης την αποθήκευση ελαστικής ενέργειας κατά την επιμήκυνση του μυός, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της παραγόμενης ισχύος κατά την ακόλουθη βράχυνση (57, 58).

Έρευνες σε αθλητές προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας έχουν δείξει ότι η πλειομετρική προπόνηση μπορεί να βελτιώσει τη μυϊκή ισχύ (26, 87, 104, 105) την ταχύτητα (60, 85), τη δυναμική ισορροπία (106) και την ταχύτητα αλλαγής κατεύθυνσης (3, 4, 84), ενώ μπορεί να συμβάλει και στη μείωση της πιθανότητας τραυματισμών (111). Κατά την παιδική και εφηβική ηλικία δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ ανάπτυξης, ωρίμανσης και βελτίωσης της αθλητικής απόδοσης (70). Οι Balyi και Hamilton (8) αναφέρουν την ύπαρξη «παραθύρων ευκαιρίας», ορίζοντας έτσι δύο περιόδους ανάπτυξης κατά τις οποίες τα παιδιά και οι έφηβοι έχουν καλύτερη απόκριση σε εξειδικευμένα προπονητικά ερεθίσματα: την ηλικία 6-10 ετών και την ηλικία 12-14 ετών. Η πρώτη περίοδος συνδέεται με τη συνεχιζόμενη ωρίμανση του κεντρικού νευρικού συστήματος (83, 101) και η δεύτερη με την αύξηση της μυϊκής μάζας λόγω αύξησης των επιπέδων τεστοστερόνης και αυξητικής ορμόνης (74). Η σωματική ανάπτυξη κατά τη μέση παιδική ηλικία είναι σχετικά σταθερή (κατά μέσο όρο το ανάστημα αυξάνεται κατά 5-7,6 cm ανά έτος), χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ φύλων (74). Στην εφηβεία, οι σωματικές αλλαγές είναι ραγδαίες και η κινητική απόδοση διαφοροποιείται μεταξύ αγοριών και κοριτσιών (15). 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 (15). Επιπλέον, αναφέρονται διαφορές μεταξύ φύλων στην κινητική απόδοση, ως απόκριση σε προπονητικά ερεθίσματα. Για παράδειγμα, τα αγόρια υπερτερούν έναντι των κοριτσιών ως προς τον βαθμό βελτίωσης της μυϊκής ισχύος (μέγεθος επίδρασης, d , 0,85 και 0,61 αντίστοιχα) τόσο στην παιδική ηλικία (67), όσο και στην εφηβεία (46). Οι Lloyd και συν. (69) αναφέρουν ότι η έναρξη συστηματικής προπόνησης για τη βελτίωση της χρήσης του κύκλου διάτασης-βράχυνσης είναι σκόπιμη πριν και κατά τη διάρκεια της ηλικίας στην οποία παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του αναστήματος (peak height velocity, PHV), άποψη που ωστόσο, χρειάζεται περαιτέρω τεκμηρίωση.

Η παιδική ηλικία θεωρείται βέλτιστο χρονικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των κινητικών δεξιοτήτων και τη βελτίωση διαφόρων φυσικών ικανοτήτων (70). Ιδιαίτερα, η μέση παιδική ηλικία θεωρείται σημαντική περίοδος για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων μετακίνησης, οι οποίες αποτελούν τη βάση για την εκμάθηση των περισσότερων αθλητικών κινήσεων (64). Παρά τη σημασία όμως αυτής της χρονικής περιόδου για τη μετέπειτα αθλητική απόδοση, υπάρχει περιορισμένος αριθμός μελετών σχετικά με την απόκριση αθλητών μέσης και όψιμης παιδικής ηλικίας (7-10 και 11-12 ετών αντίστοιχα) σε πλειομετρική προπόνηση, ενώ απουσιάζουν οι έρευνες για κορίτσια και ατομικά αθλήματα (46, 102). Επιπλέον, δεν έχουν εξεταστεί επαρκώς οι διαφορές στη νευρομυϊκή απόδοση μεταξύ παιδιών και ενηλίκων οι οποίες ευθύνονται για την απόκριση των παιδιών σε πλειομετρική προπόνηση. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά στις φυσιολογικές και λειτουργικές αποκρίσεις αθλητών μέσης και όψιμης παιδικής ηλικίας στην πλειομετρική προπόνηση.

2. Μέθοδος

Πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση στις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων Pubmed, Scopus και Google Scholar. Σε ό,τι αφορά τις παραμέτρους απόδοσης, συνδυάστηκαν οι λέξεις-κλειδιά των δύο βασικών εννοιών: (α) πλειομετρική προπόνηση (plyometrics, plyometric, stretch-shortening cycle, jumping, eccentric, training) και (β) παιδιά (child, children, childhood, young, youth, boys, girls). Συμπεριλήφθηκαν άρθρα στην αγγλική γλώσσα των οποίων οι περιλήψεις αφορούσαν μετρήσεις παραμέτρων αθλητικής απόδοσης, πριν και μετά από προπόνηση (με διάρκεια μεγαλύτερη των 4 εβδομάδων) με πλειομετρικές ασκήσεις (αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με άλλο τύπο προπόνησης), σε υγιή παιδιά ηλικίας 7-12 ετών. Συμπεριλήφθηκαν επίσης έρευνες που συνέκριναν παιδιά κάτω των 12 ετών με άλλες ηλικιακές ομάδες και ανασκοπήσεις για νέους αθλητές.

Στις έρευνες που περιλάμβαναν μεγάλο εύρος ηλικίας (π.χ. 9-15 ετών), έγινε αναφορά στα αποτελέσματα των παιδιών που εμπίπτουν στο εύρος ηλικίας της παρούσας έρευνας. Αρχικά βρέθηκαν 89 έρευνες. Ο έλεγχος των τίτλων και των περιλήψεων, με βάση τα κριτήρια που τέθηκαν, μείωσε τον αριθμό των προς ανασκόπηση άρθρων σε 24. Σε ό,τι αφορά στις υπόλοιπες ενότητες της μελέτης, πραγματοποιήθηκε αφηγηματική ανασκόπηση.

3. Επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης σε παραμέτρους απόδοσης αθλητών παιδικής ηλικίας

3.1 Μυϊκή ισχύς, λειτουργική δύναμη και ειδικές αθλητικές δεξιότητες

Σε αρκετές έρευνες έχουν εξεταστεί η μυϊκή ισχύς και δύναμη νέων αθλητών, διότι θεωρούνται σημαντικά χαρακτηριστικά νευρομυϊκής απόδοσης, τα οποία βελτιώνονται σε όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης και ωρίμανσης και ιδιαίτερα της εφηβείας (12, 13, 37, 98). Ως έμμεσος τρόπος προσδιορισμού της μυϊκής ισχύος σε νέους αθλητές χρησιμοποιείται συχνά το κατακόρυφο άλμα (51). Η μελέτη των Faigenbaum και συν. (36) εξέτασε την επίδραση 9 εβδομάδων πλειομετρικής προπόνησης σε 40 μη γυμνασμένα παιδιά, ηλικίας 8-11 ετών, και βρήκε σημαντική βελτίωση ($p < 0,05$) στο άλμα σε μήκος από στάση, στις κάμψεις-τάσεις χεριών και στον χρόνο κάλυψης απόστασης μισού μιλίου (περίπου 800 m). Έρευνα που εξέτασε υπέρβαρα και παχύσαρκα παιδιά 7-9 ετών βρήκε βελτίωση στη δύναμη καμπτήρων άνω άκρων ($d = 0,23$) το άλμα σε μήκος από στάση ($d = 0,80$), τη μυϊκή αντοχή κοιλιακών ($d = 0,39$) και την αδρή κινητικότητα μετά από πλειομετρική προπόνηση 12 εβδομάδων (95). Η συστηματική ανασκόπηση των Johnson και συν. (55) αναφέρει, ότι η πλειομετρική προπόνηση μπορεί να βελτιώσει τη μυϊκή ισχύ και άλλες κινητικές δεξιότητες ($p < 0,05$) σε αθλητές 8-14 ετών, αν και στις περισσότερες εργασίες που εξετάστηκαν δεν αναφέρονται μεγέθη επίδρασης ούτε τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων άσκησης. Οι Lloyd και συν. (72) εφάρμοσαν πρωτόκολλο πλειομετρικής άσκησης σε παιδιά 9, 12 και 15 ετών και εξέτασαν τον δείκτη αντιδραστικής δύναμης και τη σκληρότητα του μυοτενόντιου μηχανισμού των κάτω άκρων. Μόνο η ομάδα ηλικίας 12 ετών βελτίωσε σημαντικά τον δείκτη αντιδραστικής δύναμης ($p = 0,022$) και μείωσε τον χρόνο επαφής με το έδαφος ($p < 0,01$). Οι Michailidis και συν. (85), μετά από πλειομετρική προπόνηση 12 εβδομάδων σε αθλητές ποδοσφαίρου $10,6 \pm 0,6$ ετών, ανέφεραν βελτίωση στην ομάδα παρέμβασης στο κατακόρυφο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (16-23%), το άλμα από ημικάθισμα (4,2%), την απόσταση λακτίσματος (22,5%) και τη μυϊκή ισχύ κάτω άκρων (28%), ενώ στην ομάδα ελέγχου παρατηρήθηκε μόνο μέτρια βελτίωση στην ταχύτητα (1,8%). Σε άλλη έρευνα αναφέρεται ότι ένας μικρός όγκος πλειομετρικής προπόνησης (60 επαφές με το έδαφος), ο οποίος εφαρμόστηκε για 6 εβδομάδες, είχε πολύ μικρό μέγεθος επίδρασης (0,10) στο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση παιδιών ηλικίας 1-1,9 έτη πριν την ηλικία του μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (88). Οι Marina και Jemni (75), σε έρευνα με αθλήτριες γυμναστικής 11-12 ετών, βρήκαν ότι ο χρόνος

πτήσης, ο χρόνος επαφής με το έδαφος, ο λόγος του χρόνου πτήσης προς το χρόνο επαφής και η εκτιμώμενη μηχανική ισχύς στα άλματα βάθους από 20, 40 και 60 cm βελτιώθηκαν σημαντικά ($p < 0,05$) μετά από 20 μήνες εφαρμογής συνδυαστικής προπόνησης αντιστάσεων και πλειομετρικών ασκήσεων.

Η έρευνα των Ramírez-Campillo και συν. (104) έδειξε ότι οι πλειομετρικές ασκήσεις με ένα σκέλος, με δυο σκέλη, αλλά και ο συνδυασμός τους, επέφεραν σημαντική βελτίωση ($p < 0,05$) στη μυϊκή ισχύ, την ισορροπία και την αντοχή σε ποδοσφαιριστές, $11,4 \pm 2,2$ ετών. Όλες οι ομάδες παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές ($p < 0,05$), σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου, στο κατακόρυφο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση από ένα σκέλος ($d = 1,55$) και δυο σκέλη ($d = 1,47$), στη δοκιμασία πέντε επαναλαμβανόμενων αναπηδήσεων, στο άλμα πτώσης από 20 cm, στον δείκτη αντιδραστικής δύναμης και στη μέγιστη ταχύτητα λακτίσματος ($p < 0,05$), χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων μονόπλευρης και αμφίπλευρης προπόνησης στα κάτω άκρα ($p > 0,05$). Οι Chaouachi και συν. (25) βρήκαν ότι η άσκηση με μέτριες αντιστάσεις και ολυμπιακές κινήσεις άρσεων επέφερε παρόμοια αύξηση με την πλειομετρική προπόνηση στο κατακόρυφο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση, αν και η πλειομετρική προπόνηση υπερτερούσε στη βελτίωση της ισορροπίας σε αθλητές ποδοσφαίρου 10-12 ετών. Σε άλλη έρευνα σε ποδοσφαιριστές $11,4 \pm 2,2$ ετών, συγκρίθηκε η επίδραση προπονητικών πρωτοκόλλων με κατακόρυφα άλματα, οριζόντια άλματα ή συνδυασμό των δύο τύπων αλμάτων (106). Οι παίκτες αξιολογήθηκαν σε κατακόρυφα και οριζόντια άλματα, δοκιμασία πέντε επαναλαμβανόμενων αναπηδήσεων, άλμα πτώσης από 20 cm, στον δείκτη αντιδραστικής δύναμης, στη μέγιστη ταχύτητα λακτίσματος, σε δοκιμασία ειδικής αντοχής για το ποδόσφαιρο και ισορροπίας. Δεν βρέθηκαν σημαντικές αλλαγές στην ομάδα ελέγχου εκτός από μικρή βελτίωση στη δοκιμασία αντοχής ($d = 0,23$). Ωστόσο, το πρόγραμμα που συνδυάζει και κατακόρυφα και οριζόντια άλματα ήταν το μόνο που βελτίωσε όλες τις παραμέτρους σημαντικά περισσότερο στην ομάδα παρέμβασης σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου ($p < 0,05$). Οι Ramírez-Campillo και συν. (103) συνέκριναν την επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης με 30, 60 ή 120 s ανάπαυσης μεταξύ των σετ στη μυϊκή ισχύ των κάτω άκρων ποδοσφαιριστών $10,4 \pm 2,3$ ετών. Πριν και μετά από 7 εβδομάδες παρέμβασης (συνολικά 840 άλματα), οι ποδοσφαιριστές μετρήθηκαν σε διάφορους τύπους αλμάτων και σε απόσταση λακτίσματος. Βρέθηκε ότι όλα τα πρωτόκολλα (με διάλειμμα 30, 60 ή 120 s μεταξύ των σετ) επιφέρουν σημαντική ($p = 0,001 - 0,040$), αλλά μέτρια βελτίωση στο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση ($d = 0,49, 0,58$ και $0,55$), στο άλμα πτώσης από 20 cm ($d = 0,81, 0,89$ και $0,86$ αντίστοιχα) και στην απόσταση λακτίσματος ($d = 0,39, 0,49$ και $0,43$ αντίστοιχα), χωρίς διαφορές μεταξύ των ομάδων (103). Σε πρόσφατη έρευνα, εξετάστηκε η επίδραση μίας ή δύο προπονήσεων την εβδομάδα (με ίσο συνολικό αριθμό αλμάτων μεταξύ των πρωτοκόλλων) σε αθλητές ποδοσφαίρου $11,3 \pm 0,3$ ετών και αναφέρθηκε σημαντική βελτίωση στα 0-5 m ταχύτητας ($p < 0,05$), την ευκινησία, το άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση, το άλμα σε μήκος από στάση, το άλμα από ημικάθισμα και τον δείκτη αντιδραστικής δύναμης ($p < 0,001$), χωρίς διαφορά μεταξύ των δύο συχνοτήτων προπόνησης (20). Σε πρόσφατη μετα-ανάλυση σχετικά με την αύξηση του ύψους κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση μετά από πλειομετρική προπόνηση οι Moran και συν. (87) βρήκαν μεγαλύτερη βελτίωση ($d > 0,90$) σε αγόρια πριν και μετά την ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (10-13 και 16-18 ετών αντίστοιχα) σε σύγκριση με αγόρια που βρισκόντουσαν στην ηλικία του μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (13-16 ετών, $d = 0,47$), εύρημα το οποίο αποδίδεται στις νευρομυϊκές και σωματικές αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτήν τη χρονική περίοδο.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται μελέτες που εξέτασαν τη μυϊκή ισχύ, δύναμη και αθλητικές δεξιότητες σε παιδιά αυτής της ηλικίας. Συνολικά, φαίνεται ότι η πλειομετρική προπόνηση είναι αποτελεσματικό μέσο βελτίωσης της μυϊκής ισχύος, δύναμης και αθλητικών δεξιοτήτων σε όλες τις επιμέρους ηλικιακές ομάδες που εξετάστηκαν.

Πίνακας 1. Έρευνες που εξέτασαν την επίδραση πλειομετρικής προπόνησης σε παραμέτρους απόδοσης αθλητών μέσης και όψιμης παιδικής ηλικίας

Συγγραφείς	Συμμετέχοντες	Πρόγραμμα πλειομετρικής προπόνησης	Αποτελέσματα
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΠΑΙΔΙΑ ΜΙΚΡΟΤΕΡΑ ΤΩΝ 12 ΕΤΩΝ			
Arabatzi και συν. (2)	22 παιδιά 8-11 ετών	4 εβδ. 3 φορές/εβδ. ΠΠ με τραμπολίνο	↑ Ισορροπίας στο ένα - στα δυο σκέλη ($p < 0,05$) ↑ CMJ ($p < 0,05$) ↑ DJ ($p < 0,05$) ↔ OE
Bouguezzi και συν. (20)	30 ποδοσφαιριστές 11-12 ετών	8 εβδομ. 1 ή 2 φορές/εβδ. 50 -120 ή 25-60 επαφές	Και στις 2 ομάδες: ↑ 5 m σπριντ ($p = 0,05$) ↑ T-test ($p < 0,001$) ↑ Illinois test ($p = 0,02$) ↑ SLJ ($p < 0,001$) ↑ CMJ ($p < 0,001$) ↑ SJ ($p < 0,001$) ↑ RSI ($p < 0,001$) ↑ Απόσταση λακτίσματος ($p < 0,001$)
Chaouachi και συν. (25)	63 αγόρια 10-12 ετών	12 εβδ. 2 φορές/εβδ. 3 ομάδες: Ολυμπιακές άρσεις / Προπόνηση με αντιστάσεις / Πλειομετρική προπόνηση	Παρόμοια επίδραση όλων των τύπων προπόνησης: ↑ CMJ ↑ SLJ ↑ Ισορροπία ↑ Σπρίντ 5 m και 20 m
Faigenbaum και συν. (36)	40 μη γυμνασμένα παιδιά 8-11 ετών	9 εβδομάδες 2 φορές/εβδ.	↑ Μισό μίλι τρέξιμο ($p < 0,05$) ↑ SLJ ($p < 0,05$) ↑ Κάμψεις - τάσεις αγκώνων ($p < 0,05$) ↑ Μυϊκή αντοχή κοιλιακών ($p < 0,05$) ↑ Ευκαμψία ($p < 0,05$)

Faigenbaum και συν. (38)	40 παιδιά 16 αγόρια / 24 κορίτσια 7-8ετών	8 εβδ. 2 φορές/εβδ. 15 λεπτά/μάθημα	↑ Μυϊκή αντοχή κοιλιακών ($p < 0,05$) ↑ Άλμα σε μήκος ($p < 0,05$), αναπηδήσεις στο ένα πόδι ($p < 0,05$) ↑ 0,8 km τρέξιμο ($p < 0,05$) στα κορίτσια ↔ Σε όλες τις παραμέτρους στα αγόρια ($p < 0,05$) ↔ ΟΕ
Kotzamanidis (60)	30 αγόρια 11-12 ετών	10 εβδομάδες 2 φορές/εβδ. 60-100 άλματα/προπόνηση	↑ SJ ($p < 0,05$) ↑ Ταχύτητα σπριντ 0-20 και 0-30 m ($p < 0,05$) ↔ 0-10 m
Marina και συν. (75)	9 ελίτ αθλήτριες Ενόργανης γυμναστικής 11-12 ετών	20 μήνες 3.000-4.000 επαφές με το έδαφος /εβδ.	↓ CT άλματα βάθους από 20, 40, 60 cm ($p \leq 0,05$) ↑ Μηχανική ισχύς σε άλματα βάθους από 20, 40, 60, 80, 100 cm
Michailidis και συν. (85)	45 ποδοσφαιριστές 10-11 ετών	12 εβδομάδες 2 φορές/εβδ.	↑ Ταχύτητα (0-10 m, 0-20 m, 0-30 m) ($p < 0,05$) ↑ CMJ ($p < 0,05$) ↑ SLJ ($p < 0,05$) ↑ 5MB ($p < 0,05$) ↑ Μυϊκή δύναμη ($p < 0,05$) ↑ Ευκινησία ($p < 0,05$) ↑ Απόσταση λακτίσματος ($p < 0,05$) ↔ Αναερόβια ισχύς και στις δυο ομάδες
Moran και συν. (88)	38 παίκτες χόκεϋ - 1 έως -1.9 έτη προ PHV και 0 έως + 0.9 κατά-την PHV 8-12 ετών	6 εβδομάδες, 2 προπ./εβδ. 60 επαφές/προπ.	Προ-PHV: ↑ Ταχύτητα 10 m ($d = 0,1$) ↑ Ταχύτητα 30 m ($d = 0,1$) ↑ CMJ ($d = 0,0$) Κατά την ηλικία PHV: ↑ Ταχύτητα 10 m ($d = 0,4$) ↑ Ταχύτητα 30 m ($d = -0,8$) ↑ CMJ ($d = 0,0$)

Nobre και συν. (95)	59 υπέρβαρα αγόρια 7-9 ετών	12 εβδ. 2 φορές/εβδ 20 λεπτά/συνεδρία	↑ Δύναμη καμπτήρων άνω άκρων ($d = 0,23$) ↑ Ευκαμψία ($d = 0,18$) ↑ Μυϊκή αντοχή κοιλιακών ($d = 0,39$) ↑ SLJ ($d = 0,80$) ↑ Ευκινησία ($d = 0,48$) ↑ 1 μίλι τρέξιμο ($d = 0,38$)
Skurvydas και συν. (115)	13 αγόρια και 13 κορίτσια 10 ετών	8 εβδ. 2 φορές/εβδ. 30 άλματα/συνεδρία	↑ Ρυθμός σύσπασης ($323\% \pm 210,8\%$ στα αγόρια ($p < 0,001$) $21\% \pm 48,2\%$ στα κορίτσια ($p > 0,05$) ↑ CMJ (37% αγόρια, 38% κορίτσια) ($p < 0,05$) ↑ Μυϊκή υπερτροφία (9% αγόρια 14% κορίτσια) ($p < 0,05$) ↔ ΟΕ
Trecroci και συν. (118)	24 νεαροί ποδοσφαιριστές 10-12 ετών	8 εβδ. 2 φορές/εβδ. 15 λεπτά	↑ Συναρμογή ↑ Ισορροπία ΠΠ: από 19,2 σε 17,5 s ($p = 0,001$, ES = 0,67) ΟΕ: από 20,1 σε 19,9 s ($p = 0,226$, ES = 0,07)
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΠΑΙΔΙΑ ΜΙΚΡΟΤΕΡΑ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΑ ΤΩΝ 12 ΕΤΩΝ			
Chelly και συν. (27)	27 αθλητές στίβου 10-14 ετών	10 εβδομάδες 3 φορές/εβδ.	↑ CMJ ($p < 0,001$) ↑ DJ ($p < 0,001$) ↑ SJ ($p < 0,001$) ↑ 5MB ($p < 0,001$) ↔ Σπριντ 40 m ($p < 0,05$)
Diallo και συν. (30)	20 αγόρια 11-13 ετών	10 εβδομάδες 3 φορές/εβδ.	↑ CMJ ($p < 0,01$) ↑ SJ ($p < 0,01$) ↑ Σπριντ 20 m ($p < 0,05$) ↑ Μέγιστη ισχύς ποδηλάτισης ($p < 0,01$)

			↑ 5MB ($p < 0,01$) και 15 s επαναλαμβανόμενων αναπηδήσεων ($p < 0,01$)
Lloyd και συν. (72)	129 αγόρια 9 ετών (n = 41) 12 ετών (n = 44) 15 ετών (n = 44)	4 εβδομάδες 2 φορές/εβδ. 72-106 άλματα/εβδ.	↑ Σκληρότητα μυοτενόντιου συνόλου (12 και 15 ετών) ($p < 0,05$) ↔ Σκληρότητα μυοτενόντιου συνόλου (ομάδα 9 ετών και ομάδες ελέγχου) ↑ RSI στην ομάδα 12 ετών ($p < 0,05$) ↔ RSI στις ομάδες 9 και 15 ετών
Ramirez-Campillo και συν. (103)	50 ποδοσφαιριστές 8-13 ετών 4 ομάδες με διαφορετικό διάλειμμα μεταξύ των σετ	7 εβδομάδες, 2 προπ./εβδ. 840 άλματα (συνολικά)	↑ CMJ ($d = 0,49, 0,58, 0,55$) ↑ DJ 20 cm ($d = 0,81, 0,89, 0,86$) ↑ COD ($d = -1,03, -0,87, -1,04$) ↑ Απόσταση λακτίσματος ($d = 0,39, 0,49, 0,43$)
Ramirez-Campillo και συν. (104)	54 αθλητές ποδοσφαίρου 9-13 ετών	6 εβδ. 2 φορές/εβδ. Προπόνηση με ένα σκέλος, δύο σκέλη ή συνδυασμός τους	↑ CMJ ($p < 0,05$) ↑ RSI ($p < 0,05$) ↑ 15-30 m σπριντ ($p < 0,05$) ↑ 5MB ($p < 0,05$) ↑ Ταχύτητα λακτίσματος ($p < 0,05$)
Ramirez-Campillo και συν. (106)	40 νεαροί ποδοσφαιριστές 10-14 ετών	6 εβδ. 2 φορές/εβδ. ΠΠ κάθετων αλμάτων προπόνηση ή οριζόντιων αλμάτων ή συνδυασμό τους	Ομάδα προπόνησης οριζόντιων αλμάτων: ↑ CMJ ($d = 0,24$) και δοκιμασία πέντε αναπηδήσεων ($d = 0,62$) Ομάδα προπόνησης κάθετων αλμάτων: ↑ RSI ($d = 0,90$) Ομάδα συνδυαστικής προπόνησης ↑ ταχύτητα λακτίσματος ($d = 0,67$) ↑ Σπριντ ($d = -0,99 -0,63$) ↑ CODS ($d = -0,70$) ↑ Yo-Yo ($d = 0,31$) ↑ Ισορροπία ($d = -0,49$ ως $-0,89$)

			ΟΕ: ↑αντοχή ($d = 0,23$)
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΕΙΣ			
Asadi και συν. (4)	16 μελέτες Παιδιά ηλικίας πριν- κατά τη διάρκεια και μετά PHV	7 εβδ. 2 προπ./εβδ. 1400 άλματα	↑ COD σε όλες τις ηλικιακές ομάδες ($d = 0,86 - 0,61$) ↑ COD στα μεγαλύτερης ηλικίας άτομα ($d = 0,95 - 0,99$) και στα μικρότερης ηλικίας άτομα ($d = 0,68$) ↑ Ταχύτητα 20 m με μεταφορά μπάλας ($d = -0,44-0,80$) και χωρίς ($d = -0,58 - 0,66$)
Behm και συν. (13)	107 μελέτες Νεαροί αθλούμενοι 6-18 ετών	Σύγκριση μεταξύ ΠΠ και προπόνησης με αντιστάσεις	Μετά από ΠΠ: ↑ Ύψος άλματος ($d = 0,74$) ↑ Ταχύτητα σπριντ ($d = 0,47$) ↑ Μυϊκή δύναμη ($d = 0,16$) Μετά από προπόνηση με βάρη: ↑ Ύψος άλματος ($d = 0,68$) ↑ Ταχύτητα σπριντ ($d = 0,73$) ↑ Μυϊκή δύναμη ($d = 1,39$)
Behringer και συν. (14)	34 μελέτες 1019 αγόρια 413 κορίτσια 10-18 ετών	6 έως 68 εβδ. 1-3 προπ./εβδ. ≈ 40 λεπτά/συνεδρία Προπόνηση με αντιστάσεις και πλειομετρική	↑ Βελτίωση σε όλες τις παραμέτρους Αρνητική συσχέτιση ηλικίας με d βελτίωσης ($r = -0,25, p < 0,05$)
Granacher και συν. (46)	99 μελέτες Αθλητές και αθλήτριες 9-19 ετών	Προπόνηση με αντιστάσεις και πλειομετρική	↑ Μυϊκή ισχύς ($d = 0,80-1,50$) ↑ Μυϊκή δύναμη ($d = 0,35-0,80$) ↑ Τοπική μυϊκή αντοχή ($d = 0,35-0,80$) ↑ Αθλητική απόδοση ($d = 0,35-0,80$)

Johnson και συν. (55)	8 μελέτες Παιδιά 5-14 ετών	Βέλτιστο προπονητικό πρωτόκολλο: 8-10 εβδ. 2 φορές/εβδομάδα 50-60 άλματα	↑ Ταχύτητα σπριντ ($d = 0,22-1,28$) ↑ Μυϊκή ισχύς ($d = 0,23-0,59$) ↑ Απόσταση λακτίσματος ($d = 2,62$) ↑ Ισορροπία ($d = 2,30$) ↑ Ευκινησία ($d = -2,15$)
Moran και συν. (87)	21 μελέτες Αγόρια αθλητές 10-18 ετών Ομάδες: πριν, κατά και μετά PHV		↑ CMJ ($d = 0,91$) στην ομάδα πριν PHV Το μέγεθος αποτελέσματος ήταν υψηλότερο στις ομάδες πριν και μετά PHV ($d = 0,91$ και $1,02$, αντίστοιχα) σε σχέση με τις ομάδες κατά PHV ($d = 0,47$)

CMJ: άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση, COD: ταχύτητα αλλαγής κατεύθυνσης, CT: χρόνος επαφής, d : μέγεθος επίδρασης, DJ: άλμα βάθους, p : στατιστική σημαντικότητα, PHV: ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος, RSI: δείκτης αντιδραστικής δύναμης, SJ: άλμα από ημικάθισμα, SLJ: άλμα σε μήκος από στάση, OE: ομάδα ελέγχου, ΠΠ: πλειομετρική προπόνηση, 5MB: δοκιμασία 5 επαναλαμβανόμενων αναπηδήσεων, ↑: Βελτίωση, ↔ Καμία μεταβολή

3.2 Ταχύτητα, ευκινησία, συναρμογή

Η επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης στην ταχύτητα σπριντ και στην ευκινησία έχει εξεταστεί σε μεγάλο αριθμό ερευνών (29), ωστόσο η έρευνα είναι περιορισμένη για αθλητές κάτω των 12 ετών, παρόλο που η ηλικία 5-9 ετών υποδεικνύεται ως μια πρώτη ευνοϊκή περίοδος ανάπτυξης ταχύτητας (16, 70, 99, 112). Ο Kotzamanidis (60) αναφέρει ότι ένα πρόγραμμα πλειομετρικής προπόνησης βελτίωσε σημαντικά την ταχύτητα σπριντ στα 0-20 και 0-30 m ($p < 0,05$), αλλά όχι στα 0-10 m, σε αγόρια, $11,1 \pm 0,5$ ετών. Ο ερευνητής υποστήριξε ότι η πλειομετρική προπόνηση βελτιώνει τη μέγιστη ταχύτητα σπριντ, αλλά όχι την ικανότητα επιτάχυνσης σε αυτόν τον πληθυσμό. Παρόμοια, οι Michailidis και συν. (85), σε μελέτη παρέμβασης 12 εβδομάδων με αγόρια 10-11 ετών, βρήκαν μεγαλύτερη βελτίωση στην ταχύτητα (0-10, 10-20 και 20-30 m) στην ομάδα παρέμβασης σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου (3-5% και 1,8% αντίστοιχα), ενώ ανέφεραν βελτίωση κατά 23% σε ειδική για το ποδόσφαιρο δοκιμασία ευκινησίας μόνο για την ομάδα παρέμβασης. Στην ίδια εργασία αναφέρεται ότι η αναερόβια ισχύς διατηρήθηκε στα αρχικά επίπεδα μέτρησης και στις δυο ομάδες (85). Οι Chelly και συν. (27) επίσης ανέφεραν σημαντική βελτίωση στην ταχύτητα 40 m, καθώς και υπερτροφία στους μύες του μηρού, σε αγόρια $11,7 \pm 1,0$ ετών μετά από 10 εβδομάδες πλειομετρικής προπόνησης.

Οι Ramírez-Campillo και συν. (103) βρήκαν ότι πρωτόκολλα με τρία διαφορετικά διαλείμματα ανάπαυσης μεταξύ των σετ (30, 60 και 120 s) επιφέρουν παρόμοια βελτίωση στην ευκινησία ($d = 1,03, 0,87$ και $1,04$ αντίστοιχα) χωρίς διαφορές μεταξύ των ομάδων, σε ποδοσφαιριστές 8-12 ετών. Σε έρευνα που εξέτασε την επίδραση μικρού όγκου πλειομετρικής προπόνησης, βρέθηκε μικρό μέγεθος επίδρασης στην ταχύτητα 10 m ($d = 0,0-0,1$) και μεσαίο στην ταχύτητα 30 m ($d = 0,7-0,9$) σε παιδιά 1-1,9 έτη πριν την ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (88). Έρευνα που εξέτασε την επίδραση πλειομετρικής προπόνησης με το ένα σκέλος, τα δύο σκέλη και συνδυαστική προπόνηση (με το ένα και τα δύο σκέλη) σε ποδοσφαιριστές ηλικίας 9-13 ετών ανέφερε ότι όλες οι ομάδες παρέμβασης βελτιώθηκαν σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου στην ταχύτητα 15 m και 30 m και στην ευκινησία ($p < 0,05$), χωρίς διαφορά μεταξύ των ομάδων μονόπλευρης και αμφίπλευρης προπόνησης στα κάτω άκρα (104). Οι Chaouachi και συν. (25) ανέφεραν παρόμοια αύξηση στην ικανότητα επιτάχυνσης (0-5 m) και στην ταχύτητα (0-20 m) σε αγόρια 10-12 ετών μετά από 12 εβδομάδες προπόνησης με μέτριες αντιστάσεις και ολυμπιακές κινήσεις άρσεων ή με πλειομετρική προπόνηση. Σε ό,τι αφορά την ταχύτητα αλλαγής κατεύθυνσης, πρόσφατη μετα-ανάλυση (3) βρήκε ότι η εφαρμογή πλειομετρικής προπόνησης δύο φορές την εβδομάδα για τουλάχιστον 7 εβδομάδες βελτιώνει την ταχύτητα αλλαγής κατεύθυνσης σε νεαρούς αθλητές πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (10-13, 13-16 και 16-18 ετών αντίστοιχα), αν και μεγαλύτερη βελτίωση εμφάνισαν οι ομάδες κατά και μετά την ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος ($d = 0,95$ και $0,99$ αντίστοιχα) από ό,τι οι νεαρότεροι αθλητές ($d = 0,68$).

Οι Trecroci και συν. (118) αναφέρουν βελτίωση στη γενική κινητική συναρμογή ($d = 0,50-0,80$) και ισορροπία ($p < 0,05$) καλαθοσφαιριστών 10-12 ετών μετά από 8 εβδομάδες προπόνησης αναπηδήσεων με σχοινάκι. Σε έρευνα όπου ενσωματώθηκαν και αλματικές ασκήσεις σε προπόνηση νευρομυϊκής συναρμογής παιδιών 7-8 ετών (38), βρέθηκε βελτίωση στη μυϊκή αντοχή και ισχύ, την ισορροπία, την ευκαμψία και την ευκινησία ($p < 0,05$). Οι Skurvydas και Brazaitis (115) βρήκαν ότι 16 προπονήσεις με πλειομετρικές ασκήσεις προξενούν παρόμοια κεντρική και περιφερική κόπωση (μείωση κατά 50-60% και 45-55% αντίστοιχα) σε αγόρια και κορίτσια 10-11 ετών, αν και στα κορίτσια βρέθηκε μεγαλύτερη υπερτροφία του έξω πλατύ μυός μετά την παρέμβαση από ό,τι στα αγόρια (14 έναντι 9%). Η Arabatzi (2) εφάρμοσε πλειομετρικές ασκήσεις σε μικρό τραμπολινό σε παιδιά 9-10 ετών για 4 εβδομάδες. Η συγγραφέας βρήκε σημαντική βελτίωση στο άλμα με προδιάταση και στο άλμα πτώσης και σημαντική βελτίωση στην ισορροπία ($p < 0,05$) στα παιδιά που πήραν μέρος στην πλειομετρική προπόνηση σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι τα παιδιά έχουν καλύτερη απόκριση στην προπόνηση που στοχεύει στη βελτίωση της ευκινησίας κατά και μετά την ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος (3, 4), ενώ η ταχύτητα (60), η ικανότητα επιτάχυνσης (85) και οι ικανότητες συναρμογής (2, 118) βελτιώνονται σε όλες τις επιμέρους ηλικιακές φάσεις.

4. Φυσιολογική βάση λειτουργικών προσαρμογών

4.1 Νευρομυϊκή βάση του κύκλου διάτασης - βράχυνσης

Η παραγωγή ισχύος κατά τον κύκλο διάτασης-βράχυνσης βασίζεται στην αλληλεπίδραση διαφορετικών μηχανισμών. Πριν την επαφή με το έδαφος ή την επιφάνεια ώθησης, οι αγωνιστές μύες των άνω (44) ή των κάτω άκρων (52) ενεργοποιούνται ως μηχανισμός πρόβλεψης ή/και μέρος κεντρικού κινητικού προγράμματος (31, 94). Ακολούθως, ο κύκλος διάτασης-βράχυνσης αρχίζει με μια έκκεντρη σύσπαση (προφόρτιση) των μυών, κατά την οποία οι πρωταγωνιστές μύες επιμηκύνονται, ενώ είναι ενεργοποιημένοι (58). Κατά την έκκεντρη σύσπαση, οι μυϊκές άτρακτοι διεγείρονται από τη γρήγορη επιμήκυνση του μυός (6) προκαλώντας τη λειτουργία του μυοστατικού αντανακλαστικού και ερεθίζοντας τις νευρικές ίνες Ia, οι οποίες μεταφέρουν το μήνυμα στους α κινητικούς νευρώνες (μονοσυναπτική σύνδεση). Οι α κινητικοί νευρώνες διεγείρουν τη σύσπαση των εξωατρακτικών μυϊκών ινών του μυός (6, 31, 100). Αυτή η αντανακλαστική αντίδραση διευκολύνει τη δραστηριότητα των πρωταγωνιστών μυών, αυξάνοντας τη δύναμη που αυτοί παράγουν (6, 59). Επιπρόσθετα, η γρήγορη επιμήκυνση του μυός συνεπάγεται την αποθήκευση ελαστικής ενέργειας στα σε σειρά ελαστικά στοιχεία του, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της ταχύτητας σύσπασης και της παραγόμενης δύναμης κατά την ακόλουθη σύγκεντρη σύσπαση (βράχυνση) (59, 90) και, μάλιστα, περισσότερο από ό,τι σε μία μεμονωμένη σύγκεντρη συστολή (24).

Πιο αναλυτικά, η έκκεντρη σύσπαση των μυών κατά τον κύκλο διάτασης-βράχυνσης διακόπτεται από μια ισχυρή ισομετρική σύσπαση (58). Σε αυτήν τη φάση παρατηρείται παύση μεταξύ της πρώτης και της τρίτης (σύγκεντρης) φάσης και μεταφορά του σήματος από τις προσαγωγές ίνες Ia στους α κινητικούς νευρώνες και από τους α κινητικούς νευρώνες στους πρωταγωνιστές μύες (100). Την ισομετρική φάση ακολουθεί μια σύγκεντρη σύσπαση (βράχυνση) των πρωταγωνιστών μυών, κατά την οποία γίνεται απελευθέρωση της ελαστικής ενέργειας από τα ελαστικά στοιχεία σε σειρά και περαιτέρω διέγερση των α κινητικών νευρώνων από το μυοστατικό αντανακλαστικό, προκαλώντας μεγαλύτερη ενεργοποίηση των πρωταγωνιστών μυών (59, 100). Επιπλέον, η ακόλουθη δραστηριότητα των μελών σε αυτήν τη φάση αυξάνει την παραγόμενη μυϊκή δύναμη επιτρέποντας στο μεγαλύτερο μέρος της ελαστικής ενέργειας να αποθηκευτεί στους τένοντες των κυρίων εκτεινόντων (44) και έχοντας ως αποτέλεσμα την παραγωγή ισχύος, παρά το γεγονός ότι η νευρική διέγερση των μυών κατά τη σύγκεντρη σύσπαση είναι μικρή (59). Ο χρόνος μετάβασης από την έκκεντρη στη σύγκεντρη σύσπαση, το εύρος της διάτασης και η ταχύτητά της είναι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη συμβολή του μυοστατικού αντανακλαστικού στη σύγκεντρη απόδοση (90). Εάν η σύγκεντρη σύσπαση που ακολουθεί την έκκεντρη δεν πραγματοποιηθεί αμέσως (π.χ., όταν το εύρος κίνησης είναι πολύ μεγάλο ή η κίνηση που εκτελείται είναι πολύ αργή), η ικανότητα του μυοστατικού αντανακλαστικού να διευκολύνει τη σύγκεντρη σύσπαση αναιρείται και το μεγαλύτερο μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας χάνεται ως θερμότητα στους ιστούς (44, 53).

Οι νευρομυϊκοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση των παιδιών στον κύκλο διάτασης-βράχυνσης περιλαμβάνουν: μειωμένη μυϊκή προενεργοποίηση (50-100 ms πριν την επαφή με το έδαφος) σε σύγκριση με τους εφήβους ή τους άντρες (97), μειωμένο αντανακλαστικό διάτασης (66, 73) και ταυτόχρονη σύσπαση αγωνιστών-ανταγωνιστών μυών (42, 48, 65, 89). Κύριος στόχος της πλειομετρικής προπόνησης, ως προς τον κύκλο διάτασης-βράχυνσης, είναι να μειώσει τον χρόνο της φάσης απόσβεσης, η οποία ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της έκκεντρης φάσης και της έναρξης της σύγκεντρης φάσης (123).

4.2 Επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης στην οστική αναδόμηση στην παιδική ηλικία

Η πλειομετρική προπόνηση έχει μεγαλύτερη επίδραση στην οστική πυκνότητα και στην αύξηση της οστικής μάζας σε σύγκριση με την προπόνηση με αντιστάσεις, διότι, εκτός από τις δυνάμεις που ασκούνται στο οστό από τη μυϊκή σύσπαση, εφαρμόζονται σε αυτό συμπιεστικές και

στροφικές δυνάμεις, οι οποίες είναι αρκετές φορές μεγαλύτερες της σωματικής μάζας (127). Ιδιαίτερα εμφανής είναι αυτή η επίδραση κατά την ηλικία πριν τον μέγιστο ρυθμό αύξησης του αναστήματος, όπου συμβαίνουν οι περισσότερες σκελετικές προσαρμογές ως απόκριση στη μηχανική φόρτιση (45, 47, 86, 128, 130).

Σε παλιότερη έρευνα διάρκειας 8 μηνών σε αγόρια 8-11 ετών (21), φάνηκε ότι η οστική πυκνότητα αυξήθηκε με διπλάσιο ρυθμό συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (οσφυϊκή μοίρα σπονδυλικής στήλης $0,61 \pm 0,11$ έναντι $0,26 \pm 0,09\%$ ανά μήνα, σκέλη $0,76 \pm 0,07$ έναντι $0,34 \pm 0,08\%$ ανά μήνα, όλο το σώμα $0,32 \pm 0,04$ έναντι $0,17 \pm 0,06\%$ ανά μήνα, $p < 0,05$). Παρόμοια, σε άλλη έρευνα φάνηκε ότι τα παιδιά και οι έφηβοι που συμμετείχαν σε πρόγραμμα πλειομετρικής προπόνησης (25 άλματα πτώσης από 45 cm, 5 ημέρες/εβδομάδα για 12 εβδομάδες) παρουσίασαν μεγαλύτερη αύξηση οστικής μάζας στα οστά της σπονδυλικής στήλης και του ισχίου και μεγαλύτερη κατά 4% οστική πυκνότητα σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου (54). Η έρευνα των McKay και συν. (79), η οποία μελέτησε παρέμβαση διάρκειας 8 μηνών σε παιδιά 8-11 ετών, βρήκε σημαντική αύξηση στην οστική πυκνότητα του τροχαντήρα στην ομάδα παρέμβασης σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου (14,4 έναντι 11,7%, $p = 0,017$). Σε έρευνα των Gunter και συν. (49), όπου συμμετείχαν 107 κορίτσια και 98 αγόρια ηλικίας $8,6 \pm 0,88$ ετών, έγινε πλειομετρική προπόνηση διάρκειας 7 μηνών για 4 συνεχόμενα έτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος, στην ομάδα παρέμβασης οι τιμές οστικής μάζας ήταν μεγαλύτερες κατά 7,9, 8,4, 7,7 και 7,3% στη σπονδυλική στήλη, στο ισχίο, στο μηριαίο οστό και σε ολόκληρο το σώμα, αντίστοιχα, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Ωστόσο, ακόμα πιο σημαντικό ήταν το ότι, τέσσερα χρόνια μετά την παρέμβαση, τα παιδιά στα οποία εφαρμόστηκε πλειομετρική άσκηση είχαν μεγαλύτερη οστική μάζα σπονδυλικής στήλης, ισχίου, μηριαίου οστού και ολόκληρου του σώματος (2,3, 3,2, 4,4 και 2,9% αντίστοιχα, $p < 0,05$) σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου (49).

Σε πιο πρόσφατη έρευνα (56) διερευνήθηκαν οι διαφορές μεταξύ αγοριών ($10,2 \pm 0,4$ ετών) και αντρών ($22,0 \pm 0,8$ ετών) στην απόκριση του οστικού μεταβολισμού και της οστικής απορρόφησης μετά από μια συνεδρία υψηλού όγκου πλειομετρικής προπόνησης (συνολικά 144 άλματα). Οι ερευνητές μέτρησαν βιοχημικούς δείκτες που σχετίζονται με την οστεοσύνθεση (οστικό κλάσμα αλκαλικής φωσφατάσης, οστεοπρωτεγερίνη, αμινοτελικό διασταυρούμενο τελοπεπτίδιο του κολλαγόνου τύπου I-NTx, ενεργοποιητή υποδοχέα του σύμπλοκου πυρηνικού παράγοντα) σε δείγματα αίματος που ελήφθησαν 5 λεπτά, 1 ώρα και 24 ώρες μετά την άσκηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ακόμα και μετά από μια προπόνηση υπάρχει οστεογενής επίδραση της οστεοπρωτεγερίνης. Επιπλέον, τα αγόρια ανταποκρίθηκαν καλύτερα από τους άντρες (αύξηση των δεικτών άνω του 20% και κάτω του 10% αντίστοιχα).

Οι αθλητικές δραστηριότητες που εμπεριέχουν πλειομετρικές κινήσεις χρησιμοποιώντας ως αντίσταση το βάρος του σώματος προκαλούν συμπιεστικές δυνάμεις στα οστά και έχουν προταθεί ως τρόπος διέγερσης της ανάπτυξης και του σχηματισμού τους (7, 40, 47, 116). Για παράδειγμα, στην ενόργανη γυμναστική οι δυνάμεις αντίδρασης με το έδαφος κατά τα άλματα μπορούν να φτάσουν 8-10 φορές το βάρος του σώματος, σε αντίθεση με το περπάτημα ή το τρέξιμο, όπου δεν ξεπερνούν τις 2-4 φορές το βάρος του σώματος (82). Παλιότερες έρευνες έδειξαν ότι η οστική πυκνότητα αθλητριών ενόργανης γυμναστικής ήταν μεγαλύτερη από εκείνη συνομήλικων τους μη αθλητριών (93), παρά το πολύ χαμηλό ποσοστό σωματικού λίπους και την ανεπαρκή ενεργειακή πρόσληψη, πιθανές αιτίες χαμηλής συγκέντρωσης του ινσουλινομιμητικού παράγοντα 1 (IGF1) και προβλημάτων στην ανάπτυξη των οστών (41).

Επιπρόσθετα, η πλειομετρική άσκηση, εκτός της μηχανικής φόρτισης, έχει έμμεση επίδραση στην οστεογένεση μέσω της δράσης ορμονών (17, 120). Πιο συγκεκριμένα, η τεστοστερόνη, η κορτιζόλη και η παραθυρεοειδής ορμόνη επιδρούν στον οστικό μεταβολισμό (17, 23, 119, 120) και ανταποκρίνονται άμεσα στην άσκηση (5, 28, 61). Επιπλέον, η αυξητική ορμόνη, τα οιστρογόνα και ο ινσουλινο-μιμητικός παράγοντας 1 καθορίζουν την αναδόμηση του οστού και την οστική απορρόφηση (117, 129).

Σε γενικές γραμμές, οποιαδήποτε μορφή πλειομετρικής κίνησης, ακόμη και ήπια δραστηριότητα όπως το περπάτημα, αυξάνει την οστική πυκνότητα και την περιεκτικότητα του φλοιού των οστών σε ανόργανα άλατα (86). Ως γενική αρχή, ωστόσο, πιο σημαντική παράμετρος για την αύξηση της οστικής πυκνότητας θεωρείται το είδος από ό,τι η διάρκεια της φόρτισης (40).

4.3 Διαφορές στην νευρομυϊκή απόδοση μεταξύ παιδιών και ενηλίκων

Η νευρομυϊκή απόδοση παιδιών προεφηβικής ηλικίας διαφέρει σημαντικά από αυτή των ενηλίκων (78, 108, 126). Είναι γενικά τεκμηριωμένο ότι η μηχανική φόρτιση (π.χ. άσκηση με αντιστάσεις), αθροιστικά με την επίδραση της ωρίμανσης, βελτιώνει τη μυϊκή δύναμη στην παιδική ηλικία (39). Αυτή η βελτίωση θεωρείται κυρίως αποτέλεσμα νευρομυϊκών προσαρμογών (98, 107), διότι υπάρχει έλλειψη ανδρογόνων για μυϊκή υπερτροφία (43), αν και υπάρχουν ενδείξεις και μορφολογικών προσαρμογών (π.χ. μυϊκής υπερτροφίας).

Οι Dotan και συν. (33) υποστήριξαν ότι οι διαφορές μεταξύ παιδιών και ενηλίκων στη νευρομυϊκή απόδοση οφείλονται κυρίως στη διαφορετική διεγερσιμότητα των κινητικών μονάδων των παιδιών. Οι ίδιοι συγγραφείς πρότειναν την ταξινόμηση των διαφορών νευρομυϊκής απόδοσης μεταξύ παιδιών και ενηλίκων σε τρεις κατηγορίες: α) διαφορές που αφορούν τη διεγερσιμότητα των κινητικών μονάδων ή, πιο συγκεκριμένα, τον βαθμό εθελούσιας μυϊκής ενεργοποίησης, β) διαφορές που αφορούν τη σύσταση των μυϊκών ινών και γ) διαφορές που αφορούν το μεταβολικό προφίλ. Σε έρευνα που εξέτασε τον ρυθμό εφαρμογής δύναμης στα πρώτα 30-200 ms ως κριτήριο διεγερσιμότητας των κινητικών μονάδων των παιδιών (32), αναφέρθηκε ότι ο μικρότερος ρυθμός εφαρμογής δύναμης στα παιδιά πιθανώς εξηγείται από τις διαφορές που έχουν με τους ενήλικες ως προς τον τύπο μυϊκών ινών (50), την εγκάρσια διατομή των μυών (1) και τις γλοιοελαστικές ιδιότητες των μυών (19). Ωστόσο, ο βαθμός ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων αναφέρεται ως ο πιο σημαντικός παράγοντας (33), παρά το γεγονός ότι πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι ο ρυθμός εφαρμογής δύναμης δεν είναι πάντα αξιόπιστος δείκτης της διεγερσιμότητας των κινητικών μονάδων στα παιδιά (78).

Επιπλέον, τα παιδιά έχουν μικρότερη ικανότητα επιστράτευσης μυϊκών ινών τύπου II (10, 18, 66, 96), ικανότητα όμως που βελτιώνεται σε μεγάλο βαθμό κάτω από την επίδραση της προπόνησης. Για παράδειγμα, οι Dotan και συν. (32) συνέκριναν αθλητές ενόργανης γυμναστικής ($9,5 \pm 1,2$ ετών) με απροπόνητα, συνομήλικα παιδιά ($10,1 \pm 1,3$ ετών) και απροπόνητους ενήλικες άντρες ($22,9 \pm 4,4$ ετών) και βρήκαν ότι οι νεαροί αθλητές είχαν παρόμοιο επίπεδο ανάπτυξης ροπής κατά την κάμψη αγκώνων με ενήλικες απροπόνητους άντρες και 11-20% υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης ροπής από τους απροπόνητους συνομηλικούς τους, παρά την απουσία μεγαλύτερης μυϊκής υπερτροφίας. Οι ερευνητές απέδωσαν αυτό το εύρημα στα υψηλότερα επίπεδα διέγερσης κινητικών μονάδων και την αυξημένη επιστράτευση μυϊκών ινών τύπου II των νεαρών αθλητών λόγω της χρόνιας προπόνησης ενόργανης γυμναστικής.

Λόγω του περιορισμού λήψης μυϊκών βιοψιών σε παιδιά, τα δεδομένα για τη σύσταση των μυών σε παιδιά είναι λίγα και προέρχονται από παλαιότερες μελέτες. Στις μελέτες αυτές, παρουσιάζεται ότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερο ποσοστό οξειδωτικών ινών (τύπου I) σε σύγκριση με ενήλικες (68). Επίσης, οι μυϊκές ίνες τύπου II των παιδιών φαίνεται να είναι μικρότερες σε εμβαδό εγκάρσιας διατομής από τις ίνες τύπου I (22), γεγονός το οποίο πιθανώς υποδηλώνει τη μειωμένη ενεργοποίηση ή/και χρήση των κινητικών μονάδων τύπου II στην παιδική ηλικία (68). Εικάζεται ότι τα παιδιά δεν μπορούν να επιστρατεύσουν στον βαθμό που μπορούν οι ενήλικες τις μυϊκές ίνες τύπου II (32), ότι οι μυϊκές ίνες τύπου I των παιδιών έχουν μεγαλύτερη ανοχή στην κόπωση ή/και ότι τα παιδιά έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I, το οποίο μειώνεται σταδιακά από την ηλικία των 5 έως την ηλικία των 20 ετών (από 65 σε 50%) (68). Παρόλα αυτά, οι διαφορές της μυϊκής σύστασης μεταξύ παιδιών και ενηλίκων χρειάζεται να διερευνηθούν περισσότερο στο μέλλον με τη χρήση νέων, μη παρεμβατικών μεθόδων.

Το μέγεθος και η αρχιτεκτονική των μυών και των τενόντων διαφέρουν μεταξύ παιδιών και ενηλίκων (62, 125), επηρεάζοντας τη μηκοδυναμική και ταχοδυναμική σχέση (63). Για παράδειγμα,

οι τένοντες έχουν μικρότερη σκληρότητα σε αγόρια παιδικής ηλικίας από ό,τι σε αγόρια εφηβικής ηλικίας και σε ενήλικες (62). Σύμφωνα με τους Rumpf και συν. (112), πιθανή αιτία αυτού του φαινομένου είναι το ότι ο μυοτενόντιος ιστός των αθλητών κατά τη διάρκεια της προεφηβείας είναι πιο εύκαμπτος από των αθλητών μεγαλύτερης ηλικίας. Η προπόνηση με αντιστάσεις (10 εβδομάδες, 2 φορές/εβδομάδα) αυξάνει τη σκληρότητα του τένοντα, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει τον ρυθμό εφαρμογής δύναμης (126). Η ανάπτυξη των τενόντων κατά την παιδική και εφηβική ηλικία επιφέρει προσαρμογές τόσο στις διαστάσεις (μήκος, εγκάρσια διατομή) όσο και στις ιδιότητές τους (62, 63).

Το μεταβολικό προφίλ των παιδιών προεφηβικής ηλικίας, το οποίο δείχνει ότι οι ενεργειακές ανάγκες της άσκησης καλύπτονται περισσότερο μέσω του οξειδωτικού παρά του αναερόβιου μεταβολισμού, και οι διαφορετικές στρατηγικές μυϊκής ενεργοποίησης που χρησιμοποιούν τα παιδιά συνεπάγονται καλύτερη ανοχή στην κόπωση και ιδιαίτερα σε διαλειμματικές δραστηριότητες κατά τις οποίες συμμετέχει ολόκληρο το σώμα, όπως σπριντ και άλματα (110) ή κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων μέγιστων εκούσιων μυϊκών συσπάσεων (109). Όσο αυξάνεται η ηλικία, παρατηρείται αύξηση της επιστράτευσης μυϊκών ινών τύπου II, αυξήσεις στο μέγεθος και τη συσταλτικότητα των μυών, βελτιωμένη ενεργοποίηση κινητικών μονάδων (73), καλύτερος μυϊκός συντονισμός, υψηλότερη αντανakλαστική διέγερση (48, 97) και καλύτερη χρήση του κύκλου διάτασης-βράχυνσης (77).

5. Κατευθύνσεις για την εφαρμογή πλειομετρικής προπόνησης σε παιδιά

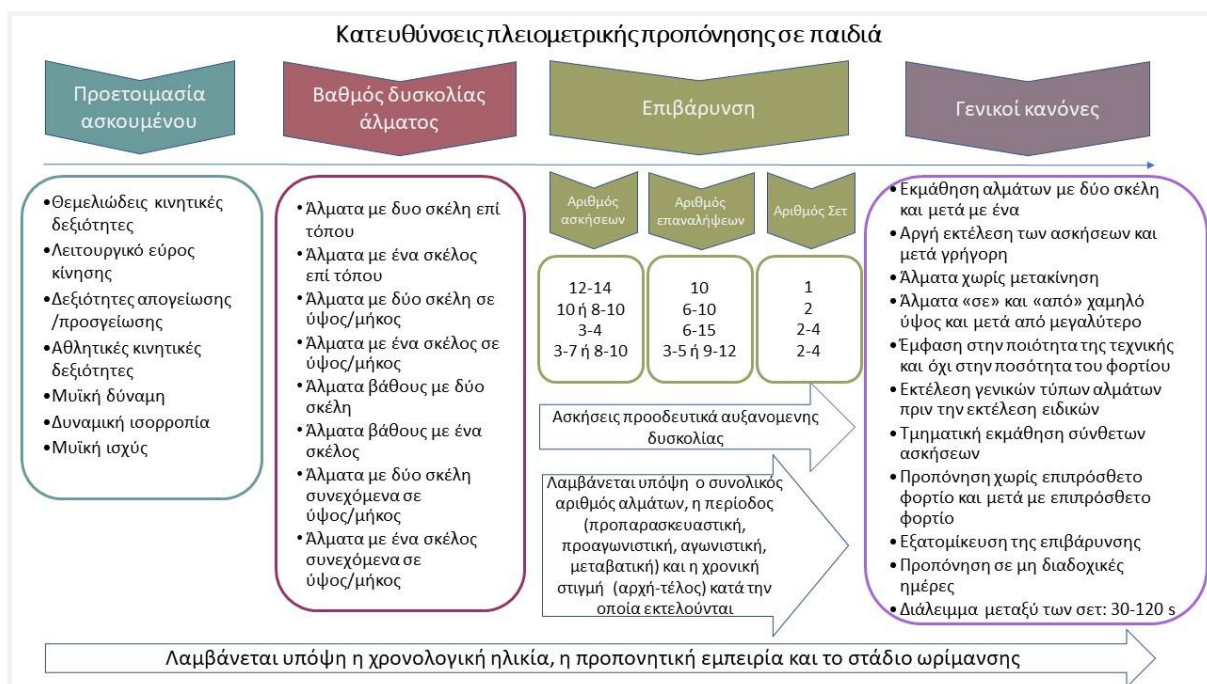
Σε αρκετές μελέτες έχουν παρουσιαστεί οι βασικές προϋποθέσεις και κατευθύνσεις για την εφαρμογή προγραμμάτων πλειομετρικής άσκησης σε νέους αθλητές (14, 35, 55, 114). Ως βασική αρχή, η ποιότητα της εκτέλεσης των ασκήσεων είναι πιο σημαντική από τον συνολικό όγκο προπόνησης και το προπονητικό φορτίο θα πρέπει να εξετάζεται σε ατομική βάση, ανάλογα με την προπονητική εμπειρία και την αρχική απόδοση του ασκούμενου παιδιού (9, 69, 81, 91). Επιπλέον, είναι απαραίτητη η επίβλεψη από ειδικούς (69). Προτεραιότητα της προπόνησης είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας τραυματισμού λόγω υπερπροπόνησης ή μυϊκού τραυματισμού (9, 12, 69).

Σε ό,τι αφορά το προπονητικό φορτίο, επειδή η μυϊκή δύναμη και ισχύς των παιδιών βελτιώνονται συνεχώς λόγω ανάπτυξης και ωρίμανσης, απαιτούνται επαρκή ερεθίσματα και παρατεταμένη περίοδος προπόνησης προκειμένου να διαφοροποιηθούν οι προσαρμογές στην προπόνηση από εκείνες στην ανάπτυξη (67, 92). Ως κριτήριο προσδιορισμού του προπονητικού φορτίου προτείνεται η διαφοροποίηση του δείκτη αντιδραστικής δύναμης (71, 72). Είναι επίσης απαραίτητη η θέση συγκεκριμένου στόχου προπόνησης και η χρήση αναπτυξιακά κατάλληλων δοκιμασιών (71). Οι δραστηριότητες του κύκλου διάτασης-βράχυνσης διακρίνονται σε γρήγορες και αργές, χρησιμοποιώντας ως κριτήριο το χρονικό όριο των 250 ms χρόνου επαφής με το έδαφος (113). Για παράδειγμα, το ύψος κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση δεν αντιπροσωπεύει έναν γρήγορο κύκλο βράχυνσης διάτασης (71).

Στην ανασκόπηση των Lloyd και συν. (69) προτείνεται αρχικά εστίαση στην ανάπτυξη των θεμελιωδών κινητικών δεξιοτήτων και, στη συνέχεια, εφαρμογή πλειομετρικής προπόνησης. Το πρόγραμμα πλειομετρικών ασκήσεων σε αναπτυξιακές ηλικίες εφαρμόζεται 1-2 φορές την εβδομάδα σε μη συνεχόμενες ημέρες (30, 124). Το φορτίο είναι προοδευτικά αυξανόμενο και βασίζεται στην επιλογή κατάλληλων τύπων αλμάτων ανά άθλημα και επίπεδο (12, 69, 102). Οι ασκήσεις αρχικά θα πρέπει να εκτελούνται χωρίς μετακίνηση και αργότερα με μετακίνηση (35, 69), αρχικά με χαμηλή ταχύτητα και αργότερα με υψηλότερη και να εισάγονται τεχνικά εύκολες και, μετά από κάποιο διάστημα, προοδευτικά δυσκολότερες ασκήσεις (34, 35, 69). Συστήνεται το φορτίο να είναι αρχικά μόνο με το βάρος του σώματος (69). Όσο οι ασκήσεις γίνονται πιο σύνθετες, τόσο είναι πιθανό να χρειάζεται μικρή τροποποίηση, ανάλογα με την ηλικία και το επίπεδο φυσικής κατάστασης του ασκούμενου παιδιού, για τη σωστή ενεργοποίηση του μυοστατικού

αντανakλαστικού (μικρό εύρος κίνησης και αυξημένη ταχύτητα εκτέλεσης) (100). Πρέπει να τονιστεί ότι οι δραστηριότητες του κύκλου διάτασης-βράχυνσης, και ειδικά τα άλματα πτώσης, φορτίζουν τα κάτω άκρα με δυνάμεις αντίδρασης από το έδαφος, 2-10 φορές μεγαλύτερες της σωματικής μάζας. Συνεπώς είναι απαραίτητο να εκτελούνται με προσοχή (34, 69, 71, Σχήμα 1).

Σε ό,τι αφορά τα προπονητικά πρωτόκολλα, στη μετα-ανάλυση των Lesinski και συν. (67) αναφέρεται ότι η εφαρμογή τεσσάρων σετ πλειομετρικής προπόνησης επιφέρει τη μεγαλύτερη βελτίωση στη μυϊκή δύναμη και σε αθλητικές κινήσεις, ενώ η εφαρμογή 3-4 σετ έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη βελτίωση του κατακόρυφου άλματος και της ταχύτητας. Όσον αφορά στον αριθμό επαναλήψεων, 3-5 επαναλήψεις και 9-12 επαναλήψεις ανά σετ φαίνεται να είναι το ίδιο αποτελεσματικές (67). Άλλοι συγγραφείς προτείνουν 3-5 σετ από 8-12 επαναλήψεις σε 3-7 ασκήσεις, κάτι που σε γενικές γραμμές αντιστοιχεί κατ'ελάχιστο σε 100 άλματα (14). Στη συστηματική ανασκόπηση των Bedoya και συν. (11) για ποδοσφαιριστές παιδικής ηλικίας και έως 17 ετών, προτείνονται επίσης 3-4 ασκήσεις, 2-4 σετ και 6-15 επαναλήψεις. Για τα παιδιά που δεν έχουν ακόμα την ικανότητα πλειομετρικής προπόνησης για δύο φορές την εβδομάδα, προτείνεται η εφαρμογή μίας προπόνησης ανά εβδομάδα, χαμηλής έντασης και μεγαλύτερης διάρκειας (1 σετ από 6-10 επαναλήψεις για 12-14 ασκήσεις, 36). Άλλοι συγγραφείς προτείνουν να ξεκινούν τα παιδιά με ένα ενιαίο σύνολο 60 επαφών με το έδαφος (11, 88) και να συνεχίζουν με 2-3 σετ των 6-10 επαναλήψεων πλειομετρικών ασκήσεων των κάτω άκρων (35). Η εφαρμογή μίας ή δύο προπονήσεων ίδιου συνολικού αριθμού αλμάτων φαίνεται να επιφέρει την ίδια βελτίωση σε παραμέτρους απόδοσης αθλητών 11-12 ετών (20). Τέλος, έχει αναφερθεί ότι ο συνδυασμός πλειομετρικών ασκήσεων με ένα και δυο σκέλη είναι πιο αποτελεσματικός από ό,τι η εφαρμογή προπόνησης μόνο με δύο ή μόνο με ένα σκέλος (104, Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Κατευθύνσεις πλειομετρικής προπόνησης σε παιδιά.

6. Συμπεράσματα

- Η πλειομετρική προπόνηση, κυρίως σε αγόρια αθλητές παιδικής ηλικίας, μπορεί να βελτιώσει τη μυϊκή ισχύ των κάτω άκρων (όπως προσδιορίζεται έμμεσα από διάφορους τύπους αλμάτων), την ευκινησία, την ταχύτητα σπριντ και εξειδικευμένες ανάλογα με το άθλημα δεξιότητες και ικανότητες.
- Η επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης σε παραμέτρους απόδοσης αθλητών παιδικής ηλικίας εξαρτάται από το στάδιο ωρίμανσης των αθλητών. Η απόκριση σε πλειομετρική προπόνηση για το ύψος άλματος φαίνεται να μειώνεται κατά την ηλικία που παρατηρείται ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του αναστήματος.
- Η ταχύτητα και επιλεγμένες αθλητικές δεξιότητες φαίνεται ότι βελτιώνονται τόσο στη μέση παιδική ηλικία, όσο και σε όλες τις επόμενες φάσεις ωρίμανσης.
- Η ευκινησία βελτιώνεται περισσότερο κατά τη διάρκεια και μετά την ηλικία μέγιστου ρυθμού αύξησης του αναστήματος.
- Νευρομυϊκοί μηχανισμοί που συνδέονται με την ανάπτυξη και την ωρίμανση, όπως η χαμηλότερη εθελούσια μυϊκή ενεργοποίηση και το πιθανώς χαμηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II, είναι υπεύθυνοι για τη λιγότερο αποτελεσματική χρήση του κύκλου διάτασης-βράχυνσης που συνήθως παρατηρείται στα παιδιά σε σύγκριση με τους ενήλικες.
- Η πλειομετρική προπόνηση έχει μεγαλύτερη επίδραση στην οστεογένεση σε σύγκριση με την προπόνηση με αντιστάσεις, άμεσα λόγω μηχανικής φόρτισης και έμμεσα μέσω ορμονικών αποκρίσεων.
- Σε γενικές γραμμές, τα διαφορετικά μεγέθη βελτίωσης της απόδοσης τα οποία έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία πιθανώς οφείλονται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων άσκησης (αριθμός επαναλήψεων και σετ, διάλειμμα μεταξύ των σετ, τύπος αλμάτων και περίοδος εφαρμογής μέσα στη χρονιά) και των ασκουμένων (ηλικία, βιολογική ηλικία, άθλημα και επίπεδο απόδοσης, προγενέστερη εξοικείωση με την πλειομετρική άσκηση).
- Για τη γενίκευση των μέχρι σήμερα ευρημάτων σχετικά με την επίδραση της πλειομετρικής προπόνησης στην αθλητική απόδοση παιδιών, αποτελεί μεθοδολογικό περιορισμό το γεγονός ότι η έρευνα σε αθλητές παιδικής ηλικίας είναι περιορισμένη και η παρέμβαση μικρής διάρκειας (περίπου 7 εβδομάδες), ενώ είναι ελάχιστα τα ερευνητικά δεδομένα για αθλήτριες αυτής της ηλικίας και για ατομικά αθλήματα.
- Περαιτέρω έρευνα πρέπει να εξετάσει την εφαρμογή πλειομετρικής προπόνησης σε μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων, σε διαφορετικές περιόδους μέσα στον ετήσιο κύκλο (προπαρασκευαστική, προαγωνιστική, αγωνιστική κ.λπ.) και σε διαφορετική χρονική στιγμή σε μία προπονητική μονάδα (αρχή, τέλος). Επιπλέον, πρέπει να διερευνηθεί τόσο ο αρχικός προσδιορισμός του προπονητικού φορτίου για αθλητές διαφορετικών αθλημάτων, όσο και η προοδευτική αύξησή του κατά τον σχεδιασμό μιας μελέτης, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για την εφαρμογή πλειομετρικής προπόνησης σε αθλητές παιδικής ηλικίας.

Οικονομική υποστήριξη και σύγκρουση συμφερόντων

Οι συγγραφείς δηλώνουν ότι δεν έλαβαν κάποια οικονομική υποστήριξη για τη συγγραφή της εργασίας και ότι δεν υπάρχει καμία σύγκρουση συμφερόντων.

Παραπομπές

1. Aagaard P, Thorstensson A. Neuromuscular aspects of exercise—adaptive responses evoked by strength training. In: *Textbook of Sports Medicine: Basic Science and Clinical Aspects of Sports Injury and Physical*

- Activity, edited by Kjaer M, Krogsgaard M, Magnusson P, Engebretsen L, Roos H, Takal T and Woo S. Blackwell, pp. 70-106, 2008.
2. Arabatzis F. Adaptations in movement performance after plyometric training on mini-trampoline in children. *J Sports Med Phys Fitness* 58: 66-72, 2018.
 3. Asadi A, Arazi H, Ramirez-Campillo R, Moran J, Izquierdo M. Influence of maturation stage on agility performance gains after plyometric training: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res* 31: 2609-2617, 2017.
 4. Asadi A, Arazi H, Young WB, de Villarreal ES. The effects of plyometric training on change-of-direction ability: A meta-analysis. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 563-573, 2016.
 5. Ashizawa N, Fujimura R, Tokuyama K, Suzuki M. A bout of resistance exercise increases urinary calcium independently of osteoclastic activation in men. *J Appl Physiol* 83: 1159-1163, 1997.
 6. Baechle TR, Earle RW. *Essentials of Strength and Conditioning*. Human Kinetics: Champaign, IL, 2000.
 7. Bailey DA, Faulkner RA, McKay HA. Growth, physical activity, and bone mineral acquisition. *Exerc Sport Sci Rev* 24: 233-266, 1996.
 8. Balyi I, Hamilton A. Key to success: long-term athlete development. *Sports Coach* 23: 30-42, 2000.
 9. Barker A, Lloyd RS, Buchheit M, Williams C, Oliver JL. The BASES expert statement on trainability during childhood and adolescence. *Sport Exerc Sci* 41: 22-23, 2014.
 10. Bassa E, Patikas D, Hatzikotoulas K, Kotzamanidis C. Commentary on "Child-adult differences in muscle activation - a review". *Pediatr Exerc Sci* 25: 332-336, 2013.
 11. Bedoya AA, Miltenberger MR, Lopez RM. Plyometric training effects on athletic performance in youth soccer athletes: a systematic review. *J Strength Cond Res* 29: 2351-2360, 2015.
 12. Behm DG, Faigenbaum AD, Falk B, Klentrou P. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 547-561, 2008.
 13. Behm DG, Young JD, Whitten JH, Reid JC, Quigley PJ, Low J, Li Y, Lima CD, Hodgson DD, Chaouachi A, Prieske O. 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, 2017.
 14. Behringer M, Heede AV, Matthews M, Mester J. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci* 23: 186-206, 2011.
 15. Berk LE. *Exploring lifespan development*. Pearson, 2017.
 16. Beunen G. Physical growth, maturation and performance. In: *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual*, edited by Eston R, Reilly T. London: Routledge, pp. 65-90, 2001.
 17. Bilezikian JP, Kurland ES. Therapy of male osteoporosis with parathyroid hormone. *Calcif Tissue Int* 69: 248-251, 2001.
 18. Blimkie CJ. Age- and sex- associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic, and physical activity correlates. In: *Perspectives in exercise science and sports medicine. Vol. 2: Youth, exercise and sports*, edited by Gisolfi CV, Lamb D. Indianapolis: Benchmark Press, p. 99-163, 1989.
 19. Bojsen-Møller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* 99: 986-994, 2005.
 20. Bouguezzi R, Chaabene H, Negra Y, Ramirez-Campillo R, Jlalía Z, Mkaouer B, Hachana Y. Effects of different plyometric training frequency on measures of athletic performance in prepubertal male soccer. *J Strength Cond Res*, published ahead of print, 2018.
 21. Bradney M, Pearce G, Naughton G, Sullivan C, Bass S, Beck T, Carlson J, Seeman E. Moderate exercise during growth in prepubertal boys: changes in bone mass, size, volumetric density, and bone strength: a controlled prospective study. *J Bone Miner Res* 13: 1814-1821, 1998.
 22. Brooke MH, Engel WK. The histographic analysis of human muscle biopsies with regard to fiber types 4. Children's biopsies. *Neurol* 19: 591-599, 1969.
 23. Canalis ER. Clinical review 83: Mechanisms of glucocorticoid action in bone: implications to glucocorticoid-induced osteoporosis. *J Clin Endocrinol Metab* 81: 3441-3447, 1996.
 24. Cavagna GA, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 24: 21-32, 1968.
 25. Chaouachi A, Hammami R, Kaabi S, Chamari K, Drinkwater EJ, Behm DG. Olympic weightlifting and plyometric training with children provides similar or greater performance improvements than traditional resistance training. *J Strength Cond Res* 28: 1483-1496, 2014.

26. Chelly MS, Hermassi S, Aouadi R, Shephard RJ. Effects of 8-week in-season plyometric training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. *J Strength Cond Res* 28: 1401-1410, 2014.
27. Chelly MS, Hermassi S, Shephard RJ. Effects of in-season short-term plyometric training program on sprint and jump performance of young male track athletes. *J Strength Cond Res* 29: 2128-2136, 2015.
28. Crewther B, Keogh J, Cronin J, Cook C. Possible stimuli for strength and power adaptation. *Sports Med* 36: 215-238, 2006.
29. De Villarreal ES, Requena B, Cronin JB. The effects of plyometric training on sprint performance: A meta-analysis. *J Strength Cond Res* 26: 575-84, 2012.
30. Diallo O, Dore E, Duche P, Van Praagh E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 41: 342-348, 2001.
31. Dietz V, Noth J, Schmidtbleicher D. Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls. *J Physiol* 311: 113-125, 1981.
32. Dotan R, Mitchell C, Cohen R, Gabriel D, Klentrou P, Falk B. Child-adult differences in the kinetics of torque development. *J Sports Sci* 31: 945-953, 2013.
33. Dotan R, Mitchell C, Cohen R, Klentrou P, Gabriel D, Falk B. Child-adult differences in muscle activation - a review. *Pediatr Exerc Sci* 24: 2-21, 2012.
34. Faigenbaum AD. Plyometrics for kids: Facts and fallacies. *NSCA's Performance Training Journal* 5: 13-16, 2006.
35. Faigenbaum AD, Chu DA. Plyometric training for children and adolescents. *American College of Sports Medicine Current Comment*. December 2001.
36. Faigenbaum AD, Farrell AC, Radler T, Zbojovsky D, Chu DA, Ratamess NA, Kang J, Hoffman JR. " Plyo Play": A novel program of short bouts of moderate and high intensity exercise improves physical fitness in elementary school children. *Phys Educ* 66: 37-44, 2009.
37. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJ, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, Rowland TW. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res* 23: 60-79, 2009.
38. Faigenbaum AD, Myer GD, Farrell A, Radler T, Fabiano M, Kang J, Ratamess N, Khoury J, Hewett TE. Integrative neuromuscular training and sex-specific fitness performance in 7-year-old children: an exploratory investigation. *J Athl Train* 49: 145-153, 2014.
39. Falk B, Eliakim A. Resistance training, skeletal muscle and growth. *Pediatr Endocrinol Rev* 1: 120-127, 2003.
40. Fehling PC, Alekel L, Clasey J, Rector A, Stillman RJ. A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports. *Bone* 17: 205-210, 1995.
41. Filaire E, Ferrand C, Jouanel P, Colombier M, Bégue RJ, Lac G. Statut biologique, hormonal, nutritionnel et psychologique de gymnastes féminines de haut niveau. *Sci Sports* 17: 1-7, 2002.
42. Frost G, Dowling J, Dyson K, Bar-Or O. Cocontraction in three age groups of children during treadmill locomotion. *J Electromyogr Kinesiol* 7: 179-186, 1997.
43. Fukunaga T, Funato K. The effects of resistance training on muscle area and strength in prepubescent age. *Ann Physiol Anthropol* 11: 357-364, 1992.
44. Gollhofer A, Schmidtbleicher D, Dietz V. Regulation of muscle stiffness in human locomotion. *Int J Sports Med* 5: 19-22, 1984.
45. Gómez-Bruton A, Matute-Llorente Á, González-Agüero A, Casajús JA, Vicente-Rodríguez G. Plyometric exercise and bone health in children and adolescents: a systematic review. *World J Pediatr* 13: 112-21, 2017.
46. Granacher U, Lesinski M, Büsch D, Muehlbauer T, Prieske O, Puta C, Gollhofer A, Behm DG. Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: a conceptual model for long-term athlete development. *Front Physiol* 7: 164, 2016.
47. Greene DA, Naughton GA. Adaptive skeletal responses to mechanical loading during adolescence. *Sports Med* 36: 723-732, 2006.
48. Grosset, JF, Mora I, Lambertz D, Pérot, C. Changes in stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children. *J Appl Physiol* 102: 2352-2360, 2007.

49. Gunter K, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Almstedt H, Fuller A, Durski S, Snow C. Jump starting skeletal health: a 4-year longitudinal study assessing the effects of jumping on skeletal development in pre and circum pubertal children. *Bone* 42: 710-718, 2008.
50. Harridge SD, Bottinelli R, Canepari M, Pellegrino MA, Reggiani C, Esbjörnsson M, Saltin B. Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflügers Archiv* 432: 913-920, 1996.
51. Harrison AJ, Gaffney S. Motor development and gender effects on stretch-shortening cycle performance. *J Sports Sci Med* 4: 406-415, 2001.
52. Horita T, Komi P, Nicol C, Kyröläinen H. 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, 2002.
53. Ishikawa M, Komi PV, Grey MJ, Lepola V, Bruggemann GP. Muscle-tendon interaction and elastic energy usage in human walking. *J Appl Physiol* 99: 603-608, 2005.
54. Johannsen N, Binkley T, Englert V, Neiderauer G, Specker B. Bone response to jumping is site-specific in children: a randomized trial. *Bone* 33: 53-59, 2003.
55. Johnson BA, Salzberg CL, Stevenson DA. A systematic review: plyometric training programs for young children. *J Strength Cond Res* 25: 2623-2633, 2011.
56. Kish K, Mezil Y, Ward WE, Klentrou P, Falk B. Effects of plyometric exercise session on markers of bone turnover in boys and young men. *Eur J Appl Physiol* 115: 2115-2124, 2015.
57. Komi PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev* 12: 81-122, 1984.
58. Komi, PV. Stretch-shortening cycle. In: *Strength and power in sports*, edited by Komi P. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 169-179, 1991.
59. Komi PV, Gollhofer A. Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *J Appl Biomech* 13: 451-460, 1997.
60. Kotzamanidis C. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J Strength Cond Res* 20: 441-445, 2006.
61. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 35: 339-361, 2005.
62. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *Int J Sports Med* 22: 138-143, 2001.
63. Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Influences of tendon stiffness, joint stiffness, and electromyographic activity on jump performances using single joint. *Eur J Appl Physiol* 99: 235-243, 2007.
64. Laffaye G, Choukou MA, Benguigui N, Padulo J. Age-and gender-related development of stretch shortening cycle during a sub-maximal hopping task. *Biol Sport* 33: 29-35, 2016.
65. Lambertz D, Mora I, Grosset JF, Perot, C. Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *J Appl Physiol* 95: 64-72, 2003.
66. Lazaridis S, Bassa E, Patikas D, Giakas G, Gollhofer A, Kotzamanidis, C. Neuromuscular differences between prepubescent boys and adult men during drop jump. *Eur J Appl Physiol* 110: 67-74, 2010.
67. Lesinski M, Prieske O, Granacher U. Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 50: 781-795, 2016.
68. Lexell J, Sjöström M, Nordlund AS, Taylor CC. Growth and development of human muscle: a quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle Nerve* 15: 404-409, 1992.
69. Lloyd RS, Meyers RW, Oliver JL. The natural development and trainability of plyometric ability during childhood. *Strength Cond J* 33: 23-32, 2011.
70. Lloyd RS, Oliver JL. The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J* 34: 61-72, 2012.
71. Lloyd R, Oliver J, Hughes M, Williams C. Specificity of test selection for the appropriate assessment of different measures of stretch-shortening cycle function in children. *J Sports Med Phys Fit* 51: 595-602, 2011.
72. Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, Williams CA. The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *J Strength Cond Res* 26: 2812-2819, 2012.

73. Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, Williams CA. 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, 2012.
74. Malina, RM, Bouchard C, & Bar-Or O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Human Kinetics, Champaign, 2004.
75. Marina M, Jemni M. Plyometric training performance in elite-oriented prepubertal female gymnasts. *J Strength Cond Res* 28: 1015-1025, 2014.
76. Markovic G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med* 41: 349-355, 2007.
77. Markovic G, Mikulic P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med* 40: 859-895, 2010.
78. Martin V, Ratel S. Determining the muscle voluntary activation characteristics in children: a methodological challenge. Commentary on "Child-adult differences in muscle activation - a review". *Pediatr Exerc Sci* 26: 365-368, 2014.
79. McKay HA, MacLean L, Petit M, MacKelvie-O'Brien K, Janssen P, Beck T, Khan KM. "Bounce at the Bell": a novel program of short bouts of exercise improves proximal femur bone mass in early pubertal children. *Br J Sports Med* 39: 521-526, 2005.
80. McKenzie CR, Brughelli M, Whatman C, Brown SR. Handheld loading to enhance horizontal jump performance in female netball players. *Int J Sports Med* 37: 318-23, 2016.
81. McNarry M, Jones A. The influence of training status on the aerobic and anaerobic responses to exercise in children: A review. *Eur J Sport Sci* 14: 57-68, 2014.
82. McNitt-Gray JL. Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights. *J Biomech* 26: 1037-1046, 1993.
83. Mero A. Power and speed training during childhood. *Pediatric Anaerobic Performance*, 241-267. Champaign, IL: Human Kinetics, 1998.
84. Meylan C, Malatesta D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res* 23: 2605-2613, 2009.
85. Michailidis Y, Fatouros IG, Primpa E, Michailidis C, Avloniti A, Chatzinikolaou A, Barbero-Álvarez JC, Tsoukas D, Douroudos II, Draganidis D, Leontsini D. Plyometrics' trainability in preadolescent soccer athletes. *J Strength Cond Res* 27: 38-49, 2013.
86. Michalopoulou M, Kambas A, Leontsini D, Chatzinikolaou A, Draganidis D, Avloniti A, Tsoukas D, Michopoulou E, Lyritis GP, Papaioannou N, Tournis S. Physical activity is associated with bone geometry of premenarcheal girls in a dose-dependent manner. *Metabolism* 62: 1811-1818, 2013.
87. Moran J, Sandercock GR, Ramírez-Campillo R, Meylan CM, Collison JA, Parry DA. Age-related variation in male youth athletes' countermovement jump after plyometric training: a meta-analysis of controlled trials. *J Strength Cond Res* 31: 552-565, 2017.
88. Moran J, Sandercock GR, Ramírez-Campillo R, Todd O, Collison J, Parry DA. Maturation-related effect of low-dose plyometric training on performance in youth hockey players. *Pediatr Exerc Sci* 29: 194-202, 2017.
89. Moritani T, Oddsson L, Thorstensson A, Åstrand PO. Neural and biomechanical differences between men and young boys during a variety of motor tasks. *Acta Physiol Scan* 137: 347-355, 1989.
90. Munger CN, Archer DC, Leyva WD, Wong MA, Coburn JW, Costa PB, Brown LE. Acute Effects of Eccentric Overload on Concentric Front Squat Performance. *J Strength Cond Res* 31: 1192-1197, 2017.
91. Myer GD, Faigenbaum AD, Chu DA, Falkel J, Ford KR, Best TM, Hewett TE. Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *Phys Sports Med* 39: 74-84, 2011.
92. Naughton G, Farpour-Lambert NJ, Carlson J, Bradney M, Van Praagh E. Physiological issues surrounding the performance of adolescent athletes. *Sports Med* 30: 309-325, 2000.
93. Nichols DL, Sanborn CF, Bonnick SL, Ben-Ezra V, Gench B, DiMarco NM. The effects of gymnastics training on bone mineral density. *Med Sci Sports Exerc* 26: 1220-1225, 1994.
94. Nicol C, Avela J, Komi PV. The stretch-shortening cycle. *Sports Med* 36: 977-999, 2006.
95. Nobre GG, de Almeida MB, Nobre IG, dos Santos FK, Brinco RA, Arruda-Lima TR, de-Vasconcelos KL, de-Lima JG, Borba-Neto ME, Damasceno-Rodrigues EM, Santos-Silva SM. Twelve weeks of plyometric training improves motor performance of 7-to 9-year-old boys who were overweight/obese: a randomized controlled intervention. *J Strength Cond Res* 31: 2091-2099, 2017.

96. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Muscle-tendon structure and dimensions in adults and children. *J Anat* 216: 631–642, 2010.
97. Oliver JL, Smith PM. Neural control of leg stiffness during hopping in boys and men. *J Electromyogr Kinesiol* 20: 973–979, 2010.
98. Pääsuke M, Ereline J, Gapeyeva H. Knee extensor muscle strength and vertical jumping performance characteristics in pre-and post-pubertal boys. *Pediatr Exerc Sci* 13: 60-69, 2001.
99. Papaïakovou G, Giannakos A, Michailidis C, Patikas D, Bassa E, Kalopisis V, Anthrakidis N, Kotzamanidis C. The effect of chronological age and gender on the development of sprint performance during childhood and puberty. *J Strength Cond Res* 23: 2568-2573, 2009.
100. Potach DH, Chu DA. Plyometric training. In: *Essentials of Strength Training and Conditioning*, edited by Baechle TR and Earle RW. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008, pp. 413-456.
101. Rabinowicz T. The differentiated maturation of the cerebral cortex. In: *Human growth: A comprehensive treatise*, edited by F. Falkner & J. Tanner, Vol. 2. Postnatal growth: Neurobiology. New York: Plenum, pp. 385–410, 1986.
102. Ramirez-Campillo R, Álvarez C, García-Hermoso A, Ramírez-Vélez R, Gentil P, Asadi A, Chaabene H, Moran J, Meylan C, García-de-Alcaraz A, Sanchez-Sanchez J. Methodological Characteristics and Future Directions for Plyometric Jump Training Research: A Scoping Review. *Sports Med* 2: 1-23, 2018.
103. Ramirez-Campillo R, Andrade DC, Álvarez C, Henríquez-Olguín C, Martínez C, Báez-SanMartín E, Silva-Urra J, Burgos C, Izquierdo M. The effects of interset rest on adaptation to 7 weeks of explosive training in young soccer players. *J Sports Sci Med* 13: 287-296, 2014.
104. Ramírez-Campillo R, Burgos CH, Henríquez-Olguín C, Andrade DC, Martínez C, Álvarez C, Castro-Sepúlveda M, Marques MC, Izquierdo M. Effect of unilateral, bilateral, and combined plyometric training on explosive and endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res* 29: 1317-1328, 2015.
105. Ramírez-Campillo R, Henríquez-Olguín C, Burgos C, Andrade DC, Zapata D, Martínez C, Álvarez C, Baez EI, Castro-Sepúlveda M, Peñailillo L, Izquierdo M. Effect of progressive volume-based overload during plyometric training on explosive and endurance performance in young soccer players. *J Strength Cond Res* 29: 1884-1893, 2015.
106. Ramírez-Campillo R, Gallardo F, Henriquez-Olguín C, Meylan CM, Martínez C, Álvarez C, Caniuqueo A, Cadore EL, Izquierdo M. Effect of vertical, horizontal, and combined plyometric training on explosive, balance, and endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res* 29: 1784-1795, 2015.
107. Ramsay JA, Blimkie CJ, Smith K, Garner S, MacDougall JD, Sale DG. Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sport Exerc* 22: 605-614, 1990.
108. Ratel S, Blazeovich AJ. Are prepubertal children metabolically comparable to well-trained adult endurance athletes? *Sports Med* 47: 1477-1485, 2017.
109. Ratel S, Kluka V, Vicencio SG, Jegu AG, Cardenoux C, Morio C, Coudeyre E, Martin V. Insights into the mechanisms of neuromuscular fatigue in boys and men. *Med Sci Sports Exerc* 47: 2319–2328, 2015.
110. Ratel S, Williams CA, Oliver J, και συν. Effects of age and mode of exercise on power output profiles during repeated sprints. *Eur J Appl Physiol* 92: 204-210, 2004.
111. Rössler R, Donath L, Verhagen E, Junge A, Schweizer T, Faude O. Exercise-based injury prevention in child and adolescent sport: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 44: 1733-48, 2014.
112. Rumpf MC, Cronin JB, Pinder SD, Oliver J, Hughes M. Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr Exerc Sci* 24: 170-186, 2012.
113. Schmidtbleicher D. Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*, edited by Komi P. Champaign, IL Human Kinetics, pp. 381-385, 1992.
114. Shiner J, Bishop T, Cosgarea AJ. Integrating low-intensity plyometrics into strength and conditioning programs. *Strength Cond J* 27: 10-20, 2005.
115. Skurvydas A, Brazaitis M. Plyometric training does not affect central and peripheral muscle fatigue differently in prepubertal girls and boys. *Pediatr Exerc Sci* 22: 547-556, 2010.
116. Slemenda CW, Miller JZ, Hui SL, Reister TK, Johnston CC. Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *J Bone Miner Res* 6: 1227-1233, 2001.
117. Sloomweg MC. Growth hormone and bone. *Horm Metab Res* 25: 335-343, 1993.
118. Trecroci A, Cavaggioni L, Caccia R, Alberti G. Jump rope training: Balance and motor coordination in preadolescent soccer players. *J Sports Sci Med* 14: 792-798, 2015.
119. Turner CH. Bone strength: current concepts. *Acad Sci* 1068: 429-446, 2006.

120. Vanderschueren D, Gaytant J, Boonen S, Venken K. Androgens and bone. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 15: 250-254, 2008.
121. Verkhoshanski Y. Perspectives in the improvement of speed-strength preparation of jumpers. *Rev Soviet Phys Educ Sports* 4: 28-29, 1996.
122. Verkhoshansky Y. *Supertraining*, edited by Verkhoshansky Y. Rome, Italy, 2009, pp. 267-268.
123. Voight ML, Dravovitch P. Plyometrics. In: *Eccentric Muscle Training in Sports and Orthopedics*, edited by Albert M. New York, NY: Churchill Livingstone, 1991, pp. 45-73.
124. Wathen D. Literature review: explosive/plyometric exercises. *Training* 25: 122-131, 1993.
125. Waugh CM, Korff T, Fath F, Blazeovich AJ. Rapid force production in children and adults: mechanical and neural contributions. *Med Sci Sports Exerc* 45: 762-771, 2013.
126. Waugh CM, Korff T, Fath F, Blazeovich A. Effects of resistance training on tendon mechanical properties and rapid force production in prepubertal children. *J Appl Physiol* 117: 257-266, 2014.
127. Weeks BK, Beck BR. The BPAQ: a bone-specific physical activity assessment instrument. *Osteoporos Int* 19: 1567-1577, 2008.
128. Witzke KA, Snow CM. Effects of polymetric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1051-1057, 2000.
129. Wüster C, Blum WF, Schlemilch S, Ranke MB, Ziegler R. Decreased serum levels of insulin-like growth factors and IGF binding protein 3 in osteoporosis. *J Intern Med* 234: 249-255, 1993.
130. Xu J, Lombardi G, Jiao W, Banfi G. Effects of exercise on bone status in female subjects, from young girls to postmenopausal women: an overview of systematic reviews and meta-analyses. *Sports Med* 46: 1165-1182, 2016.



Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και
Φυσιολογίας της Άσκησης
Hellenic Society of Biochemistry
and Physiology of Exercise

Επιθεώρηση Βιοχημείας και
Φυσιολογίας της Άσκησης
5: 1-24, 2018

Reviews in Biochemistry and
Physiology of Exercise
5: 1-24, 2018

www.eevfa.gr/web/emag - ISSN 2407-960X

FUNCTIONAL AND PHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS AFTER PLYOMETRIC TRAINING IN MIDDLE AND LATE CHILDHOOD

Olyvia Donti, Athanasia Papia, Ioli Panidi, Nikolaos Apostolidis, Gregory Bogdanis

School of Physical Education and Sports Science, National and Kapodistrian University of Athens

Abstract

The main aim of plyometric training is to increase performance of the stretch-shortening cycle and, thus, power output. Plyometric training in youth athletes can improve lower limb muscle power, agility, sprinting, and sport-specific skills. Research suggests that even low-intensity plyometric exercise can increase bone density in developing children. The effectiveness of plyometric training interventions is influenced by biological maturation. Neuromuscular mechanisms related to maturation, such as the decreased level of volitional muscle activation, and the possibly lower percentage of type II muscle fibers, underpin the lower stretch-shortening cycle performance, typically observed in children compared to adults. The varying degrees of performance improvement reported in the literature following plyometric training on youth athletes are probably due to the different training protocols that were used (different numbers of repetitions and sets, rest interval between exercises, type of jumps and season of plyometric training implementation) and the participants' characteristics (chronological age and biological maturation, sport and performance level, as well as previous plyometric training experience). Nevertheless, the limited number of studies in child athletes, and the lack of studies in girls and athletes of individual sports, limit generalization of conclusions and urge for further research to define effective plyometric training protocols, according to biological maturation.

Address for correspondence

Olyvia Donti

*School of Physical Education & Sport Science
National and Kapodistrian University of Athens
Ethnikis Antistasis 41, 17237, Dafni
e-mail: odonti@phed.uoa.gr*