



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΑΣΚΗΣΗ-ΕΥΡΩΣΤΙΑ-ΥΓΕΙΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΑΛΛΑΓΕΣ ΤΗΣ ΜΥΪΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΒΑΘΗ
ΚΑΘΙΣΜΑΤΟΣ»**

Άγγελος Μάμαλης

Επιβλέπουσα: Ελισσάβετ Ρουσάνογλου

Καθηγήτρια Αθλητικής Βιομηχανικής

ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

© Copyright
Μάμαλης Άγγελος
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια Ελισσάβετ Ρουσάνογλου για όλη την υποστήριξη της κατά την διάρκεια της πτυχιακής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κάθισμα αποτελεί μια από τις βασικότερες και δημοφιλέστερες ασκήσεις ενδυνάμωσης των κάτω άκρων, καθώς είναι μία πολυαρθρική άσκηση και ενεργοποιεί πολλές μυϊκές ομάδες ταυτόχρονα. Επίσης είναι μια λειτουργική άσκηση της οποίας οι προσαρμογές βελτιώνουν την επίδοση σε διάφορα αθλήματα αλλά και σε καθημερινές δραστηριότητες. Το κάθισμα διαθέτει πολλές παραλλαγές που κάθε μια από αυτές οδηγεί στην ενδυνάμωση των μυϊκών ομάδων σε διαφορετικό βαθμό. Το εύρος τροχιάς εκτέλεσης ενός καθίσματος είναι μία παράμετρος η οποία επηρεάζει τις προσαρμογές και το ερέθισμα της άσκησης και με βάση αυτήν την παράμετρο προκύπτουν τρεις παραλλαγές εκτέλεσης της άσκησης (ημικάθισμα, παράλληλο κάθισμα, βαθύ κάθισμα). Έτσι ο κάθε ασκούμενος με βάση την μορφολογία του προσαρμόζει το εύρος τροχιάς εκτέλεσης ενός καθίσματος σύμφωνα με τους προπονητικούς του στόχους. Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση εστιάζει στις μέλετες οι οποίες εξέτασαν τις διαφορές που προκύπτουν στις δομικές και λειτουργικές μυϊκές προσαρμογές μετά από την συστηματική φόρτιση σε διαφορετικά βάθου καθίσματος. Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα ευρήματα της επιστημονικής βιβλιογραφίας, η προπόνηση σε πλήρες εύρος τροχιάς καθίσματος μπορεί να είναι μια καλή προσέγγιση για έναν αρχάριο ώστε να επιτευχθούν οι περισσότερες προσαρμογές (αλλαγές στην μυϊκή αρχιτεκτονική, μυϊκή υπερτροφία, δύναμη, βελτίωση αθλητικής απόδοσης). Ωστόσο, όσο αυξάνεται το επίπεδο, και ο ασκούμενος γίνεται πιο προχωρημένος, τα ερευνητικά δεδομένα υποδηλώνουν ότι ισχύει η αρχή της εξειδίκευσης. Επιπλέον, μια ποικιλία στο προπονητικό εύρος τροχιάς του καθίσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με εξίσου καλά αποτελέσματα ανάλογα την περίπτωση και την στόχευση. Οι περιπτώσεις αποτελεσμάτων που δεν επιτρέπουν συγκρίνοντα και καταληκτικά συμπεράσματα αναδεικνύουν την αναγκαιότητα εξειδικευμένων μελλοντικών ερευνών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	σελ. i
Πίνακας Περιεχομένων	σελ. ii
Κατάλογος Πινάκων, Εικόνων και Γραφημάτων	σελ.iii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1. Γενική εισαγωγή	σελ. 1
1.2. Σκοπός εργασίας	σελ. 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Προπονητικό εύρος τροχιάς και μηχανική ταση.....	σελ. 3
2.2. Το κάθισμα	σελ. 7
2.3. Κάθισμα και εύρος τροχιάς	σελ. 9
2.4. Οστικά μορφολογικά χαρακτηριστικά και κάθισμα (προσαρμογή εύρους τροχιάς και τεχνικής με βάση την μορφολογία των οστών).....	σελ. 11
2.4.1. Μήκος οστών κάτω ακρών.....	σελ. 11
2.4.2. Ιδιαιτερότητες στην άρθρωση του ισχίου και κάθισμα.....	σελ. 13
2.5. Βάθος καθίσματος και μυϊκή δραστηριότητα	σελ. 17
2.6. Προπονητικό εύρος τροχιάς καθίσματος και μυϊκή αρχιτεκτονική	σελ. 20
2.7. Προπονητικό εύρος τροχιάς καθίσματος και αθλητική απόδοση	σελ. 25
2.7.1. Πλήρες έναντι μερικού εύρους τροχιάς.....	σελ. 26
2.7.2 Συνδυασμός προπονητικών ευρών τροχιάς.....	σελ. 29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συζήτηση - συμπεράσματα.....	σελ.33
------------------------------	--------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 35
---------------------------	----------------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά των ερευνών που εξέτασαν την μυϊκή δραστηριότητα σε διαφορετικά βάθη καθίσματοςσελ. 19

Πίνακας 2.2. Αλλαγές της μυϊκής αρχιτεκτονικής μετά από προπόνηση δύναμης σε ανθρώπους.....σελ. 22

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Σχέση συνολικής μυϊκής τάσης και μήκους σαρκομερίου.....σελ. 4

Εικόνα 2.2. Σχέση γωνιακής θέσης και αρθρικής ροπής (Knapik et al.,1983).....σελ. 5

Εικόνα 2.3. Γραφική παράσταση μετατόπισης της καμπύλης ροπής-γωνιακής θέσης μετά από έκκεντρη άσκηση (Brughelli & Cronin 2007)σελ. 7

Εικόνα 2.4. Οι τρεις βασικές παραλλαγές του καθίσματος με βάση το εύρος τροχιάς (ημικάθισμα, παράλληλο κάθισμα, βαθύ κάθισμα)σελ. 10

Εικόνα 2.5. Πως επηρεάζει το μήκος του μηριαίου οστού και το μήκος της κνήμης σε σχέση με το μήκος μηριαίου οστού την στάση του κορμού στο κάθισμα με οπισθολαίμια λαβή μπάρας.....σελ. 12

Εικόνα 2.6. Οι τρεις τύποι ισχίου με βάση την γωνία έγκλισης του ισχίου.....σελ. 13

Εικόνα 2.7. Οι τρεις τύποι ισχίου με βάση την γωνία συστροφής του μηριαίου αυχένα.σελ. 14

Εικόνα 2.8. Δύο πύελοι με διαφορετική μορφή ως προς την κατεύθυνση των υποδοχών του μηριαίου οστού. Αριστερά: υποδοχές ισχίου στραμμένες προς τα έξω. Δεξιά: υποδοχές ισχίου στραμμένες προς τα κάτω.....σελ. 15

Εικόνα 2.9. Βάθος κοτύλης ισχίου σε σχέση με τον αυχένα του μηριαίου οστού. Αριστερά: Μικρό βάθος κοτύλης η οποία επιτρέπει πιο αυξημένο εύρος τροχιάς. Δεξιά: Μεγάλο βάθος κοτύλης η οποία μειώνει το εύρος τροχιάς.....σελ. 16

Εικόνα 2.10. Εικόνα που συλλέχθηκε κατά μήκος του μηρού με υπέρηχο του δικέφαλου μηριαίου και του ημιτενοντώδη. Από τέτοιες εικόνες είναι δυνατό να μετρηθούν: το μήκος των μυϊκών δεματίων (fascicle length), η γωνία των μυϊκών

δεματίων (pennation angle ως προς την εν τω βάθει απονεύρωση (deep aroneurosis) και το πάχος του μυός (muscle thickness).....σελ. 21	σελ. 21
Εικόνα 2.11. Ποσοστιαίες τιμές αύξησης της εγκάρσιας επιφάνειας του τετρακεφάλου στις δύο ομάδες (Bloomquist et al., 2013)σελ. 24	σελ. 24
Εικόνα 2.12. Επίδραση του προπονητικού εύρους τροχιάς καθίσματος στο ύψος αλμάτος (Bloomquist et al., 2013).....σελ. 26	σελ. 26
Εικόνα 2.13. Επίδραση του προπονητικού εύρους τροχιάς καθίσματος στο ύψος αλμάτος (Rhea et al., 2018)σελ. 27	σελ. 27
Εικόνα 2.14. Προοδευτική αύξηση βάθους καθίσματος από εβδομάδα σε εβδομάδα (Whaley et. al., 2020)σελ. 31	σελ. 31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική εισαγωγή

Η προπόνηση με αντιστάσεις έχει αποδειχθεί ως μια αποτελεσματική μέθοδος εκγύμνασης η οποία συμβάλει θετικά σε όλες τις ηλικίες και αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων ορισμένων ασθενειών, καθώς και για την αύξηση των καθημερινών επιπέδων σωματικής δραστηριότητας και αθλητικών επιδόσεων. Το κάθισμα είναι μία από τις πιο ευρέως διαδεδομένες ασκήσεις στην προπόνηση με αντιστάσεις καθώς είναι μια λειτουργική πολυαρθρική άσκηση η οποία συμβάλει στην ενδυνάμωση των κάτω άκρων, στην πρόληψη και την αποκατάσταση τραυματισμών, και τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης (Hartmann, Wirth, & Klusemann, 2013). Το εύρος τροχιάς εκτέλεσης ενός καθίσματος είναι μία παράμετρος η οποία μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα της άσκησης και με βάση αυτήν προκύπτουν παραλλαγές της άσκησης (ημικάθισμα, παράλληλο κάθισμα, βαθύ κάθισμα). Οι πρωταγωνιστές μύες όταν το εύρος τροχιάς εκτέλεσης του καθίσματος είναι μεταβαλλόμενο λειτουργούν σε διαφορετικά μήκη. Η προπόνηση των μυών σε διαφορετικά μήκη απαιτεί από τους μυς να ενεργούν σε διαφορετικές περιοχές της μηκοδυναμικής τους σχέσης (Vogt and Hopeller, 2014). Έτσι, η συστηματική εξάσκηση του καθίσματος σε διαφορετικά βάθη παρέχει αυτό το ερέθισμα σε διαφορετικά μήκη μυών με αποτέλεσμα να αλλάζουν οι νευρομυϊκές και λειτουργικές προσαρμογές της άσκησης.

Η επιλογή του βέλτιστου βάθους απασχολεί την επιστημονική βιβλιογραφία εδώ και πολλά χρόνια. Μεγαλύτερη βιβλιογραφική αναφορά γίνεται στο παράλληλο κάθισμα, το οποίο είναι και το περισσότερο χρησιμοποιούμενο στα προγράμματα άσκησης, ενώ το ημικάθισμα χρησιμοποιείται κυρίως για την βελτίωση συγκεκριμένων αθλητικών δεξιοτήτων όπως το κατακόρυφο άλμα και το σπρίντ. Συγκριτικά με τα άλλα είδη καθίσματος, επικρατεί η αντίληψη ότι το βαθύ κάθισμα αποτελεί μια αμφισβητούμενη άσκηση, κυρίως όσον αφορά την φόρτιση των γονάτων και της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης. Ωστόσο, σε αντίθεση με αυτές τις κοινές πεποιθήσεις, πρόσφατες μελέτες υποστηρίζουν ότι η συστηματική εξάσκηση σε μεγαλύτερα βάθη καθίσματος μεγιστοποιεί τη νευρομυϊκή και λειτουργική απόδοση σε αρχάριους (Bloomquist et al., 2013) αλλά και σε προχωρημένους αθλητές (Hartmann et al., 2012) και ακόμη ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο τραυματισμού σε σύγκριση με την εκτέλεση της

άσκησης σε μερικό εύρος κίνησης (Hartmann et al., 2013). Επομένως το εύρος τροχιάς εξάσκησης ενός καθίσματος είναι μία παράμετρος η οποία επηρεάζει τις μακροπρόθεσμες νευρομυϊκές, λειτουργικές και δομικές προσαρμογές σε ένα προπονητικό πρόγραμμα.

1.2. Σκοπός εργασίας

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανασκόπηση των επιστημονικών δεδομένων που εξετάζουν την επίδραση της συστηματικής φόρτισης σε διαφορετικά βάθυ καθίσματος στις νευρομυϊκές, λειτουργικές και δομικές προσαρμογές σε ένα πρόγραμμα ενδυνάμωσης. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να συμβάλουν στον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων προπονητικών προγραμμάτων για την παραγωγή συγκεκριμένων προσαρμογών και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης σε αθλητές και ελεύθερους ασκούμενους.

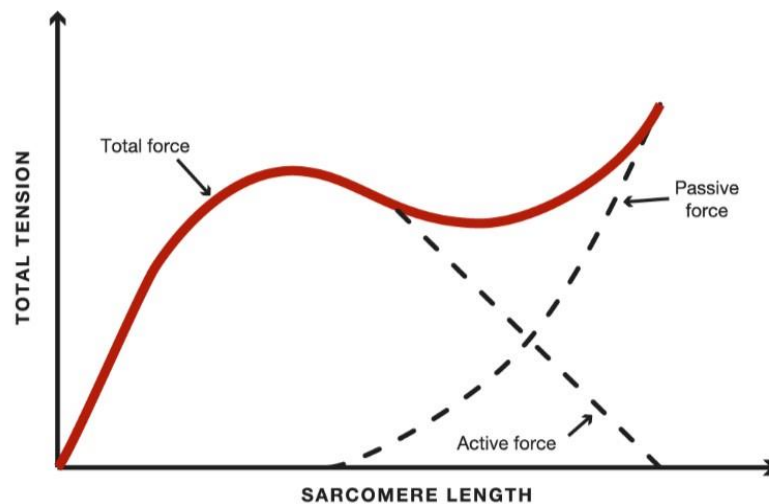
ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Προπονητικό εύρος τροχιάς και μηχανική τάση

Για να εξετάσουμε πως το προπονητικό εύρος τροχιάς επηρεάζει της μηχανικές ιδιότητες του μυός πρέπει να εστιάσουμε στις διαφορές που προκύπτουν στις ιδιότητες των μυών όταν βρίσκονται σε διαφορετικά μήκη. Μία ιδιότητα των μυών είναι ότι η μηχανική τάση που αναπτύσσουν εξαρτάται από το μήκος στο οποίο βρίσκονται τη στιγμή που ερεθίζονται (Gordon et al., 1966). Η προπόνηση σε μεγαλύτερα μήκη μυών μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη συνολική μηχανική τάση από την προπόνηση σε μικρότερα μήκη μυών. Κι αυτό διότι το ποσό της μυϊκής τάσης εξαρτάται από το βαθμό αλληλοκάλυψης της ακτίνης και της μυοσίνης. Η ενεργή μυϊκή τάση είναι μέγιστη στο μήκος ηρεμίας του σαρκομερίου και μειώνεται καθώς το μήκος του σαρκομερίου αυξάνεται η μειώνεται (Lieber et al., 2017). Αυτό συμβαίνει διότι στο μήκος ηρεμίας η αλληλοκάλυψη των συστατών στοιχείων ακτίνης και μυοσίνης είναι πλήρης και ο αριθμός των συνδέσεων των εγκάρσιων γεφυρών είναι μέγιστος. Ωστόσο, στον συνολικό μυ εμπλέκεται εκτός από την τάση που αναπτύσσουν τα συστατά στοιχεία και η τάση που αναπτύσσεται στα ελαστικά του στοιχεία. Η παθητική τάση αναπαριστά την σχέση της τάσης, που αναπτύσσεται στα ελαστικά στοιχεία του μυός, με το μήκος του μυός (Morrison et al., 1970). Συγκεκριμένα, καθώς οι ίνες τεντώνονται πέρα από το μήκος ηρεμίας τους, η παθητική τάση αυξάνεται. Έτσι, η καμπύλη της σχέσης της συνολικής τάσης του μυός δηλώνει με απλά λόγια ότι καθώς ο μύς διατείνεται (το μήκος του αυξάνεται πέρα από το μήκος ηρεμίας) η ενεργή τάση μειώνεται και η παθητική τάση αυξάνεται (Εικόνα 2.1).

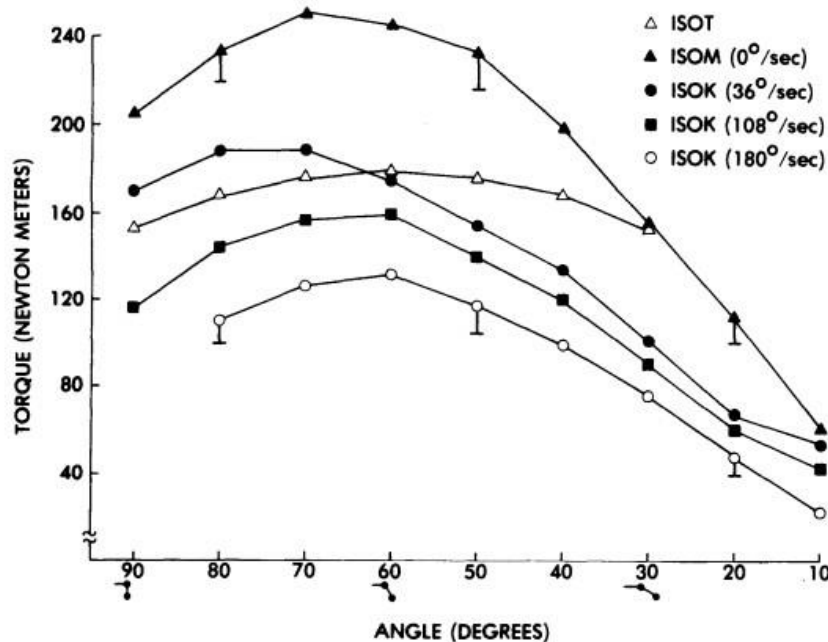
Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει το ερώτημα για το αν αυτές οι αυξήσεις στην παθητική τάση είναι επαρκείς για να αυξήσουν τη συνολική μυϊκή τάση κατά την προπόνηση σε μεγάλα μήκη μυών και ως εκ τούτου να υπάρξει διαφορά στις προσαρμογές. Σύμφωνα με την έρευνα του MacIntosh (2017) η απάντηση σε ένα τέτοιο θέμα δεν είναι ακόμα ξεκάθαρη, από την μία επειδή δεν υπάρχουν πολλές μελέτες που να ποσοτικοποιούν άμεσα τις σχέσεις μήκους-τάσης των μυών, και από την άλλη επειδή είναι δύσκολο να διαφοροποιηθούν οι ενεργητικές και παθητικές δυνάμεις που υπάρχουν ακόμα και όταν η σχέση μήκους-τάσης ποσοτικοποιείται.



Εικόνα 2.1. Σχέση συνολικής μυϊκής τάσης και μήκους σαρκομερίου

Από την άλλη πλευρά, αν μελετήσουμε τις καμπύλες ροπής-γωνίας για να πάρουμε μια ιδέα για την ποσότητα της συνολικής τάσης που αναπτύσσεται από διαφορετικούς μύες σε όλο το εύρος κίνησής τους, παρατηρούμε ότι οι μύες συνήθως δημιουργούν κορυφαία επίπεδα ροπής κοντά στο μέσο του εύρους τροχιάς των περισσότερων αρθρώσεων. Για παράδειγμα, η μελέτη του (Knapik et al., 1983) έδειξε ότι η μέγιστη ροπή έκτασης του γόνατος επιτυγχάνεται στις 50-80° κάμψης του γόνατος (Εικόνα 2.1.) κατά την εκτέλεση τριών διαφορετικών τύπων μυϊκής δραστηριότητας (ισομετρική,ισοτονική,ισοκινητική) στις εκτάσεις γόνατος. Επίσης έδειξε ότι η γωνιακή ταχύτητα επηρεάζει σημαντικά την μέγιστη ροπή αλλά όχι την διακύμανση της.

Είναι αξιοσημείωτο, ότι οι καμπύλες διακύμανσης της ροπής σε σχέση με την γωνία δείχνουν ότι αναπτύσσεται λιγότερη συνολική τάση σε πολύ μεγάλα μήκη μυών, Ωστόσο πρέπει να λάβουμε υπόψιν ότι όσο μεταβάλλεται η γωνία της άρθρωσης μεταβάλλονται και οι μοχλοβραχίονες δύναμης των μυών που συμβάλουν στην κίνηση της άρθρωσης (Brughelli & Cronin 2007). Για παράδειγμα, εάν η ροπή της άρθρωσης είναι 20% χαμηλότερη στο τελικό εύρος τροχιάς απ' ό,τι ήταν στο μέσο του εύρους τροχιάς, αλλά ο μοχλοβραχίονας δύναμης του μυός είναι 30% μικρότερος στο τελικό εύρος, αυτό θα σήμαινε ότι οι συνολικές δυνάμεις συστολής είναι 10% υψηλότερες στο τελικό εύρος κίνησης, παρόλο που υπάρχει μείωση στην ροπή. Είναι όμως το προπονητικό εύρος τροχιάς μία μεταβλητή η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει την διακύμανση της ροπής σε σχέση με την γωνία της άρθρωσης;



Εικόνα 2.2. Σχέση γωνιακής θέσης και αρθρικής ροπής (Knapik et al.,1983)

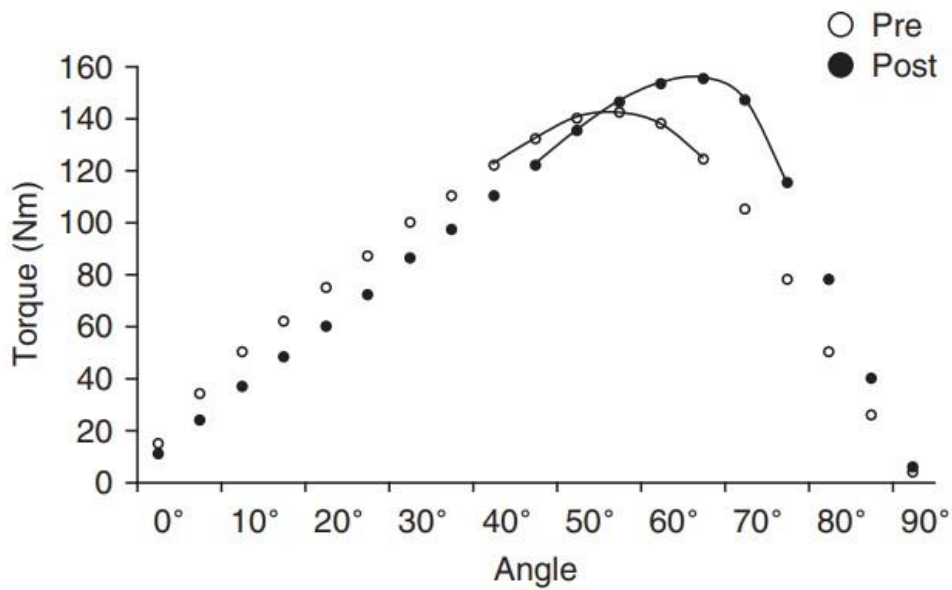
Σε μελέτη του Herzog και συνεργατών (1991) συμμετείχαν 2 ομάδες ατόμων στην οποία η πρώτη ομάδα αποτελούνταν από δρομείς και η δεύτερη από αθλητές ποδηλασίας. Εξετάστηκε η δύναμη του ορθού μηριαίου σε ισοκινητικό δυναμόμετρο σε διαφορετικές γωνίες κάμψης γόνατος και ισχίου και τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι αθλητές ποδηλασίας είχαν μέγιστες ροπές στα μικρότερα μήκη του ορθού μηριαίου ενώ οι δρομείς στα μεγαλύτερα μήκη. Τα αποτελέσματα αυτά πιθανόν να προκύπτουν από το γεγονός πως ο ορθός μηριαίος στους ποδηλάτες ερεθίζεται περισσότερο σε μικρότερα μήκη ενώ στους δρομείς σε μεγαλύτερα.

Παρόμοια ευρήματα είχαν ήδη αναφερθεί για τους εκτεινόντες μύες του γόνατος σε μια μελέτη του Graves και συνεργατών (1989) που σύγκρινε την επίδραση των ασκήσεων πλήρους έκτασης (0°–120° κάμψης γόνατος) και δύο ασκήσεων μερικού εύρους τροχιάς (60°–120° και 60°–0° κάμψης γόνατος), με μεγαλύτερες βελτιώσεις στην ισομετρική δύναμη για τις ομάδες οι οποίες προπονούσαν στο μερικό εύρος τροχιάς. Επίσης ο (Bloomquist et al., 2013) επαληθεύει την εξειδίκευση της μηχανικής του μυός ως προς τη γωνιακή θέση προπονητικής φόρτισης σε έρευνα στην οποία εξέτασε τις προσαρμογές στην δύναμη μετά από συστηματική φόρτιση σε διαφορετικά βάθου καθίσματος μετά από 12 εβδομάδες.

Επιπλέον στην εργασία των [Rousanoglou και Boudolos \(2008\)](#) , η οποία έγινε σε νεαρές αθλήτριες (13-19 ετών), βρέθηκε ότι η διακύμανση της ροπής των εκτεινόντων του γόνατος επηρεάζεται από το άθλημα και σχετίζεται με την ηλικία. Η εξειδίκευση της μηχανικής του μυός ως προς τη γωνιακή θέση προπονητικής φόρτισης ήταν πιο έντονη στις μεγαλύτερες σε ηλικία αθλήτριες που συμμετείχαν στην έρευνα η οποία πιθανόν να σχετίζεται με την μηχανική του αθλήματος τους. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ειδικές προσαρμογές σε σχέση με το μήκος του μυός και να υποδεικνύουν μια θετική απάντηση στο ερώτημα εάν το προπονητικό εύρος τροχιάς αποτελεί μεταβλητή η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει την διακύμανση της ροπής σε σχέση με την γωνία της άρθρωσης.

Στην αντίθετη κατεύθυνση, η μελέτη των [Ullrick και Brueggemann \(2008\)](#) έχει δείξει πως η μακροχρόνια εξάσκηση σε διαφορετικά αθλήματα (ποδηλασία, τρίαθλο, δρόμοι αντοχής, αντισφαίριση) δεν επιφέρει στατιστικά σημαντική επίδραση στην καμπύλη ροπής - γωνίας του τετρακέφαλου μηριαίου. Ο [Valamatos και συνεργάτες \(2018\)](#) εξέτασαν την επίδραση του προπονητικού εύρους τροχιάς στην καμπύλη ροπής – γωνίας των εκτεινόντων του γόνατος (εξάσκηση με ισοκινητικό δυναμόμετρο). Το προπονητικό πρόγραμμα είχε διάρκεια 15 εβδομάδες, με συχνότητα προπόνησης 3 φορές την εβδομάδα σε μερικό εύρος τροχιάς στο ένα γόνατο (0-60 μοίρες κάμψης γόνατος) και πλήρες εύρος (0-100 μοίρες μοκάμψης γόνατος) στο άλλο γόνατο. Και για τα δύο κάτω άκρα, τα αποτελέσματα έδειξαν πως ενώ η ροπή αυξήθηκε στις γωνιακές θέσεις εξάσκησης, η γωνιακή θέση όπου καταγράφηκε η μέγιστη ροπή ήταν η ίδια τόσο πριν όσο και μετά την προπόνηση.

Τέλος είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως, όπως έδειξε η μελέτη των [Brughelli και Cronin, \(2007\)](#) , η προπόνηση με αντιστάσεις με έκκεντρες μυϊκές συστολές σε μεγαλύτερα μήκη μυός (κάτι που συμβαίνει συχνά στην προπόνηση με αντιστάσεις) μπορεί να μετατοπίσει την καμπύλη της μηκοδυναμικής σχέσης των μυών και έτσι να επηρεάσει την γωνία στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη ροπή ([Εικόνα 2.3](#)). Αυτά τα αποτελέσματα θα μπορούσαν, εν μέρει να εξηγήσουν γιατί η προπόνηση σε πλήρες εύρος τροχιάς είναι πολύ καλύτερη από την προπόνηση σε μερικό εύρος τροχιάς όταν στόχος είναι η βελτίωση της δύναμης σε όλο το εύρος κίνησης, ενώ η προπόνηση μερικού έναντι πλήρους εύρους φαίνεται να έχει μικρό πλεονέκτημα όταν στόχος είναι η βελτίωση της δύναμης σε μερικό εύρος τροχιάς.



Εικόνα 2.3. Γραφική παράσταση μετατόπισης της καμπύλης ροπής-γωνιακής θέσης μετά από έκκεντρη άσκηση (Brughelli & Cronin 2007).

2.2. Το κάθισμα

Το κάθισμα είναι μια από τις πιο διαδεδομένες ασκήσεις στον τομέα της άσκησης. Εκτελείται είτε μόνο με το σωματικό βάρος, είτε με χρήση επιπλέον φορτίου και χρησιμοποιείται τόσο από αθλητές όσο και στο μαζικό αθλητισμό. Έχει νευρομυϊκές ομοιότητες με ένα ευρύ φάσμα αθλητικών κινήσεων και επομένως περιλαμβάνεται ως βασική άσκηση σε πολλά αθλήματα με στόχο να βελτιωθεί η αθλητική απόδοση (Escamilla et al., 2001; Senter & Hame 2001). Αποτελεί άσκηση κλειστής κινητικής αλυσίδας που χρησιμοποιείται για αύξηση της μέγιστης δύναμης, για γενική ενδυνάμωση κατά την περίοδο της αποκατάστασης και θεωρείται ευρέως ως ο χρυσός κανόνας όσον αφορά την αξιολόγηση της δύναμης των κάτω άκρων (Escamilla et al., 2001).

Τα οφέλη που σχετίζονται με το κάθισμα δεν περιορίζονται στον αθλητικό πληθυσμό. Η λειτουργική πλευρά της συγκεκριμένης άσκησης είναι εξαιρετικά σημαντική αφού τα κινητικά της μοτίβα εμφανίζονται τόσο σε αθλητικές κινήσεις, όσο και σε καθημερινές δραστηριότητες. Δεδομένου ότι οι περισσότερες δραστηριότητες της καθημερινής ζωής απαιτούν την ταυτόχρονη συντονισμένη αλληλεπίδραση πολλών μυϊκών ομάδων, το κάθισμα θεωρείται μία από τις καλύτερες ασκήσεις για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής λόγω της

ικανότητάς του να στρατολογεί πολλαπλές μυϊκές ομάδες (Fry et al., 2003). Ο σκοπός του βαθύς καθίσματος είναι να προπονήσει τους μύες γύρω από την άρθρωση του γόνατος και του ισχίου, καθώς και των μυών της ράχης, για τη βέλτιστη εκτέλεση των βασικών αυτών καθημερινών δεξιοτήτων. Το κάθισμα γίνεται επίσης όλο και πιο δημοφιλές σε κλινικά περιβάλλοντα ως μέσο ενίσχυσης των μυών του κάτω μέρους του σώματος και του συνδετικού ιστού μετά από τραυματισμό που σχετίζεται με τις αρθρώσεις. Γενικά, η άσκηση του καθίσματος θεωρείται ένα αποτελεσματικό εργαλείο αποκατάστασης (Escamilla, 2001) και μάλιστα γίνεται όλο και περισσότερο δημοφιλής σε περιβάλλοντα αποκατάστασης τραυματισμών, ως μέσο για την ενδυνάμωση των μυών και των συνδέσμων των κάτω άκρων (Schoenfeld, 2010).

Η εκτέλεση του καθίσματος ξεκινά με τον ασκούμενο σε όρθια στάση, τα γόνατα και τα ισχία πλήρως τεντωμένα. Στη συνέχεια, ο ασκούμενος ξεκινάει το κάθισμα κάμπτοντας τις αρθρώσεις του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής. Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό βάθος καθίσματος, ο ασκούμενος αντιστρέφει την κίνηση και επιστρέφει πίσω στην όρθια στάση. Συνεπώς, κατά την άσκηση του καθίσματος ενεργοποιούνται κατά κύριο λόγο οι εκτείνοντες του γόνατος (ορθός μηριαίος, έσω πλατύς, έξω πλατύς), οι εκτείνοντες του ισχίου (μέγας γλουτιαίος), οι πρωσαγωγοί (ισχνός, μακρός, βραχύς, μέγας) με παράλληλη ενεργοποίηση και άλλων μυών που έχουν δευτερεύουσα δράση (Caterisano et al., 2002) (Marchetti et al., 2016). Επιπλέον, απαιτείται σημαντική ισομετρική δραστηριότητα από ένα ευρύ φάσμα υποστηρικτικών μυών (συμπεριλαμβανομένων των κοιλιακών, των ιερονωτιαίων, του τραπεζοειδή, των ρομβοειδών και πολλών άλλων) για τη διευκόλυνση της σταθεροποίησης της στάσης του κορμού.

Παραλλαγές της άσκησης προκύπτουν με βάση την τοποθέτηση των ποδιών (απόσταση μεταξύ των ποδιών, βαθμός έξω στροφής ισχίου), την τοποθέτηση της μπάρας (κάθισμα με οπισθολαίμια λαβή στο ύψος του ακρωμίου, κάθισμα με οπισθολαίμια λαβή κάτω από το ύψος του ακρωμίου, κάθισμα με εμπροσθολαίμια λαβή) και το εύρος κίνησης εκτέλεσης του καθίσματος (βαθύ, παράλληλο, ημικάθισμα). Αυτές οι παραλλαγές επηρεάζουν τον βαθμό ενεργοποίησης των μυών που δραστηριοποιούνται κατά την εκτέλεση ενός καθίσματος (Clark et al., 2012). Όταν τα καθίσματα εκτελούνται με ορθή τεχνική, δεν είναι σύνηθης η εμφάνιση τραυματισμών (Lorenzetti et al., 2018). Ωστόσο, η κακή τεχνική, ή η ακατάλληλη προπονητική συχνότητα της άσκησης, μπορεί να οδηγήσει σε ένα ευρύ φάσμα κακώσεων, ειδικά όταν συνδυάζεται με χρήση μεγάλου φορτίου. Οι τεκμηριωμένοι τραυματισμοί από την

συγκεκριμένη άσκηση περιλαμβάνουν θλάσεις μυών, ρήξεις συνδέσμων, καθώς και κακώσεις στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης (ρήξη μεσοσπονδύλιων δίσκων, σπονδυλόλυση και σπονδυλολίση) (Vakos et al., 1994) .

2.3. Κάθισμα και εύρος τροχιάς

Ο όρος εύρος τροχιάς έχει δύο έννοιες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. Η πρώτη έννοια έχει να κάνει με το ανθρώπινο σώμα και ορίζεται ως «η απόσταση και η κατεύθυνση κατά την οποία μπορεί να κινηθεί μία άρθρωση». Η δεύτερη έννοια του όρου έχει να κάνει με το εύρος κίνησης το οποίο απαιτείται για την εκτέλεση μιας άσκησης. Το εύρος κίνησης μιας άσκησης ορίζεται ως ο βαθμός κίνησης που εμφανίζεται σε μια συγκεκριμένη άρθρωση ή σε πολλές αρθρώσεις ταυτόχρονα (πολυαρθρική άσκηση) κατά την εκτέλεση μιας άσκησης. Έτσι σε μία προπόνηση με αντιστάσεις οι ασκήσεις μπορούν να εκτελούνται σε «μερικό» η «πλήρες» εύρος κίνησης, ανάλογα με το εάν υπάρχει περιορισμός ή όχι στην κίνηση της άρθρωσης.

Το κάθισμα έχει τρεις βασικές παραλλαγές με βάση το εύρος τροχιάς στο οποίο εκτελείται και αυτές διαφοροποιούνται ως προς το βαθμό κάμψης του γόνατος. Οι προπονητές συχνά κατηγοριοποιούν τα καθίσματα σε 3 βασικές ομάδες (Εικόνα 2.4): τα ημικαθίσματα (γωνία κάμψης γόνατος περίπου 40°), τα παράλληλα καθίσματα (70 έως 100° κάμψης γόνατος) και τα βαθιά καθίσματα (μεγαλύτερη από 100° γωνία κάμψης γόνατος). Ωστόσο, η ορολογία μπορεί να διαφέρει μεταξύ των ερευνητών. Τα ημικάθισματα συχνά χρησιμοποιούνται σε αθλητές συγκεκριμένων αθλημάτων προκειμένου να επιτευχθούν προσαρμογές και μεγαλύτερη εξειδίκευση σε κινήσεις που αφορούν το συγκεκριμένο άθλημα (Drinkwater et al., 2012). Τα παράλληλα καθίσματα είναι αυτά που εμφανίζονται συχνότερα στα προγράμματα άσκησης. Τα βαθιά καθίσματα απαιτούν περισσότερη ευκαμψία συγκριτικά με τις άλλες 2 παραλλαγές καθώς τα ισχία φθάνουν χαμηλότερα από τα γόνατα, τόσο χαμηλότερα όσο αυτό είναι άνετο για τον ασκούμενο χωρίς να νιώθει πόνο ή/και να μην προκαλείται αφύσικη οπίσθια πυελική κλίση (γνωστή στη διεθνή ορολογία ως butt wink). Επίσης αποτελούν ένα από τα κύρια στάδια στην τεχνική εκτέλεση της άρσης βαρών και από πολλούς θεωρούνται μια αμφισβητούμενη άσκηση καθώς στην επιστημονική βιβλιογραφία οι απόψεις για την ασφάλεια της δίστανται (Schoenfeld et al., 2012; Escamilla 2001).



Εικόνα 2.4. Οι τρεις βασικές παραλλαγές του καθίσματος με βάση το εύρος τροχιάς (ημικάθισμα, παράλληλο κάθισμα, βαθύ κάθισμα).

<https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/56a83f805827c304cbfbb60c/1521757362466-AHSI62C7Y9UX3VVT7NI0/squatdepth+pattern.jpg?format=1500w>

Στον χώρο της άσκησης πολλές φορές συναντάμε προπονητές οι οποίοι είναι απόλυτοι για το πώς πρέπει να μοιάζει ένα κάθισμα, δηλαδή ποιο είναι το πιο ωφέλιμο βάθος ή η πιο αποτελεσματική στάση ποδιών. Είναι συχνό φαινόμενο να παρουσιάζεται μια τεχνική εκτέλεσης ενός καθίσματος ως η ιδανική τεχνική για όλους. Στην πραγματικότητα όμως όταν μιλάμε για την «ορθή» τεχνική εκτέλεσης ενός καθίσματος πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε ότι ο τρόπος εκτέλεσης και το εύρος τροχιάς ενός καθίσματος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ανατομικές ιδιαιτερότητες ενός ασκούμενου.

2.4 Οστικά μορφολογικά χαρακτηριστικά και κάθισμα (προσαρμογή εύρους τροχιάς και τεχνικής με βάση την μορφολογία των οστών).

Η τεχνική εκτέλεσης ενός καθίσματος μπορεί να διαφοροποιείται από άτομο σε άτομο. Υπάρχουν κάποια ατομικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν τον τρόπο εκτέλεσης της άσκησης, δηλαδή το βάθος καθίσματος, την τοποθέτηση των ποδιών και την κλίση του κορμού. Πέρα από την μυϊκή δύναμη και την ευκάμψια του κάθε ατόμου υπάρχουν και κάποιες άλλες ανατομικές ιδιαιτερότητες οι οποίες καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την τεχνική εκτέλεσης και το εύρος τροχιάς ενός καθίσματος. Αυτές οι ιδιαιτερότητες αφορούν τα οστικά μορφολογικά χαρακτηριστικά των κάτω άκρων και της άρθρωσης του ισχίου ενός ασκούμενου.

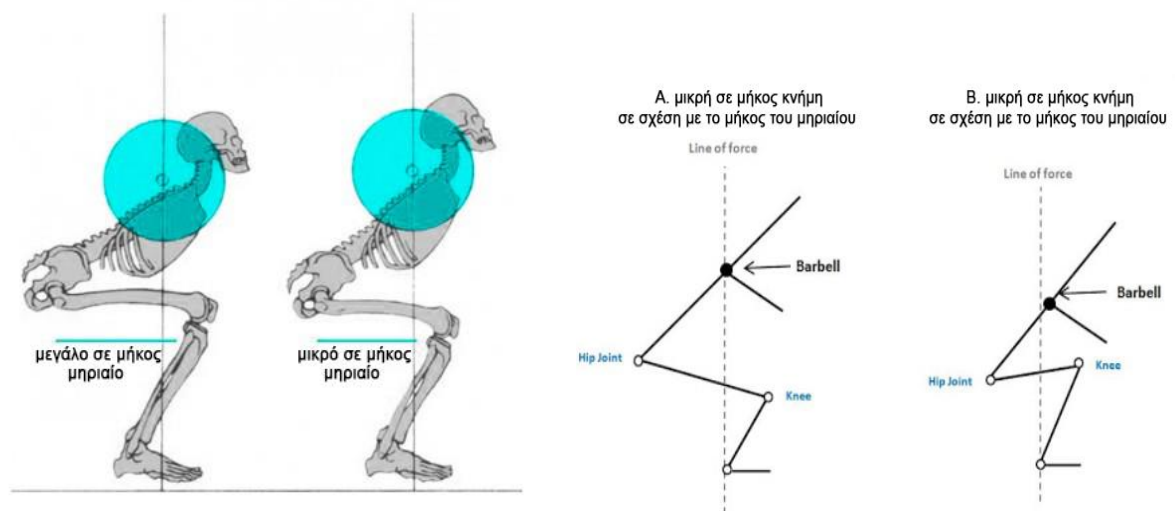
2.4.1 Μήκος οστών κάτω ακρών

Αρχικά η μηχανική του καθίσματος μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από το μήκος του μηριαίου οστού (McKean & Burkett, 2013; Myer et al., 2014). Οι ασκούμενοι με μεγάλα μήκη μηριαίου οστού σε σχέση με μικρότερα μήκη κνήμης θα έχουν φυσικά μεγαλύτερη κλίση προς τα εμπρός όσο αυξάνεται το βάθος καθίσματος σε σύγκριση με έναν ασκούμενο με αναλογικά μήκη μηριαίου προς κνήμη (Εικόνα 2.5). Σε αυτούς τους ασκούμενους, το ισχίο μετατοπίζεται περισσότερο προς τα πίσω, (με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μεγαλύτερες ροπές στην οσφυϊκή μοίρα) για να επιτρέψει στο φορτίο και το πάνω μέρος του σώματος να παραμείνουν ισορροπημένα πάνω από το κέντρο μάζας σώματος. Διαφορετικά ο ασκούμενος απλώς θα έπεφτε προς τα πίσω. Επιπλέον, ο βαθμός κάμψη του ισχίου του γόνατος και της ποδοκνημικής σε αυτόν τον ασκούμενο μπορεί να είναι απολύτως φυσιολογικός αλλά η ανατομική του δομή έχει τέτοιες κατασκευαστικές αναλογίες οι οποίες δεν θα του επιτρέψουν ποτέ να εκτελέσει καθίσματα με όρθια στάση κορμού.

Ομοίως, το μήκος της κνήμης σε σχέση με το μήκος του μηριαίου οστού επηρεάζει την μηχανική της εκτέλεσης ενός καθίσματος (McKean & Burkett, 2013; Myer et al., 2014). (Εικόνα 2.5). Το μικρό μήκος της κνήμης σε σχέση με ένα μεγάλο μήκος μηριαίου οστού δημιουργεί μεγαλύτερη μετατόπιση του ισχίου προς τα πίσω και προκαλεί μεγαλύτερη κλίση του κορμού προς τα εμπρός καθώς αυξάνεται το βάθος καθίσματος. Αντίθετα ένας ασκούμενος με μεγαλύτερα μήκη κνήμης σε σχέση με το μήκος του μηριαίου οστού είναι πολύ πιο εύκολο να διατηρήσει μια πιο όρθια στάση σε όλο το εύρος κίνησης ενός καθίσματος. Αυτός ο ασκούμενος αναπτύσσει μεγαλύτερες ροπές στην άρθρωση του γόνατος με αποτέλεσμα να αισθάνεται να ενεργούν περισσότερο οι εκτεινόντες του γόνατος κατά την διάρκεια εκτέλεσης

της άσκησης, σε αντίθεση με τον ασκούμενο με τις μικρότερες κνήμες, σε σχέση με το μήκος του μηριαίου, ο οποίος θα αισθανόταν μεγαλύτερη μεγαλύτερη ενεργοποίηση στους εκτείνοντες του κορμού .

Ο περιορισμός της ευκαμψίας της ποδοκνημικής άρθρωσης, και συγκεκριμένα ο βαθμός ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής, είναι μία μεταβλητή η οποία επηρεάζει σημαντικά τη μηχανική εκτέλεσης του καθίσματος (Kim et al., 2015) . Η περιορισμένη ραχιαία κάμψη της ποδοκνημικής εμποδίζει τα γόνατα να μετατοπιστούν προς τα εμπρός κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός καθίσματος, με αποτέλεσμα τα ισχία να μετατοπίζονται προς τα πίσω ώστε να υπάρξει εξισορρόπηση μεταξύ της ροπής λόγω της μάζας της μπάρας και της ροπής λόγω της μάζας του σώματος (Demers et al., 2018). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα είτε την υπερβολική κλίση του κορμού προς τα εμπρός, είτε την ανύψωση των πτερνών από το έδαφος ή απλώς μειωμένο εύρος κίνησης κατά την εκτέλεση της άσκησης.



Εικόνα 2.5. Πως επηρεάζει το μήκος του μηριαίου οστού και το μήκος της κνήμης σε σχέση με το μήκος μηριαίου οστού την στάση του κορμού στο κάθισμα με οπισθολαίμια λαβή μπάρας.

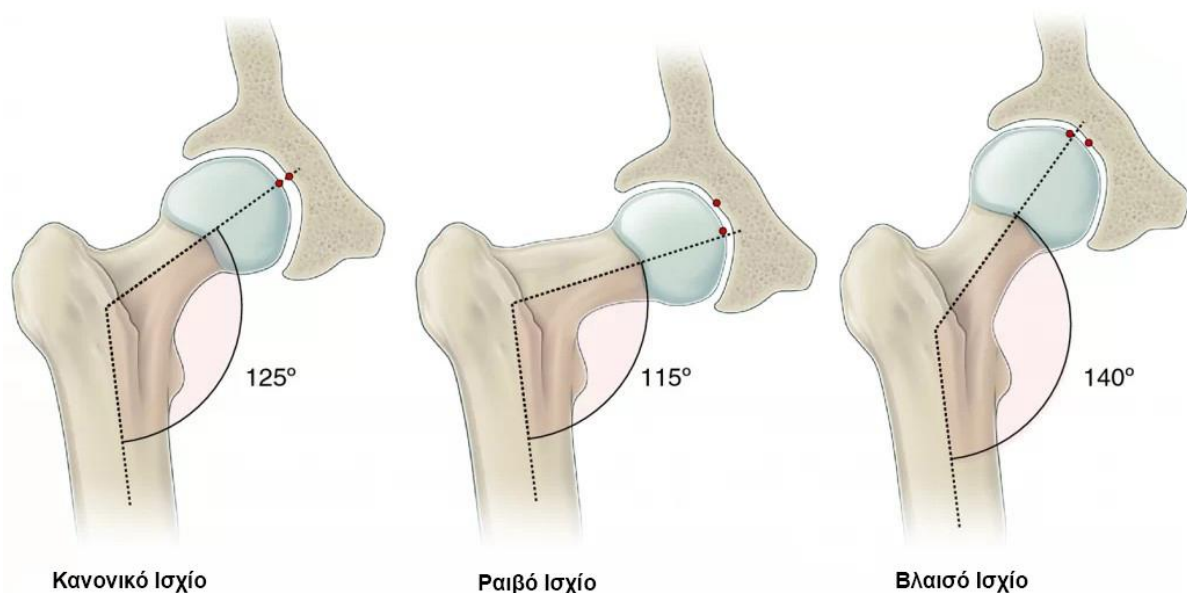
<https://www.capitalphysiotherapy.com.au/why-cant-i-squat-deeper/>

2.4.2 Ιδιαιτερότητες στην άρθρωση του ισχίου και κάθισμα.

Σε μια έρευνα που πραγματοποίησαν οι [Elson και Aspinal \(2008\)](#) φάνηκε ότι μπορεί να υπάρξει μια τεράστια διακύμανση τόσο στο παθητικό όσο και στο ενεργητικό εύρος τροχιάς της άρθρωσης του ισχίου το οποίο επηρεάζεται από το φύλλο την ηλικία και οφείλεται σε ανατομικές ιδιαιτερότητες του ισχίου. Η άρθρωση του ισχίου αποτελείται από την κεφαλή του μηριαίου οστού και την κοτύλη της λεκάνης. Ο αυχένας του μηριαίου οστού έχει κυλινδρικό σχήμα και είναι η ανατομική περιοχή μεταξύ της κεφαλής του μηριαίου οστού και της διάφυσης του μηριαίου οστού. Η αυχενομηριαία γωνία (γωνία έγκλισης), δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα του αυχένα και του ανατομικού άξονα του μηριαίου οστού σε μετωπιαίο επίπεδο, διαφέρει από άτομο σε άτομο.

Στους ενήλικες υπάρχουν τρεις τύποι ισχίου με βάση την γωνία έγκλισης του ισχίου ([Εικόνα 2.6](#)).

- Κανονικό Ισχίο (Coxa Normia) όταν η γωνία έγκλισης είναι μεταξύ 135° – 120° ,
- Ραιβό Ισχίο (Coxa Vara), όταν η γωνία έγκλισης είναι $< 120^{\circ}$.
- Βλαισό Ισχίο (Coxa Valga), όταν η γωνία έγκλισης $> 135^{\circ}$,

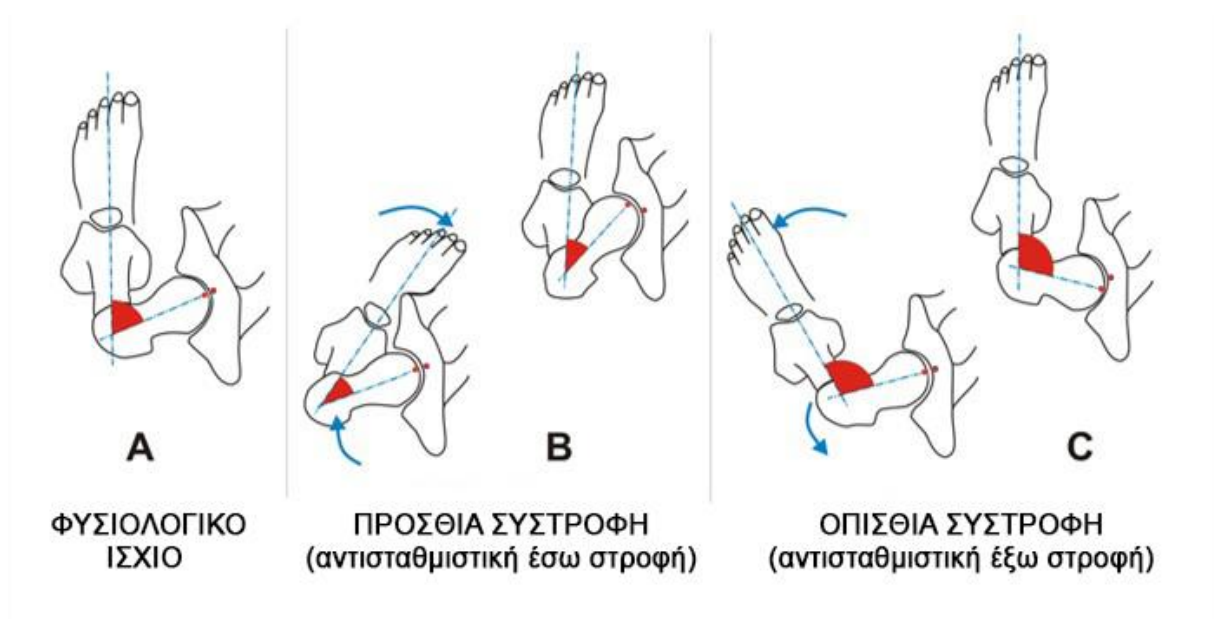


Εικόνα 2.6. Οι τρεις τύποι ισχίου με βάση την γωνία έγκλισης του ισχίου.

<https://pbs.twimg.com/media/EMolG-NUEAA4sH4.png>

Επιπλέον, σε εγκάρσιο επίπεδο η γωνία μεταξύ του άξονα του αυχένα του μηριαίου και του εγκάρσιου άξονα των μηριαίων κονδύλων, δηλαδή η γωνία συστροφής του μηριαίου αυχένα, μπορεί να διαφέρει από άτομο σε άτομο.

- Φυσιολογικό ισχίο: φυσιολογική γωνία συστροφής 10° - 15°
- Γωνία κλίσης $> 15^{\circ}$ [πρόσθια συστροφή (ante version)]: ένα μέρος της μηριαίας κεφαλής παραμένει ακάλυπτο από την κοτύλη προκαλώντας αντισταθμιστική έσω στροφή του σκέλους.
- Γωνία κλίσης $< 10^{\circ}$ [οπίσθια συστροφή (retro version)]: ένα μέρος της μηριαίας κεφαλής παραμένει ακάλυπτο από την κοτύλη προκαλώντας αντισταθμιστική έξω στροφή του σκέλους.



Εικόνα 2.7. Οι τρεις τύποι ισχίου με βάση την γωνία συστροφής του μηριαίου αυχένα.

<https://barbellrehab.com/wp-content/uploads/2020/01/hip-version.jpg>

Μια μελέτη από τον Zalawadia και τους συνεργάτες του (2010) εξέτασε 92 ξηρά δείγματα μηριαίου οστού και βρήκε διαφορές στην γωνία κλίσης έως και 24 μοίρες μεταξύ των δειγμάτων. Επιπλέον ο Laborie και οι συνεργάτες του (2012) σημείωσαν ότι οι διαφορές στην γωνία κλίσης δεν περιορίζονται αυστηρά στην κεφαλή του μηριαίου οστού αλλά μπορεί επίσης να υπάρχουν και στην κοτύλη της λεκάνης. Στην έρευνα τους εξέτασαν πάνω από 2000 δείγματα ισχίων και βρήκαν ότι οι γωνίες αυτές διέφεραν από 20,8 έως και 45 μοίρες. Στην **Εικόνα 2.8**, το πυελικό δείγμα αριστερά διαθέτει υποδοχές ισχίου που βλέπουν προς τα έξω ενώ το πυελικό δείγμα δεξιά εμφανίζει υποδοχές στραμμένες περισσότερο προς τα κάτω. Είναι

πιθανό ότι ένα άτομο με υποδοχές ισχίου στραμμένες περισσότερο προς τα έξω θα επωφεληθεί από μια τοποθέτηση ποδιών με πλάτος μεγαλύτερο από το άνοιγμα των ώμων ή από μεγαλύτερο βαθμό έξω στροφής των ποδιών. Αντίθετα, ένα άτομο με πιο στραμμένες προς τα κάτω υποδοχές ισχίου θα επωφεληθεί από άνοιγμα ποδιών περίπου στο άνοιγμα των ώμων χωρίς μεγάλο βαθμό έξω στροφής ποδιών .



Εικόνα 2.8. Δύο πύελοι με διαφορετική μορφή ως προς την κατεύθυνση των υποδοχών του μηριαίου οστού. Αριστερά: υποδοχές ισχίου στραμμένες προς τα έξω. Δεξιά: υποδοχές ισχίου στραμμένες προς τα κάτω.

<https://thmovementfix.com/wp-content/uploads/2014/01/hip-socket-frontal.jpg>

Οι επιπτώσεις τις αυχνομηριαίας γωνίας και της γωνίας συστροφής του μηριαίου αυχένα σχετίζονται με το διαθέσιμο εύρος κίνησης της άρθρωσης του ισχίου. Ο [D'Lima και οι συνεργάτες του \(2000\)](#) διαπίστωσαν ότι το διαθέσιμο εύρος τροχιάς κάμψης του ισχίου για ένα άτομο επηρεάζεται άμεσα από αυτές τις γωνίες καθώς και κάποιες άλλες ιδιαιτερότητες στην άρθρωση του ισχίου. Αυτές οι ιδιαιτερότητες έχουν να κάνουν με το βάθος της υποδοχής (κοτύλης) του ισχίου και το πάχος του αυχένα του μηριαίου οστού ([Εικόνα 2.9](#)) . Η διαφορά στο βάθος της υποδοχής του ισχίου και στο πάχος του αυχένα του μηριαίου μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει περαιτέρω το διαθέσιμο εύρος τροχιάς του καθίσματος ([D'Lima et. al., 2000](#)). Στην ίδια έρευνα αποδείχτηκε ότι μια αύξηση στη διάμετρο του μηριαίου αυχένα μόλις 2 mm ήταν σε θέση να μειώσει το εύρος κάμψης του ισχίου κατά 1,5 – 8,5 μοίρες, ανάλογα με την κατεύθυνση της κίνησης. Για παράδειγμα, ένας ασκούμενος με γωνία συστροφής 0 μοίρες

(οπίσθια συστροφή) και μεγάλη διάμετρο μηριαίου αυχένα θα βιώσει πρόωμη πρόσκρουση μηριαίου οστού και κοτύλης στο κάθισμα καθώς η κεφαλή του μηριαίου οστού έρχεται σε πρόωμη επαφή με την κοτύλη της πυέλου, με αποτέλεσμα το εύρος τροχιάς του κατά την εκτέλεση ενός καθίσματος να είναι περιορισμένο. Αντίθετα, ένας ασκούμενος με γωνία συστροφής 30 μοίρες (πρόσθια συστροφή) και μικρή διάμετρο μηριαίου αυχένα θα είναι απαλλαγμένος από πρόωμη επαφή των οστών και πιθανόν να μπορεί να εκτελεί κάθισμα σε μεγάλο βάθος με πολύ μεγαλύτερη άνεση.

Κάτοψη υποδοχής ισχίου - μηριαίου



Εικόνα 2.9. Βάθος κοτύλης ισχίου σε σχέση με τον αυχένα του μηριαίου οστού. Αριστερά: Μικρό βάθος κοτύλης η οποία επιτρέπει πιο αυξημένο εύρος τροχιάς. Δεξιά: Μεγάλο βάθος κοτύλης η οποία μειώνει το εύρος τροχιάς.

<https://tomorrison.uk/blog/why-your-squat-depth-is-the-way-it-is>

Τέλος ο Lamontagne και οι συνεργάτες του (2009) εξέτασαν την ικανότητα εκτέλεσης της άσκησης του καθίσματος σε άτομα με σύνδρομο μηροκοτυλιαίας πρόσκρουσης και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι λόγω ανατομικών παραλλαγών στο ισχίο, υπάρχουν πολλά άτομα που δεν θα μπορέσουν ποτέ να κάνουν βαθιά καθίσματα με άνεση και σωστή τεχνική .

Επομένως στο ερώτημα για το ποια είναι η ιδανική τεχνική και το ιδανικό εύρος τροχιάς εκτέλεσης ενός καθίσματος για έναν ασκούμενο, η απάντηση είναι «εξαρτάται» καθώς τα ατομικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν τον τρόπο εκτέλεσης ποικίλουν με κάποια από αυτά να μην επιδέχονται αλλαγής όπως για παράδειγμα η μορφολογία των οστών και αρθρώσεων.

2.5. Βάθος καθίσματος και μυϊκή δραστηριότητα

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει διάφορες μελέτες οι οποίες ανέλυσαν το πως το εύρος τροχιάς εκτέλεσης ενός καθίσματος επηρεάζει την μυϊκή δραστηριότητα των μυών που ενεργούν κατά την εκτέλεση του. Αυτές οι μελέτες κατέγραψαν τη μυϊκή δραστηριότητα μέσω της μεθόδου της ηλεκτρομυογραφίας. Η ηλεκτρομυογραφία είναι μία μέθοδος η οποία έχει την δυνατότητα να καταγράψει την μυϊκή δραστηριότητα (ηλεκτρικό δυναμικό) του μυός με την βοήθεια μιας συσκευής που καλείται ηλεκτρομυογράφος (Basmajian & De Luca, 1985). Η καταγραφή του ηλεκτρικού δυναμικού του μυός λέγεται ηλεκτρομυογράφημα (ΗΜΓ) και αποτελεί μία έγκυρη παράμετρο για την εκτίμηση της μυοηλεκτρικής δραστηριότητας.

Στις περισσότερες μελέτες που εξετάστηκε η μυϊκή δραστηριότητα σε διαφορετικά βάθου καθίσματος, το ηλεκτρομυογράφημα έδωσε αποτελέσματα παρόμοιας ενεργοποίησης των περισσότερων μυών. Εντούτοις, αμφιλεγόμενα ήταν τα αποτελέσματα σχετικά με την ενεργοποίηση του μείζωνος γλουτιαίου. Συγκεκριμένα στην μελέτη του Caterisano και συνεργατών (2002) συμμετείχαν 10 προπονημένα άτομα και εφαρμόστηκε ηλεκτρομυογραφία του μέσου πλατύ, του έξω πλατύ, του δικέφαλου μηριαίου και του μείζωνος γλουτιαίου. Ο Caterisano και συνεργάτες (2002) βρήκαν μια ελαφρώς υψηλότερη ενεργοποίηση του μείζωνος γλουτιαίου στα βαθιά καθίσματα σε σύγκριση με τα παράλληλα και τα ημικάθισμα. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι στην συγκεκριμένη έρευνα το επιπρόσθετο βάρος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ίδιο για όλες τις παραλλαγές σε αντίθεση με τις άλλες έρευνες στις οποίες το επιπρόσθετο βάρος επιλέχθηκε με βάση το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων σε κάθε παραλλαγή ξεχωριστά. Σε αντίθεση με τον Caterisano και συνεργάτες (2002), άλλες μελέτες αναφέρουν υψηλότερη δραστηριότητα του μείζωνος γλουτιαίου στο παράλληλο κάθισμα συγκριτικά με το παράλληλο κάθισμα και το ημικάθισμα (da Silva et al., 2017; Hammond et al., 2016). Επίσης, αναφέρεται και μη σημαντική διαφορά της μυϊκής δραστηριότητας στο βαθύ και στο παράλληλο κάθισμα (13 προπονημένες γυναίκες) (Contreras et al., 2016) καθώς και σε αθλητές σωματοδόμησης (ορθός μηριαίος, μακρύς προσαγωγός, μείζων και μέσος γλουτιαίος, μέσος, έξω και έσω πλατύς μηριαίος) (Coratella et al., 2021). Σε μελέτη που εξέτασε τη διαφορά μυϊκής δραστηριότητας λόγω φύλου σε άνδρες και γυναίκες δρομείς (δε βρέθηκε σημαντική επίδραση του φύλου) αναφέρεται υψηλότερη ενεργοποίηση του ορθού μηριαίου μυός στο παράλληλο κάθισμα συγκριτικά με το ημικάθισμα.

Επιπλέον μία είναι η μελέτη (Marchetti et al., 2016) στην οποία μετρήθηκε η μυϊκή δραστηριότητα κατά την ισομετρική συστολή σε 3 διαφορετικές θέσεις καθίσματος με γωνίες κάμψης γόνατος 20°, 90°, 140°. Στις 90° κάμψης γόνατος υπήρξε η υψηλότερη γενική μυϊκή δραστηριότητα ενώ στις 140° βρέθηκε χαμηλότερη ενεργοποίηση του μείζονος γλουτιαίου και του έξω πλατύ σε σχέση με τις άλλες 2 γωνίες κάμψης γόνατος. Ωστόσο είναι αναγκαίο να λάβουμε υπόψιν ότι όλες οι μελέτες που αναφέρθηκαν είχαν για δείγμα κυρίως προπονημένα άτομα και όχι απροπόνητα, μια συνθήκη η οποία σύμφωνα με τον Pick και συνεργάτες (2000) θα μπορούσε να επηρεάσει τα δεδομένα της μυϊκής δραστηριότητας. Στον Πίνακα 2.1. παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των ερευνών που εξέτασαν τη μυϊκή δραστηριότητα σε διαφορετικά βάθη καθίσματος. Με βάση τα μη συγκλίνοντα ερευνητικά δεδομένα προκύπτει το ερώτημα για το εάν τελικά η μυϊκή δραστηριότητα διαφοροποιείται ανάλογα με το βάθος καθίσματος, και ειδικότερα, εάν διαφοροποιείται σε βαθμό τέτοιο που θα μπορούσε να αλλάξει το ερέθισμα ενός προπονητικού πλάνου.

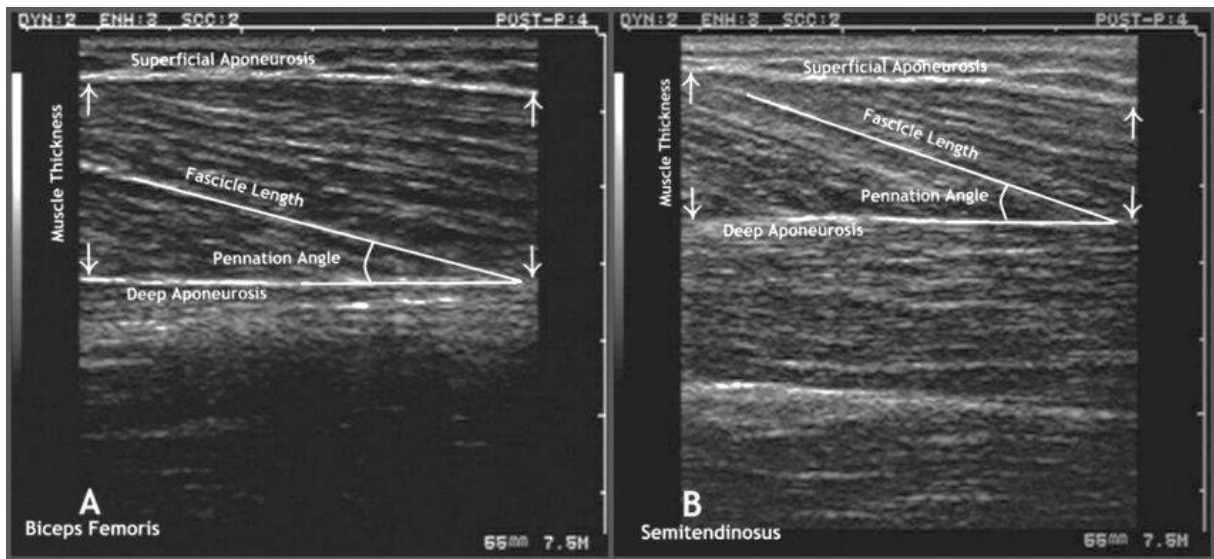
Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά των ερευνών που εξέτασαν την μυϊκή δραστηριότητα σε διαφορετικά βάθη καθίσματος.

	Μελέτες	Δείγμα	Ηλεκτρομυογράφημα (EMG)	Ασκήσεις που εξετάστηκαν	Αποτελέσματα
1	Caterisano et al. 2002	10 προπονημένοι άντρες	μέσου πλατύ, έξω πλατύ, δικέφαλου μηριαίου μείζων γλουτιαίου	βαθύ κάθισμα παράλληλο κάθισμα ημικάθισμα	υψηλότερη ενεργοποίηση στον μείζων γλουτιαίο στα βαθιά καθίσματα
2	da Silva et al. 2017	15 προπονημένοι άντρες	μέσου πλατύ έξω πλατύ, ορθού μηριαίου ,δικέφαλου μηριαίου μείζων γλουτιαίου ,ημιτενοντώδη, υποκνημίδιου	βαθύ κάθισμα παράλληλο κάθισμα	υψηλότερη ενεργοποίηση στον μείζων γλουτιαίο στο παράλληλο κάθισμα
3	Hammond et al., 2016	8 προπονημένοι άντρες	μέσου πλατύ, έξω πλατύ, δικέφαλου μηριαίου μείζων γλουτιαίου	βαθύ κάθισμα παράλληλο κάθισμα ημικάθισμα	υψηλότερη ενεργοποίηση στον μείζων γλουτιαίο στο παράλληλο κάθισμα

4	Contreras et al 2016	13 προπονημένες γυναίκες	έξω πλατύ δικέφαλου μηριαίου μείζων γλουτιαίου	βαθύ κάθισμα παράλληλο κάθισμα	παρόμοια ενεργοποίηση
5	Coratella et al., 2021	10 άντρες αθλητές σωματοδόμησης	μέσου πλατύ έξω πλατύ, ορθού μηριαίου ,μακρύ προσαγωγού μείζων γλουτιαίου μέσου γλουτιαίου	βαθύ κάθισμα παράλληλο κάθισμα (μεγάλο άνοιγμα μεταξύ των ποδιών)	παρόμοια ενεργοποίηση
6	Gorsuch et al., 2013	20 δρομείς (10 άντρες και 10 γυναίκες)	ορθού μηριαίου δικέφαλου μηριαίου έξω κεφαλή γαστροκνήμιου	παράλληλο κάθισμα ημικάθισμα	μεγαλύτερη ενεργοποίηση του ορθού μηριαίου στο παράλληλο κάθισμα

2.6. Προπονητικό εύρος τροχιάς καθίσματος και μυϊκή αρχιτεκτονική

Ως αρχιτεκτονική δομή του μυός ορίζεται η γεωμετρική τοποθέτηση των μυϊκών ινιδίων εντός του μυός. Η αρχιτεκτονική δομή του μυός χαρακτηρίζεται κυρίως από το μήκος της μυϊκής ίνας (μυϊκάδεμάτια), τη γωνία πτέρωσης, δηλαδή τη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών στην απονεύρωση του μυός, το πάχος και την εγκάρσια επιφάνεια του μυός (Rutherford & Jones, 1992). Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αξιολόγησης της αρχιτεκτονικής δομής των μυών είναι μέσω του υπερήχου, συλλέγοντας εικόνες δύο διαστάσεων (2-D).



Εικόνα 2.10. Εικόνα που συλλέχθηκε κατά μήκος του μηρού με υπέρηχο του δικέφαλου μηριαίου και του ημιτενοντώδη. Από τέτοιες εικόνες είναι δυνατό να μετρηθούν: το μήκος των μυϊκών δεματίων (fascicle length), η γωνία των μυϊκών δεματίων (pennation angle ως προς την εν τω βάθει απονεύρωση (deep aponeurosis) και το πάχος του μύος (muscle thickness).

Μελετητές συσχέτισαν την αρχιτεκτονική του μύος (γωνία πτέρωσης) με τη μορφολογία του, δηλαδή την εγκάρσια επιφάνεια του μύος και τον όγκο αυτού (Kawakami et al, 1993; Ichinose et al, 1998). Η γωνία πτέρωσης και το μήκος των μυϊκών δεματίων σχετίζονται με την ικανότητα «παραγωγής» της δύναμης (Ichinose et al., 1997), με την αύξηση της γωνίας πτέρωσης να βελτιώνει την ικανότητα παραγωγής μυϊκής δύναμης (Aagaard et al., 2001). Συνεπώς, οι αλλαγές στην μυϊκή αρχιτεκτονική επηρεάζουν άμεσα την μυϊκή λειτουργία.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για να προσδιοριστεί η αρχιτεκτονική δομή των μυών και οι μεταβολές που δέχεται. Ο πρώτος είναι να εξεταστούν διαφορετικοί πληθυσμοί που ακολουθούν διαφορετικό προπονητικό πρόγραμμα και ο άλλος είναι να εξεταστεί ο ίδιος πληθυσμός ατόμων μετά από μελέτη προπόνησης (πιο συχνή προσέγγιση): Στον Πίνακα 2.2. φαίνεται συνοπτικά η επίδραση της προπόνησης δύναμης στη μυϊκή αρχιτεκτονική σύμφωνα με τα ευρήματα των σχετικών μελετών.

Πίνακας 2.2. Αλλαγές της μυϊκή ζαρχιτεκτονικής μετά από προπόνηση δύναμης σε ανθρώπους.

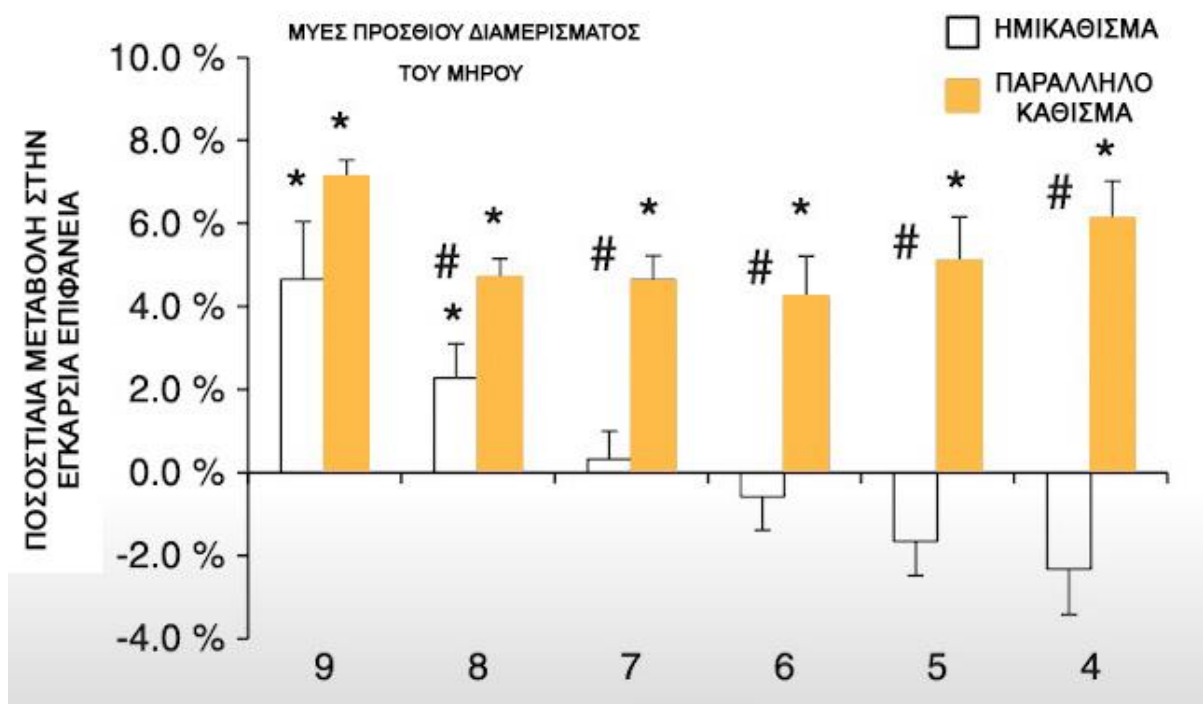
↑ = αύξηση

↔ = μη στατιστικά σημαντική αλλαγή

	Μελέτες	Προπονητική περίοδος	Μύες	Επίδραση στην αρχιτεκτονική	Δείγμα
1	Rutherford and Jones 1992	3 μήνες προπόνησης	Έξω και μέσος πλατύς	Γωνία πτέρωσης ↔ Μήκος δεματίων ↔	12 άτομα (7 άντρες, 5 γυναίκες) αρχάριοι και προπονημένοι 18-40 ετών
2	Kawakami et al. 1995	16 εβδομάδες προπόνησης	Τρικέφαλος βραχιόνιος	Γωνία πτέρωσης ↑19% Μήκος δεματίων ↔	5 άντρες προπονημένοι ηλικία: (μέση τιμή ± ΤΑ) 29 ± 4
3	Aagaard et al. 2001	14 εβδομάδες προπόνησης	Έξω πλατύς	Γωνία πτέρωσης ↑33,8%	11 άντρες αρχάριοι ηλικία: (μέση τιμή ± ΤΑ) 27 ± 5.3
4	Blazevich and Giorgi 2001	12 εβδομάδες προπόνησης	Τρικέφαλος βραχιόνιος	Γωνία πτέρωσης ↔	10 άντρες προπονημένοι ηλικια (μέση τιμή± ΤΑ): 22.4 ± 3.8

5	Blazevich et al. 2006	5 εβδομάδες προπόνησης	τετρακέφαλος	Γωνία πτέρωσης ↔ Μήκος δεματίων ↔	16 γυναίκες ηλικία (μέση τιμή ± ΤΑ) 19.9 ± 3.1 15 άντρες ηλικία : 20.6 ± 2.6
6	Valamatos et al. 2018	15 εβδομάδες προπόνησης	έξω πλατύς	Γωνία πτέρωσης ↑9.5% Μήκος δεματίων ↑4.9% (ομάδα πλήρες εύρους τροχιάς) Γωνία πτέρωσης ↑12.2% Μήκος δεματίων ↔ (ομάδα μερικού εύρους τροχιάς)	11 άντρες (πειραματική ομάδα) αρχάριοι ηλικία: (μέση τιμή ± ΤΑ) 21.6 ± 3.5

Το εύρος τροχιάς ενός καθίσματος είναι μία μεταβλητή η οποία μπορεί να επηρεάσει την αρχιτεκτονική μυών που ενεργούν κατά την εκτέλεση του. Συγκεκριμένα υπάρχουν δύο μελέτες οι οποίες εξέτασαν την επίδραση στην μυϊκή αρχιτεκτονική μετά την συστηματική φόρτιση σε διαφορετικά βάθη καθίσματος (Bloomquist et al., 2013; Kubo et al., 2019). Στη μελέτη που πραγματοποίησαν ο Bloomquist και συνεργάτες (2013) οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε 2 ομάδες οι οποίες εφάρμοσαν προπονητικό πρόγραμμα 12 εβδομάδων με συχνότητα προπόνησης 3 φορές την εβδομάδα. Η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων ήταν το βάθος καθίσματος, με την πρώτη ομάδα να εκτελεί παράλληλο κάθισμα και τη δεύτερη να εκτελεί ημικάθισμα. Στο τέλος της μελέτης βρέθηκε πως η ομάδα η οποία εκτελούσε το παράλληλο κάθισμα όχι μόνο είχε σημαντική ανάπτυξη στην εγκάρσια επιφάνεια του τετρακεφάλου μυός (csa), αλλά και ότι η αύξηση της εγκάρσιας διατομής του μυός ήταν μεγαλύτερη συγκριτικά με την ομάδα η οποία εκτελούσε ημικάθισμα (Εικόνα 2.11) .



Εικόνα 2.11. Ποσοστιαίες τιμές αύξησης της εγκάρσιας επιφάνειας του τετρακεφάλου στις δύο ομάδες (Bloomquist et al., 2013).

Στην μελέτη του (Kubo et al., 2019) τα άτομα που συμμετείχαν χωρίστηκαν σε 2 ομάδες οι οποίες συμμετείχαν σε ένα προπονητικό πρόγραμμα 10 εβδομάδων με συχνότητα προπόνησης 2 φορές την εβδομάδα. Η πρώτη ομάδα έκανε συστηματική προπόνηση στο βαθύ κάθισμα ενώ η δεύτερη στο παράλληλο κάθισμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως ενώ και οι δύο ομάδες είχαν την ίδια ανάπτυξη του τετρακεφάλου μυός, στην ομάδα η οποία εκτελούσε το βαθύ κάθισμα υπήρξε τριπλάσια αύξηση της εγκάρσιας διατομής των προσαγωγών και του μείζωνος γλουτιαίου συγκριτικά με την ομάδα του παράλληλου καθίσματος. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν πως η προπόνηση των μυών (προσαγωγών και γλουτιαίων) σε μεγαλύτερα μήκη (βαθιά καθίσματα) επιφέρει μεγαλύτερες αλλαγές στην μυϊκή αρχιτεκτονική και υπερτροφία σε σχέση με την προπόνηση σε μικρότερα μήκη (ημικαθίσματα). Επιπλέον τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από έρευνες στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλες ασκήσεις εκτός του καθίσματος, όπως οι προβολές η πρέσα ποδιών και οι εκτάσεις τετρακεφάλων (McMahon et al., 2014; Pedrosa et al., 2022; Valamatos et al., 2018). Εξετάζοντας κανείς αυτές τις μελέτες, οδηγείται στο συμπέρασμα πως όταν γίνεται συστηματική φόρτιση του τετρακεφάλου σε μεγαλύτερες μοίρες κάμψης γόνατος, δηλαδή προπόνηση σε μεγαλύτερα μυϊκά μήκη, υπάρχει μεγαλύτερη αύξηση στην εγκάρσια διατομή

(υπερτροφία) και στο μήκος των μυϊκών δεματίων συγκριτικά με την προπόνηση σε μικρότερα μυϊκά μήκη.

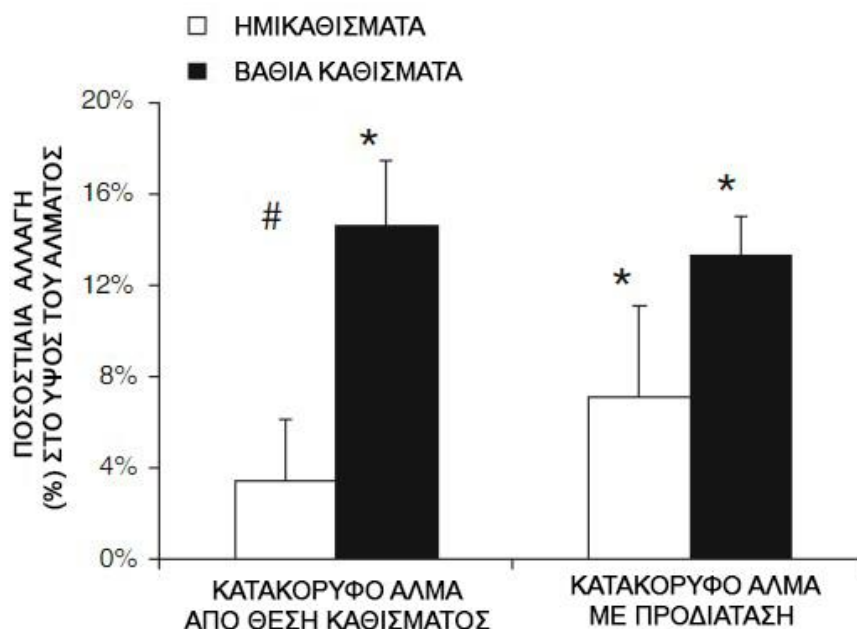
Ωστόσο, σε όλες αυτές τις μελέτες, οι συνθήκες προπόνησης σε 'μεγάλο μήκος' περιελάμβαναν προπόνηση στις 90-120° κάμψης γόνατος και οι συνθήκες προπόνησης σε "μικρό μήκος" περιελάμβαναν προπόνηση μέχρι 50-65° κάμψης γόνατος. Επιπλέον, σε αυτές τις μελέτες δεν εξετάζονται τα αποτελέσματα της προπόνησης σε τρία ή περισσότερα διαφορετικά μήκη μυών, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να βγάλουμε συμπεράσματα τα οποία θα αντιπροσωπεύουν τις διαφορές σε όλο το μήκος του μυός – εύρος τροχιάς. Για παράδειγμα, στη μελέτη του [Kubo και συνεργατών \(2019\)](#), η ανάπτυξη του τετρακεφάλου μυός ήταν ίδια στις 90° συγκριτικά με τις 140° κάμψης γόνατος ενώ στη μελέτη του [Bloomquist και συνεργατών \(2013\)](#), η προπόνηση σε κάμψη γόνατος 120° οδήγησε σε μεγαλύτερη ανάπτυξη τετρακεφάλου συγκριτικά με την προπόνηση σε κάμψη γόνατος 60°. Εντούτοις, δεν γνωρίζουμε εάν η προπόνηση με κάμψη γόνατος στις 90° θα είχε δημιουργήσει μικρότερη ανάπτυξη τετρακεφάλου από την προπόνηση στις 120° κάμψης γόνατος, ούτε γνωρίζουμε αν η προπόνηση στις 140° κάμψης γόνατος θα είχε οδηγήσει σε ακόμη περισσότερη ανάπτυξη του τετρακεφάλου από την προπόνηση στις 120° κάμψης γόνατος. Επομένως ενώ έχουμε κάποιες ενδείξεις πως η συστηματική φόρτιση σε μεγαλύτερα μήκη μυός προκαλεί μεγαλύτερες αλλαγές στην μυϊκή αρχιτεκτονική συγκριτικά με την συστηματική φόρτιση σε μικρότερα μήκη μυός, φαίνεται να απαιτείται περαιτέρω έρευνα ώστε να επιβεβαιωθούν αυτά τα αποτελέσματα για το πλήρες εύρος της κίνησης και σε διαδοχικά τμήματα του εύρους κίνησης.

2.7 Προπονητικό εύρος τροχιάς καθίσματος και αθλητική απόδοση

Η επιλογή του βέλτιστου προπονητικού εύρους τροχιάς για τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης απασχολεί την επιστημονική βιβλιογραφία εδώ και πολλά χρόνια. Τα ήδη υπάρχοντα ερευνητικά δεδομένα φαίνεται να συγκλίνουν στο ότι η προπόνηση σε μερικό εύρος τροχιάς αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο προπόνησης για τη βελτίωση της δύναμης και της ισχύος ([Clark et al., 2011](#); [Wilson et al., 1996](#)). Οι ερευνητές στηρίζονται στην αρχή της εξειδίκευσης της προπόνησης και ισχυρίζονται ότι η προπόνηση σε μερικό εύρος τροχιάς είναι η ιδανική προπονητική παρέμβαση για την βελτίωση της αθλητικής απόδοσης καθώς η προπόνηση των μυών γίνεται σε συγκεκριμένες αρθρικές γωνίες και σε κινητικά μοτίβα τα οποία σχετίζονται άμεσα με την εξειδικευμένη μυοσκελετική και νευρομυϊκή λειτουργία που απαιτείται σε συγκεκριμένες αθλητικές δεξιότητες (άλμα, τρέξιμο κλπ.)

2.7.1. Πλήρες έναντι μερικού εύρους τροχιάς

Υπάρχουν δύο μελέτες με αντίθετα αποτελέσματα και αξίζει να αναφερθούν. Η μελέτη από τον Bloomquist και τους συνεργάτες του (2013) συνέκρινε την απόδοση στο κατακόρυφο άλμα από θέση καθίσματος και στο κατακόρυφο άλμα με προδιάταση μεταξύ δύο ομάδων εκ των οποίων η μία εκτελούσε βαθιά καθίσματα (μέχρι 120° κάμψης γόνατος) και η δεύτερη ημικαθίσματα (60° κάμψη γόνατος) για χρονικό διάστημα 12 εβδομάδων (αξιολόγηση πριν και μετά την προπόνηση). Ο Bloomquist και συνεργάτες (2013) βρήκαν ότι, και για τα δύο είδη άλματος, τα βαθιά καθίσματα οδήγησαν σε μεγαλύτερες βελτιώσεις στην απόδοση του άλματος συγκριτικά με τα ημικαθίσματα (Εικόνα 2.12).



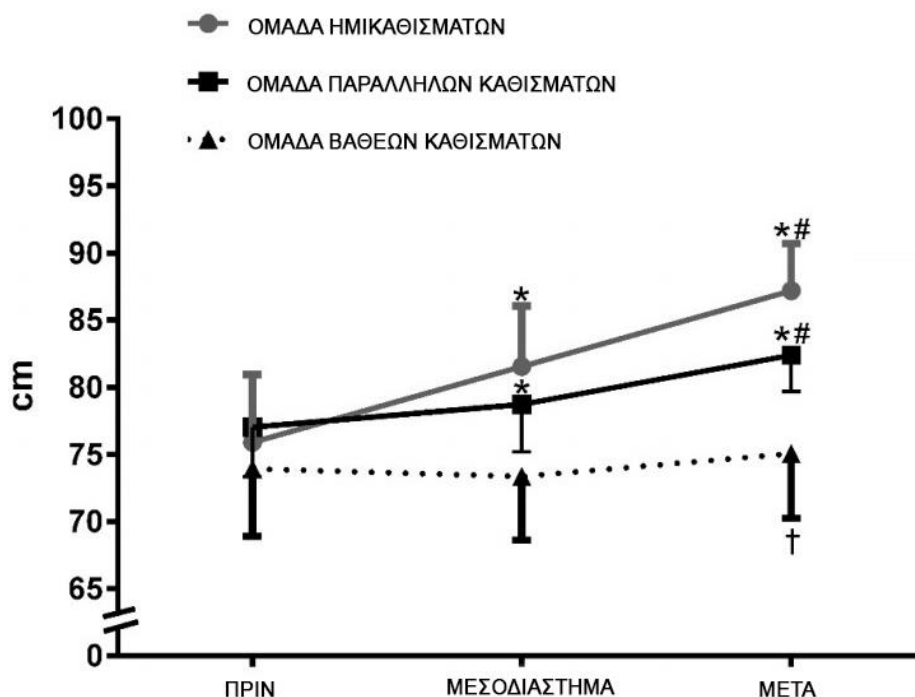
Εικόνα 2.12. Επίδραση του προπονητικού εύρους τροχιάς καθίσματος στο ύψος αλμάτος από θέση καθίσματος και άλματος με προδιάταση (Bloomquist et al., 2013).

* σημαντική αλλαγή συγκριτικά με πριν την προπονητική παρέμβαση

σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων πριν και μετά την προπονητική παρεμβαση

Παρόμοια με τον Bloomquist και τους συνεργάτες του (2013), η μελέτη των Rhea και συνεργατών (2018) είχε μια ομάδα ατόμων να προπονείται σε βαθύ κάθισμα (μέχρι τουλάχιστον 110° κάμψης του γόνατος), μια ομάδα ατόμων να προπονείται σε παράλληλα καθίσματα (μέχρι 85-95° κάμψης γονάτων) και μια ομάδα ατόμων να προπονείται σε

ημικάθισμα (μέχρι 55-65° κάμψης του γόνατος) (16 εβδομάδες προπόνηση, αξιολόγηση κατακόρυφου άλματος πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση καθώς και στο μεσοδιάστημα αυτής). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Rhea και συνεργατών (2018), τα παράλληλα καθίσματα και τα ημικάθισματα οδήγησαν σε μεγαλύτερες βελτιώσεις της αλτικής απόδοσης συγκριτικά με τα βαθιά καθίσματα (Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.13. Επίδραση του προπονητικού εύρους τροχιάς καθίσματος στο ύψος άλματος (Rhea et al., 2018).

* στατιστικά σημαντική διαφορά συγκριτικά με πριν την προπονητική παρέμβαση

στατιστικά σημαντική διαφορά συγκριτικά με το μεσοδιάστημα της προπονητικής παρέμβασης

† στατιστικά σημαντική διαφορά συγκριτικά με την ομάδα των ημικάθισμάτων

Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της μελέτης του Bloomquist και συνεργατών (2013) έναντι αυτής των Rhea και συνεργατών (2018) ήταν τα χαρακτηριστικά των ατόμων που συμμετείχαν στην κάθε έρευνα. Η μελέτη του Bloomquist και συνεργατών (2013) διεξήχθη σε αρχάριους καθώς το κριτήριο συμμετοχής όριζε ότι δεν θα είχαν προπονηθεί στα καθίσματα

για περισσότερες από μία φορές την εβδομάδα κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 6 μηνών ή/και ότι δεν ασχολούνταν με αθλήματα δύναμης. Από την άλλη πλευρά, η μελέτη των [Rhea και συνεργατών \(2018\)](#) διεξήχθη σε αθλητές με δύο χρόνια προηγούμενης προπονητικής εμπειρίας και οι οποίοι είχαν την δυνατότητα να εκτελέσουν μία μέγιστη επανάληψη καθίσματος (1ME) φέροντας μάζα ίση με τουλάχιστον 1,5 φορές τη σωματική τους μάζα.

Ως εκ τούτου, αυτά τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι οι αρχάριοι αντλούν οφέλη από την προπόνηση σε πλήρες εύρος τροχιάς τα οποία υπερσχύουν της αρχής της εξειδίκευσης της προπόνησης. Στους αθλητές υψηλού επιπέδου, από την άλλη πλευρά, η αρχή της εξειδίκευσης της προπόνησης έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, καθώς τα ημικαθίσματα, στα οποία το προπονητικό εύρος τροχιάς είναι παρόμοιο με τις αρθρικές γωνίες του άλματος, παρήγαγαν μεγαλύτερα οφέλη στην απόδοση του άλματος.

Τα ευρήματα του [Bloomquist και συνεργατών \(2013\)](#) και των [Rhea και συνεργατών \(2018\)](#) φαίνεται να επιβεβαιώνονται από μεταγενέστερη μελέτη ([Pallarés et al., 2020](#)). Στη μελέτη του [Pallarés και συνεργάτες \(2020\)](#) συμμετείχαν άνδρες με κάποιο βαθμό προηγούμενης εμπειρίας στο κάθισμα χωρίς όμως υψηλό επίπεδο απόδοσης καθώς ο μέσος όρος της 1ME του βαθύως καθίσματος ήταν μόλις 87,3 κιλά (μέση σωματική μάζα συμμετεχόντων = 76 κιλά). Τα άτομα προπονήθηκαν σε ημικαθίσματα, σε παράλληλα καθίσματα και σε βαθιά καθίσματα για 10 εβδομάδες. Η ομάδα η οποία εξασκούσαν στο βαθύ κάθισμα είχε τα μεγαλύτερα οφέλη στην 1ME τόσο στο βαθύ όσο και στο παράλληλο κάθισμα και στο ημικάθισμα, καθώς επίσης και τις μεγαλύτερες βελτιώσεις στο Wingate test, στο δρόμο ταχύτητας 20m και στην απόδοση άλματος με προδιάταση.

Έτσι, καταλήγουμε στο ότι ενώ τα οφέλη σε δύναμη και απόδοση τείνουν να σχετίζονται με το προπονητικό εύρος τροχιάς (αρχή εξειδίκευσης της προπόνησης), το προπονητικό επίπεδο του ασκούμενου μπορεί επίσης να είναι μία μεταβλητή η οποία μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα και τον βέλτιστο τρόπο προπόνησης που πρέπει να επιλέξει κάποιος ώστε να πετύχει τους προπονητικούς του στόχους. Συγκεκριμένα, η προπόνηση σε πλήρες εύρος τροχιάς μπορεί να είναι γενικά προτιμότερη για λιγότερο έμπειρους ασκούμενους, ακόμη και όταν στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης σε ένα μερικό εύρος κίνησης. Ωστόσο, η αρχή της εξειδίκευσης της προπόνησης φαίνεται να μπορεί να ευνοήσει τους περισσότερο προχωρημένους αθλητές. Ο λόγος αυτής της απόκλισης δεν είναι απολύτως σαφής. Πιθανόν η βελτίωση της δύναμης και της απόδοσης μετά από προπόνηση πλήρους

εύρους σε λιγότερο έμπειρους ασκούμενους να οφείλεται στον ρυθμό αύξησης της μυϊκής υπερτροφίας ο οποίος είναι μεγαλύτερος στους αρχάριους αθλητές. Εξάλλου, το μέγεθος των μυών αντανακλά τον αριθμό των συσταλών στοιχείων μέσα σε έναν μυ, εάν υπάρχουν περισσότερα συσταλά στοιχεία οι μύες μπορούν να συστέλλονται με περισσότερη δύναμη με αποτέλεσμα να μπορούν να παράξουν περισσότερη δύναμη (Taber et al., 2019). Ωστόσο χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να εξηγηθούν πλήρως αυτές οι παρατηρήσεις.

2.7.2 Συνδυασμός προπονητικών ευρών τροχιάς

Υπάρχουν δύο μελέτες οι οποίες εξέτασαν το συνδυασμό προπονητικών ευρών τροχιάς του καθίσματος και την επίδραση αυτών στη δύναμη και την απόδοση οι οποίες δίνουν ενθαρρυντικά δεδομένα για την εφαρμογή συνδυαστικής μεθόδου προπόνησης.

Στη μελέτη του Bazyley και συνεργατών (2014) εξετάστηκε η επίδραση δύο διαφορετικών μεθόδων προπόνησης (διάρκεια 7 εβδομάδες και για τις δύο μεθόδους). Η πρώτη μέθοδος ήταν προπόνηση σε πλήρες εύρος καθίσματος και η δεύτερη σε πλήρες και μερικό εύρος κίνησης (μέχρι 80° κάμψης γόνατος) συνδυαστικά, σε ήδη προπονημένους άνδρες. Τα οφέλη στην 1ΜΕ στο βαθύ κάθισμα δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των ομάδων, αλλά έτειναν να είναι μεγαλύτερα στην ομάδα που εφάρμοσε την συνδυαστική μέθοδο (αύξηση κατά $8,2 \pm 2,1\%$, έναντι $5,1 \pm 4,5\%$, για την ομάδα συνδυαστικής μεθόδου έναντι της ομάδας απλής μεθόδου). Παρόμοια αποτελέσματα υπήρχαν και στα οφέλη στην 1ΜΕ για το κάθισμα σε μερικό εύρος κίνησης ($14,9 \pm 11,8\%$, έναντι $10,2 \pm 11,7\%$, για την ομάδα συνδυαστικής μεθόδου έναντι της ομάδας απλής μεθόδου). Τα κύρια ευρήματα υποστήριξαν ότι η συνδυαστική μέθοδος προπόνησης σε μερικό και πλήρες εύρος κίνησης καθίσματος είναι πιο αποτελεσματική καθώς οι ικανότητες που καθορίζουν την αθλητική απόδοση (ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης, ώθηση, μέγιστη δύναμη) βελτιώθηκαν περισσότερο. Επίσης είναι μία μέθοδος που μπορεί να ευνοήσει τους πιο προχωρημένους αθλητές και η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την περίοδο της ειδικής προετοιμασίας κάποιου αθλήματος.

Μια πρόσφατη μελέτη του 2020 από τον Whaley και τους συνεργάτες του (2020) εξέτασε αυτό το ζήτημα με έναν διαφορετικό τρόπο συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προπόνησης σε πλήρες εύρος κίνησης καθίσματος έναντι της προοδευτικής αύξησης του εύρους τροχιάς καθίσματος με την πάροδο των προπονήσεων. Η ομάδα σταθερού εύρους εξασκήθηκε αποκλειστικά σε παράλληλα καθίσματα για διάρκεια 7 εβδομάδων. Η ομάδα προοδευτικού εύρους ξεκίνησε την 1^η εβδομάδα με καθίσματα σε πολύ μικρό εύρος τροχιάς

και προχώρησε σταδιακά σε όλο και βαθύτερα καθίσματα (αύξηση του βάθους καθίσματος κατά 4.45 cm από εβδομάδα σε εβδομάδα, κατά τη χρονική διάρκεια των 7 εβδομάδων) (Εικόνα 2.14). Τα οφέλη στην 1ΜΕ στο κάθισμα και στο ύψος κατακόρυφου άλματος δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ των ομάδων, αλλά ήταν ελαφρώς μεγαλύτερα στην ομάδα προοδευτικής αύξησης του εύρους τροχιάς ($14,5 \pm 9,5$ έναντι $11,0 \pm 7,α$ kg για την 1ΜΕ στο κάθισμα και $3,6 \pm 4,3$ έναντι $1. \pm 4,3$ cm για το ύψος κατακόρυφου άλματος, για την ομάδα προοδευτικής αύξησης του βάθους καθίσματος έναντι της ομάδας σταθερού εύρους.



Εικόνα 2.14. Προοδευτική αύξηση βάθους καθίσματος από εβδομάδα σε εβδομάδα (Whaley et. al., 2020).

Αυτές οι 2 μελέτες δείχνουν ότι όταν υπάρχει σωστή διαχείριση των μεταβλητών της προπονητικής διαδικασίας (συχνότητα ,ογκος προπόνησης, ένταση προπόνησης κτλ.) η αντικατάσταση κάποιων προπονήσεων πλήρους εύρους τροχιάς με προπονήσεις μερικού εύρους μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα οφέλη δύναμης στο πλήρες εύρος τροχιάς σε σύγκριση με αποκλειστική προπόνηση στο πλήρες εύρος. Οι προσαρμογές αυτές μπορεί να οφείλονται στην βελτιωμένη κινητική μάθηση. Η ποικιλία στην πρακτική εξάσκηση πολλαπλών, παρόμοιων, αλλά όχι πανομοιότυπων δεξιοτήτων τείνει να βελτιώνει την κινητική μάθηση σε σύγκριση με την εξάσκηση μόνο μιας κινητικής δεξιότητας (Chua et al., 2019). Για παράδειγμα, μια μελέτη από τον Fonseca και τους συνεργάτες του (2014) διαπίστωσε ότι η προπόνηση μιας ποικιλίας ασκήσεων για το κάτω μέρος του σώματος (συμπεριλαμβανομένων των καθισμάτων) οδήγησε σε μεγαλύτερα κέρδη στη 1ΜΕ του καθίσματος συγκριτικά με την προπόνηση αποκλειστικά και μόνο του καθίσματος (Fonseca et al., 2014). Εάν πράγματι αυτός είναι λόγος στον οποίο οφείλονται αυτά τα ευρήματα τότε η ποικιλία στο ασκησιολόγιο είναι μία σημαντική μεταβλητή για την βελτίωση της μέγιστης δύναμης και η εκπαίδευση διαφορετικών ευρών τροχιάς είναι απλώς ένας τρόπος για αύξηση της ποικιλίας του ασκησιολογίου.

Τέλος, αυτές είναι 2 μελέτες με πολύ ιδιαίτερη μεθοδολογία και καμία από αυτές τις μελέτες δεν είχε ιδιαίτερα μεγάλα μεγέθη δειγμάτων. Ακόμα όσον αφορά τα οφέλη στην μέγιστη δύναμη για το πλήρες εύρος καμία από αυτές τις μελέτες δεν βρήκε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών προπονητικών προσεγγίσεων, με τα αποτελέσματα απλώς να δίνουν προβάδισμα στην προπόνηση με ποικιλία στο εύρος τροχιάς. Μελλοντικές μελέτες, ενδεχομένως να επιβεβαιώσουν ή διαψεύσουν τα συγκεκριμένα ευρήματα. Η ήδη γνωστή βιβλιογραφία δείχνει ότι η αποκλειστική προπόνηση σε μερικό εύρος τροχιάς (συγκεκριμένα προπόνηση μερικού εύρους τροχιάς σε μικρά μήκη μυών) οδηγεί σε μικρότερα οφέλη δύναμης στο πλήρες εύρος κίνησης. Παράλληλα, υποδηλώνει ότι ο συνδυασμός προπονήσεων με μερικό και πλήρες εύρος τροχιάς μπορεί να έχει ουδέτερο προς θετικό αποτέλεσμα στα οφέλη δύναμης στην 1ΜΕ που αφορούν το πλήρες εύρος τροχιάς καθώς και στην αθλητική απόδοση, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η ανασκόπηση των επιστημονικών δεδομένων που εξετάζουν την επίδραση της συστηματικής φόρτισης σε διαφορετικά βάθη καθίσματος όσον αφορά τις νευρομυϊκές, λειτουργικές και δομικές προσαρμογές κατά την εφαρμογή ενός προγράμματος ενδυνάμωσης. Αυτά τα ευρήματα μπορούν να συμβάλουν στον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων προπονητικών προγραμμάτων για την παραγωγή συγκεκριμένων προσαρμογών και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης σε αθλητές και ελεύθερους ασκούμενους.

Από την μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας όσον αφορά το εύρος τροχιάς ενός καθίσματος και τις προσαρμογές που προκύπτουν ύστερα από την συστηματική φόρτιση σε διαφορετικά βάθη καθίσματος παρατηρείται μια ποικιλία αποτελεσμάτων. Αρχικά, σε σχέση με τις δομικές προσαρμογές στο μυϊκό σύστημα φαίνεται ότι οι προσαρμογές στην αρχιτεκτονική των μυών διαφέρουν μετά από συστηματική φόρτιση σε διαφορετικά εύρη καθίσματος. Συγκεκριμένα, υπάρχουν διακριτές αλλαγές στο πάχος των μυών, στην εγκάρσια διατομή των μυών, στη γωνία πρόσφυσης και στο μήκος των μυϊκών δεματίων. Οι περισσότερες από τις μελέτες οι οποίες εξετάζουν το μήκος των μυϊκών δεματίων μετά από την σύγκριση προπονήσεων σε διαφορετικά μήκη καταλήγουν στο ότι η προπόνηση σε πλήρες εύρος κίνησης ή σε μεγαλύτερα μήκη αυξάνει το μήκος των μυϊκών δεματίων. Αυτή η προσαρμογή πιθανόν να σχετίζεται με το γεγονός πως οι μύες προσαρμόζουν τη δομή τους στο ερέθισμα προσθέτοντας ή αφαιρώντας σαρκομέρια, μια αλλαγή που εξαρτάται από διάφορες προπονητικές παραμέτρους με το εύρος τροχιάς ν' αποτελεί μία εξ αυτών (Goldspink 1985; Williams & Goldspink 1973). Ενδεχομένως λοιπόν αυτά τα απότέλεσματα να οφείλονται στο ότι οι μύες κατά την διάρκεια της προπονητικής παρέμβασης φορτίζονται σε μεγαλύτερα μήκη, σε σχέση με αυτά που απαιτούνται από τις καθημερινές δραστηριότητες (McMahon et al., 2014; Valamatos et al., 2018). Μελέτες έχουν αποδείξει πως οι αλλαγές στην αρχιτεκτονική των μυών συνδέονται και έχουν επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες του μυός (Timmins et al., 2016). Έτσι, μια μείωση του αριθμού των σαρκομερίων σε σειρά μεταβάλλει τη γωνία άρθρωσης όπου παράγεται η βέλτιστη ροπή, δηλαδή προκαλεί αλλοίωση της μηκοδυναμικής σχέσης του μυός (Davis et al., 2020; Lieber and Fridén 2000). Τα ευρήματα αυτών των μελετών πιθανόν να σχετίζονται έμμεσα με τα ευρήματα των μελετών οι οποίες εξετάζουν τις καμπύλες διακύμανσης της ροπής σε σχέση με την γωνία της άρθρωσης. Αναλύοντας αυτές τις μελέτες

μπορούμε να καταλήξουμε σε παρόμοια συμπεράσματα, καθώς αρκετές είναι οι έρευνες που απέδειξαν ότι η συστηματική μακροχρόνια προπόνηση σε συγκεκριμένο εύρος τροχιάς θα μπορούσε να επηρεάσει την διακύμανση της ροπής σε σχέση με την γωνία της άρθρωσης (Herzog et al., 1991; Graves et al., 1989; Bloomquist et al., 2013; Rousanoglou and Boudolos 2008). Μία τέτοια προσαρμογή θα μπορούσε να συμβάλει στη δημιουργία αποτελεσματικότερων προπονητικών προγραμμάτων για βελτίωση της δύναμης στις «αδύναμες» γωνιακές θέσεις της τροχιάς κίνησης, κάτι που θα μπορούσε ίσως να συμβάλει και στην πρόληψη τραυματισμών (Timmins et al., 2016).

Σύμφωνα με τις αλλαγές στην εγκάρσια διατομή και το πάχος των μυών, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η εκτέλεση καθίσματος σε μεγαλύτερο εύρος τροχιάς (τουλάχιστον 90° κάμψης γόνατος) έχει καλύτερα αποτελέσματα για τη μυϊκή υπερτροφία στους μυς των κάτω άκρων, και συγκεκριμένα στους γλουτιαίους, συγκριτικά με την προπόνηση μερικού εύρους σε μικρά μήκη μυός (ημικάθισμα). Τα αποτελέσματα αυτά υποστηρίζονται από την εργασία του **Caterisano και συνεργατών (2002)** η οποία κατέγραψε ελαφρώς υψηλότερη ενεργοποίηση στο γλουτιαίο μυ όταν εκτελούνται βαθιά σε σύγκριση με τα παράλληλα καθίσματα (παρόμοια ενεργοποίηση για τους υπόλοιπους μυς). Βέβαια πρέπει να επισημανθεί πως στις περισσότερες έρευνες δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ενεργοποίηση των μυών για τα διαφορετικά βάθη καθίσματος, ενώ υπήρχαν κάποιες μεταβλητές οι οποίες επηρέαζαν τα αποτελέσματα των ερευνών όπως το επίπεδο των ασκούμενων, το φύλο και το μέγεθος της επιπρόσθετης αντίστασης. Ωστόσο ένα γενικό ασφαλές συμπέρασμα φαίνεται να είναι πως τα άτομα με στόχους υπερτροφίας θα έχουν περισσότερα οφέλη με το να εφαρμόζουν την άσκηση στο μεγαλύτερο δυνατό εύρος τροχιάς το οποίο τους επιτρέπει ασφαλή και άνετη εκτέλεση. Για τα άτομα που έχουν ως στόχο τη βελτίωση σε κάποιο άθλημα ή την ενδυνάμωση σε κάποιο συγκεκριμένο εύρος τροχιάς ισχύει η αρχή της εξειδίκευσης.

Τα ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά ορισμένων ασκούμενων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη σχεδίαση αποτελεσματικότερων προγραμμάτων άσκησης με στόχο την αθλητική απόδοση. Για παράδειγμα το επίπεδο του ασκούμενου παίζει βασικό ρόλο. Αν κάποιος ασκούμενος είναι αρχάριος και ο πρωταρχικός του στόχος είναι να βελτιώσει την δύναμη του σε συγκεκριμένες αρθρικές γωνίες πιθανόν να επωφεληθεί περισσότερο εκτελώντας καθίσματα σε πλήρες εύρος τροχιάς για το μεγαλύτερο μέρος της προπονητικής διαδικασίας καθώς αυτή η προσέγγιση φαίνεται να οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα μυϊκής υπερτροφίας. Επίσης, εάν ο πρωταρχικός στόχος ενός ασκούμενου, ακόμα και όταν αυτός

βρίσκεται σε υψηλό επίπεδο, είναι να βελτιώσει τη δύναμή του σε όλο το εύρος κίνησης του καθίσματος, τότε ο σχεδιασμός μιας αποτελεσματικότερης παρέμβασης φαίνεται ότι πρέπει να περιλαμβάνει συνδυασμό μερικού και πλήρους εύρους τροχιάς καθίσματος.

Συμπερασματικά, με βάση την παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση, η προπόνηση σε πλήρες εύρος καθίσματος μπορεί να είναι μια καλή αρχική προσέγγιση, ωστόσο τα δεδομένα επίσης υποδηλώνουν ότι μια ποικιλία στο προπονητικό εύρος τροχιάς καθίσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με εξίσου καλά αποτελέσματα ανάλογα την περίπτωση και την στόχευση. Είναι βέβαιο πως απαιτούνται περισσότερες μελλοντικές έρευνες οι οποίες θα συγκρίνουν τις προσαρμογές που προκύπτουν από προπόνηση σε μερικό εύρος τροχιάς σε σύγκριση με την προπόνηση σε πλήρες εύρος (δηλαδή, σε διαφορετικά μήκη μυών). Για παράδειγμα, θα ήταν ενδιαφέρουσα μια μελέτη η οποία θα εξέταζε τις προσαρμογές στην μυϊκή αρχιτεκτονική μετά από προπόνηση σε μερικό εύρος τροχιάς καθίσματος σε μικρό μήκος μυών (π.χ. ημικάθισμα) και με μερικό εύρος τροχιάς καθίσματος σε μεγάλο μήκος μυών (90 -140° κάμψης γόνατος) σε σύγκριση με το πλήρες εύρος τροχιάς. Η επιλογή λοιπόν του βέλτιστου εύρους τροχιάς καθίσματος σχετίζεται άμεσα με τους προπονητικούς στόχους και για ορισμένες χρειάζεται περαιτέρω έρευνα για την εξαγωγή σαφών και καταληκτικών συμπερασμάτων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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. *The Journal of Physiology*, 534(Pt. 2), 613–623. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x>
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., & Zhou, S (2006). Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289–310. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x>
- Blazevich, A. J., & Giorgi, A (2001). Effect of testosterone administration and weight training on muscle architecture. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), 1688–1693. <https://doi.org/10.1097/00005768-200110000-00012>
- Bloomquist, K., Langberg, H., Karlens, S., Madsgaard, S., Boesen, M., & Raastad, T (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations.

- European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 2133–2142.
<https://doi.org/10.1007/s00421-013-2642-7>
- Brughelli, M., & Cronin, J (2007). Altering the length-tension relationship with eccentric exercise: Implications for performance and injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(9), 807–826. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737090-00004>
- Bryanton, M. A., Kennedy, M. D., Carey, J. P., & Chiu, L. Z. F (2012). Effect of squat depth and barbell load on relative muscular effort in squatting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2820–2828.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826791a7>
- Caterisano, A., Moss, R. F., Pellingier, T. K., Woodruff, K., Lewis, V. C., Booth, W., & Khadra, T (2002a). The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 428–432.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12173958/>
- Clark, D. R., Lambert, M. I., & Hunter, A. M (2012a). Muscle activation in the loaded free barbell squat: A brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(4), 1169. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822d533d>
- Contreras, B., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Beardsley, C., & Cronin, J (2016). A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyography amplitude in the parallel, full, and front squat variations in resistance-trained females. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(1), 16–22. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0113>
- Coratella, G., Tornatore, G., Caccavale, F., Longo, S., Esposito, F., & Cè, E (2021). The activation of gluteal, thigh, and lower back muscles in different squat variations performed by competitive bodybuilders: Implications for resistance training. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), E772.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18020772>
- Da Silva, J. J., Schoenfeld, B. J., Marchetti, P. N., Pecoraro, S. L., Greve, J. M. D., & Marchetti, P. H (2017). Muscle activation differs between partial and full back squat exercise with external load equated. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1688–1693. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001713>
- Davis, J. F., Khir, A. W., Barber, L., Reeves, N. D., Khan, T., DeLuca, M., & Mohagheghi, A. A (2020). The mechanisms of adaptation for muscle fascicle length changes with

- exercise: Implications for spastic muscle. *Medical Hypotheses*, 144, 110199. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110199>
- Demers, E., Pendeza, J., Radevich, V., & Preuss, R (2018). The Effect of stance width and anthropometrics on joint range of motion in the lower extremities during a back squat. *International Journal of Exercise Science*, 11(1), 764–775. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29997725/>
- D’Lima, D. D., Urquhart, A. G., Buehler, K. O., Walker, R. H., & Colwell, C. W (2000). The effect of the orientation of the acetabular and femoral components on the range of motion of the hip at different head-neck ratios. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 82(3), 315–321. <https://doi.org/10.2106/00004623-200003000-00003>
- Drinkwater, E. J., Moore, N. R., & Bird, S. P (2012a). Effects of changing from full range of motion to partial range of motion on squat kinetics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(4), 890. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248ad2e>
- Elson, R. A., & Aspinall, G. R (2008). Measurement of hip range of flexion-extension and straight-leg raising. *Clinical orthopaedics and related research*, 466(2), 281–286. <https://doi.org/10.1007/s11999-007-0073-7>
- Escamilla, R. F (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 127–141. <https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00020>
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Lowry, T. M., Barrentine, S. W., & Andrews, J. R (2001). A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 984–998. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106000-00019>
- 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 Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Fry, A. C., Smith, J. C., & Schilling, B. K (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 629–633. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0629:eokpoh>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0629:eokpoh>2.0.co;2)

- Goldspink, G (1985). Malleability of the motor system: A comparative approach. *The Journal of Experimental Biology*, 115, 375–391. <https://doi.org/10.1242/jeb.115.1.375>
- Gordon, A. M., Huxley, A. F., & Julian, F. J (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 184(1), 170–192. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1966.sp007909>
- Gorsuch, J., Long, J., Miller, K., Primeau, K., Rutledge, S., Sossong, A., & Durocher, J. J (2013). The effect of squat depth on multiarticular muscle activation in collegiate cross-country runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2619–2625. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828055d5>
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Jones, A. E., Colvin, A. B., & Leggett, S. H (1989). Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(1), 84–89. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2927306/>
- Hammond, B., Marques-Bruna, P., Chauhan, E., & Bridge, C (2016). Electromyographic activity in four superficial muscles of the thigh and hip during performance of the back squat to three different depths with relative loading. *Journal of Fitness Research*, 5(3), 57–67.
- 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. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(2), 109–114. <https://doi.org/10.1007/s004210050394>
- Ichinose, Y., Kawakami, Y., Ito, M., & Fukunaga, T (1997). Estimation of active force-length characteristics of human vastus lateralis muscle. *Acta Anatomica*, 159(2–3), 78–83. <https://doi.org/10.1159/000147969>
- Herzog, W., Guimaraes, A. C., Anton, M. G., & Carter-Erdman, K. A (1991). Moment-length relations of rectus femoris muscles of speed skaters/cyclists and runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(11), 1289–1296.
- Kawakami, Y., Abe, T., & Fukunaga, T (1993). Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 74(6), 2740–2744. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.6.2740>
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S. Y., & Fukunaga, T (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(1–2), 37–43. <https://doi.org/10.1007/BF00964112>

- Kim, S.-H., Kwon, O.-Y., Park, K.-N., Jeon, I.-C., & Weon, J.-H (2015). Lower extremity strength and the range of motion in relation to squat depth. *Journal of Human Kinetics*, 45, 59–69. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0007>
- Kim, S., Miller, M., Tallarico, A., Helder, S., Liu, Y., & Lee, S (2021). Relationships between physical characteristics and biomechanics of lower extremity during the squat. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 19(4), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2021.09.002>
- Knapik, J. J., Wright, J. E., Mawdsley, R. H., & Braun, J (1983). Isometric, isotonic, and isokinetic torque variations in four muscle groups through a range of joint motion. *Physical Therapy*, 63(6), 938–947. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.6.938>
- Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *European Journal of Applied Physiology*, 119(9), 1933–1942. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04181-y>
- Laborie, L. B., Lehmann, T. G., Engesæter, I. Ø., Sera, F., Engesæter, L. B., & Rosendahl, K (2014). The alpha angle in cam-type femoroacetabular impingement: New reference intervals based on 2038 healthy young adults. *The Bone & Joint Journal*, 96(4), 449–454. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.96B4.32194>
- Lamontagne, M., Kennedy, M. J., & Beaulé, P. E (2009). The effect of cam FAI on hip and pelvic motion during maximum squat. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 467(3), 645–650. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0620-x>
- Lieber, R. L., & Fridén, J (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve*, 23(11), 1647–1666. [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)
- Lieber, R. L., Roberts, T. J., Blemker, S. S., Lee, S. S. M., & Herzog, W (2017). Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0318-y>
- Lorenzetti, S., Ostermann, M., Zeidler, F., Zimmer, P., Jentsch, L., List, R., Taylor, W. R., & Schellenberg, F (2018). How to squat? Effects of various stance widths, foot placement angles and level of experience on knee, hip and trunk motion and loading. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 10(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s13102-018-0103-7>

- MacIntosh, B. R (2017). Recent developments in understanding the length dependence of contractile response of skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 117(6), 1059–1071. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3591-3>
- Marchetti, P. H., Jarbas da Silva, J., Jon Schoenfeld, B., Nardi, P. S. M., Pecoraro, S. L., D'Andréa Greve, J. M., & Hartigan, E (2016). Muscle activation differs between three different knee joint-angle positions during a maximal isometric back squat exercise. *Journal of Sports Medicine*, 2016, 3846123. <https://doi.org/10.1155/2016/3846123>
- McKean, M., & Burkett, B (2013). Does segment length influence the hip, knee and ankle coordination during the squat movement? *Journal of Fitness Research* 1(1),23-30. <https://www.semanticscholar.org/paper/Does-Segment-Length-Influence-the-Hip%2C-Knee-and-the-McKean-Burkett/be5b802b9fb184291943e6074d2f9443a8829fba>
- McMahon, G. E., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L (2014). Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 245–255. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318297143a>
- Morrison, J. B (1970). The mechanics of muscle function in locomotion. *Journal of Biomechanics*, 3(4), 431–451. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(70\)90016-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(70)90016-3)
- Myer, G. D., Kushner, A. M., Brent, J. L., Schoenfeld, B. J., Hugentobler, J., Lloyd, R. S., Vermeil, A., Chu, D. A., Harbin, J., & McGill, S. M (2014). The back squat: A proposed assessment of functional deficits and technical factors that limit performance. *Strength & Conditioning Journal*, 36(6), 4. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000103>
- Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *European Journal of Sport Science*, 20(1), 115–124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>
- Pedrosa, G. F., Lima, F. V., Schoenfeld, B. J., Lacerda, L. T., Simões, M. G., Pereira, M. R., Diniz, R. C. R., & Chagas, M. H (2022). Partial range of motion training elicits favorable improvements in muscular adaptations when carried out at long muscle lengths. *European Journal of Sport Science*, 22(8), 1250–1260. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1927199>

- Pereira, G. R., Leporace, G., Chagas, D. das V., Furtado, L. F. L., Praxedes, J., & Batista, L. A (2010). Influence of hip external rotation on hip adductor and rectus femoris myoelectric activity during a dynamic parallel squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2749. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c6a139>
- Pick, J., & Becque, M. D (2000). The relationship between training status and intensity on muscle activation and relative submaximal lifting capacity during the back squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(2), 175–181.
- Rhea, M. R., Kenn, J. G., Peterson, M. D., Massey, D., Simão, R., Marin, P. J., Favero, M., Cardozo, D., & Krein, D (2018). Joint-angle specific strength adaptations influence improvements in power in highly trained athletes. *Human Movement*, 17(1), 43–49. <https://doi.org/10.1515/humo-2016-0006>
- Rousanoglou, E. N., & Boudolos, K. D (2008). Angle specificity of the knee extensor age-related profile in young female athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 29(01), 66–69. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964851>
- Rutherford, O. M., & Jones, D. A (1992). Measurement of fibre pennation using ultrasound in the human quadriceps in vivo. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 65(5), 433–437. <https://doi.org/10.1007/BF00243510>
- Schoenfeld, B. J (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3497–3506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bac2d7>
- Schoenfeld, B., & Williams, M (2012). Are deep squats a safe and viable exercise? *Strength & Conditioning Journal*, 34(2), 34. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31824695a3>
- Senter, C., & Hame, S. L (2006). Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle: Implications for understanding knee injury. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(8), 635–641. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636080-00001>
- Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., & Opar, D. A (2016). Architectural adaptations of muscle to training and injury: A narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1467–1472. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094881>

- Ullrich, B., & Brueggemann, G. P (2008). Moment-knee angle relation in well trained athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 29(8), 639–645. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989322>
- Vakos, J. P., Nitz, A. J., Threlkeld, A. J., Shapiro, R., & Horn, T (1994). Electromyographic activity of selected trunk and hip muscles during a squat lift. Effect of varying the lumbar posture. *Spine*, 19(6), 687–695. <https://doi.org/10.1097/00007632-199403001-00008>
- Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R., Veloso, A., & Mil-Homens, P (2018). Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3932-x>
- Walker, S., Trezise, J., Haff, G. G., Newton, R. U., Häkkinen, K., & Blazevich, A. J (2020). Increased fascicle length but not patellar tendon stiffness after accentuated eccentric-load strength training in already-trained men. *European Journal of Applied Physiology*, 120(11), 2371–2382. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04462-x>
- Williams, P. E., & Goldspink, G (1973). The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibres. *Journal of Anatomy*, 116(1), 45–55.
- Zalawadia, D. A., Ruparelia, D. S., Shah, D. S., Parekh, D. D., Patel, D. S., Rathod, D. S. P., & Patel, D. S. V (2010). Study of femoral neck anteversion of adult dry femora in gujarat region: Study of femoral neck anteversion. *National Journal of Integrated Research in Medicine*, 1(3). <http://nicpd.ac.in/ojs-/index.php/njirm/article/view/1871>