



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

Επιθεώρηση Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης
12: 9-25, 2026

Reviews in Biochemistry and Physiology of Exercise
12: 9-25, 2026

Σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών του δικεφάλου βραχιονίου και της μέγιστης μυϊκής δύναμης σε νεαρούς άνδρες με εμπειρία στην προπόνηση αντιστάσεων

Βερβερής Π.^{1*}, Γιαννακόπουλος Κ. Χ.², Παπαδήμας Γ.³ & Τερζής Γ.¹

- ¹ Εργαστήριο Αθλητικής Απόδοσης, Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα
- ² Τομέας Αθλητιατρικής και Βιολογίας της Άσκησης, Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα
- ³ Νευρολογική Κλινική, Αιγινήτειο Νοσοκομείο, Ιατρική Σχολή Αθηνών, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα

Περίληψη: Η προπόνηση αντιστάσεων αποτελεί μία από τις πλέον μελετημένες μορφές άσκησης λόγω της τεκμηριωμένης επίδρασής της στη μυϊκή μάζα και δύναμη. Η μυϊκή δύναμη επηρεάζεται από πολλούς μορφολογικούς και νευρομυϊκούς παράγοντες, ωστόσο η σχέση της με τον εκτιμώμενο συνολικό αριθμό των μυϊκών ινών (TFN) δεν έχει αποσαφηνιστεί. Σκοπός της μελέτης ήταν να εξεταστεί η σχέση μεταξύ του TFN του δικεφάλου βραχιονίου και της μέγιστης ισομετρικής και δυναμικής δύναμης σε γυμνασμένους νεαρούς άνδρες. Συμμετείχαν 15 υγιείς άνδρες (ηλικία: $23,1 \pm 4,0$ έτη, ανάστημα: $1,79 \pm 0,06$ m, σωματική μάζα: $82,8 \pm 6,2$ kg, εμπειρία στην προπόνηση αντιστάσεων: $5,7 \pm 2,3$ έτη). Η μέγιστη ισομετρική δύναμη αξιολογήθηκε με φορητό δυναμόμετρο χειρός και η δυναμική δύναμη με δοκιμασία μίας μέγιστης επανάληψης (1MAE) στην κάμψη αγκώνα. Ο TFN υπολογίστηκε συνδυάζοντας τη μέση εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών από μυϊκές βιοψίες με την εγκάρσια επιφάνεια του δικεφάλου βραχιονίου από αξονική τομογραφία. Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση κατά Spearman μεταξύ του TFN και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης ($p = -0,045$, $p = 0,874$), ή της 1MAE ($p = 0,016$, $p = 0,955$). Στην ιεραρχική γραμμική παλινδρόμηση, η προσθήκη του TFN μετά την εγκάρσια διατομή του μυός δεν αύξησε στατιστικά σημαντικά την ερμηνευμένη διακύμανση της ισομετρικής δύναμης ($\Delta R^2 = 0,115$, $p = 0,226$) ή της 1MAE ($\Delta R^2 = 0,074$, $p = 0,331$). Συμπερασματικά, δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ του TFN και της μέγιστης δύναμης. Τα ευρήματα δεν αποκλείουν την ύπαρξη μικρότερων ή μέτριων σχέσεων, οι οποίες θα πρέπει να διερευνηθούν σε μεγαλύτερα δείγματα.

Σύντομο ερευνητικό άρθρο

Διεύθυνση επικοινωνίας:

* Βερβερής Πέτρος,

pververis@phed.uoa.gr

Copyright: © Βερβερής Π.,
Γιαννακόπουλος Χ.,
Παπαδήμας Γ. & Τερζής Γ.,
2026

Ελληνική Εταιρεία Βιοχημείας και
Φυσιολογίας της Άσκησης

Λέξεις κλειδιά: προπόνηση αντιστάσεων, μυϊκή βιοψία, ισομετρική δύναμη, μία μέγιστη επανάληψη.

Association Between Estimated Total Fiber Number of the Biceps Brachii and Maximal Muscle Strength in Resistance-Trained Young Men

Ververis P.^{1*}, Yiannakopoulos K. C.², Papadimas G.³, & Terzis G.¹

¹ Laboratory of Sport Performance, Department of Physical Education and Sport Science, School of Physical Education and Sport Science, National and Kapodistrian, University of Athens, Athens, Greece

² Department of Sports Medicine & Exercise Biology, School of Physical Education and Sport Science, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

³ Department of Neurology, Eginition Hospital, Athens Medical School, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

Abstract: Resistance training is one of the most extensively studied forms of exercise because of its well-established effects on muscle mass and strength. Muscle strength is influenced by multiple morphological and neuromuscular factors; however, its relationship with estimated total muscle fiber number (TFN) remains unclear. The purpose of this study was to examine the relationship between TFN of the biceps brachii and maximal isometric strength as well as one-repetition maximum (1RM) strength in resistance-trained young men. 15 healthy men participated in the study (age: 23.1 ± 4.0 years, height: 1.79 ± 0.06 m, body mass: 82.8 ± 6.2 kg, resistance-training experience: 5.7 ± 2.3 years). Maximal isometric strength was assessed using a handheld dynamometer, whereas maximal dynamic strength was assessed using one-repetition maximum (1RM) elbow-flexion test. TFN was calculated by combining mean muscle fiber cross-sectional area obtained from muscle biopsies with biceps cross-sectional area measured by computed tomography. Spearman correlation analysis showed no statistically significant association between TFN and maximal isometric strength ($p = -0.045$, $p = 0.874$) or 1RM strength ($p = 0.016$, $p = 0.955$). In hierarchical linear regression, adding estimated total fiber number after biceps brachii cross-sectional area did not significantly increase the explained variance in isometric strength ($\Delta R^2 = 0.115$, $p = 0.226$) or 1RM strength ($\Delta R^2 = 0.074$, $p = 0.331$). In conclusion, no statistically significant relationship was identified between estimated total fiber number and maximal muscle strength. These findings do not exclude the possibility of smaller or moderate associations, which should be investigated in larger samples.

Keywords: resistance training; muscle biopsy; isometric strength; one-repetition maximum.

1. Εισαγωγή

Η προπόνηση με αντιστάσεις αποτελεί μία από τις αποτελεσματικότερες παρεμβάσεις για την αύξηση της μυϊκής μάζας και της μυϊκής δύναμης (16,24,25,29). Ωστόσο, οι προσαρμογές στους σκελετικούς μύες εμφανίζουν σημαντική διατομική μεταβλητότητα, ακόμη και όταν τα άτομα ακολουθούν παρόμοια προπονητικά πρωτόκολλα υπό ελεγχόμενες συνθήκες (8,17). Οι διαφορές αυτές υποδηλώνουν ότι η ανταπόκριση στην προπόνηση επηρεάζεται όχι μόνο από το προπονητικό ερέθισμα, αλλά και από μορφολογικούς και βιολογικούς παράγοντες που διαφέρουν μεταξύ των ατόμων (1,5,18,27,35).

Η αύξηση της μυϊκής μάζας αποδίδεται είτε στην αύξηση της εγκάρσιας διατομής του σκελετικού μυός μέσω της αύξησης της εγκάρσιας διατομής των ήδη υπάρχουσών μυϊκών ινών (13,16,29,31), είτε από αύξηση του συνολικού αριθμού τους (μυϊκή υπερπλασία) (3). Ενώ η υπερτροφία αποτελεί καθιερωμένο μηχανισμό προσαρμογής στην προπόνηση με αντιστάσεις (29,31), η πιθανότητα μυϊκής υπερπλασίας έχει αποτελέσει αντικείμενο επιστημονικής συζήτησης, με τα περισσότερα σχετικά δεδομένα να προέρχονται από ζωικά μοντέλα (6,32,33).

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορους σκελετικούς μύες έχουν δείξει ότι η μυϊκή δύναμη επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η νευρομυϊκή ενεργοποίηση, η αρχιτεκτονική του μυός, η σύσταση των μυϊκών ινών και η συνολική εγκάρσια διατομή του μυός (7,15,20,36). Ωστόσο, ο πιθανός ρόλος του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών ως μορφολογικού χαρακτηριστικού που ενδέχεται να σχετίζεται με τη μυϊκή δύναμη δεν έχει αποσαφηνιστεί.

Τα διαθέσιμα δεδομένα από ανθρώπινους σκελετικούς μύες υποστηρίζουν ότι, μετά την ολοκλήρωση της ανάπτυξης, η αύξηση της μυϊκής μάζας αποδίδεται κυρίως στην υπερτροφία των ήδη υπάρχουσών μυϊκών ινών (6,16,22). Αντίθετα, εάν είναι δυνατή η δημιουργία νέων μυϊκών ινών ως προσαρμογή στην προπόνηση, τότε η συνολική εγκάρσια μυϊκή διατομή θα μπορούσε να αυξηθεί πέρα από τα όρια που επιβάλλει η υπερτροφία των ήδη υπάρχουσών ινών, επηρεάζοντας σημαντικά τη μέγιστη παραγωγή δύναμης και τη μακροχρόνια προσαρμογή στην άσκηση (3).

Η υπόθεση αυτή αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι οι μυϊκές ίνες ιδιαίτερα προπονημένων αθλητών εμφανίζουν πολύ μεγάλες τιμές εγκάρσιας διατομής, ενώ μεμονωμένες ίνες μπορούν να φθάσουν ακόμη και τα 20.000 μm^2 (23). Η παρατήρηση αυτή έχει οδηγήσει στην υπόθεση ότι η περαιτέρω αύξηση της μυϊκής μάζας σε εξαιρετικά προπονημένα άτομα ενδέχεται να απαιτεί μηχανισμούς διαφορετικούς από την αποκλειστική υπερτροφία των ήδη υπάρχουσών μυϊκών ινών (3,19).

Η διερεύνηση του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών στον άνθρωπο έχει περιοριστεί κυρίως από την απουσία αξιόπιστων και μη επεμβατικών μεθόδων άμεσης καταμέτρησης. Οι πρώτες πληροφορίες προήλθαν από ανατομικές και ιστολογικές αναλύσεις ολόκληρων μυών σε πτωματικά δείγματα, οι οποίες επέτρεψαν την άμεση καταμέτρηση των μυϊκών ινών και την περιγραφή της κατανομής τους (21). Ωστόσο, η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ζώντες ανθρώπους και, κατά συνέπεια, δεν επιτρέπει τη μελέτη των προσαρμογών που προκαλούνται από την άσκηση.

Σε μελέτη που αφορούσε στον δικεφάλο βραχιόνιο η εκτίμηση του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών (22) πραγματοποιήθηκε έμμεσα από τον λόγο της μέσης εγκάρσιας διατομής των μυϊκών ινών (ιστολογικά δείγματα) και της συνολικής εγκάρσιας διατομής του μυός (αξονική ή μαγνητική τομογραφία). Παρότι η μέθοδος αυτή δεν παρέχει άμεση καταμέτρηση, αποτελεί την πλέον εφαρμόσιμη προσέγγιση για τη μελέτη του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών σε ζώντες ανθρώπους.

Τα περισσότερα δεδομένα αφορούν στην κατανομή των μυϊκών ινών ή την ποσοστιαία συνεισφορά τους στη συνολική εγκάρσια διατομή του μυός και κατά συνέπεια στη μορφολογία. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών και της μέγιστης μυϊκής δύναμης δεν έχει αποσαφηνιστεί, περιορίζοντας την κατανόηση της πιθανής συμβολής του στη μυϊκή λειτουργία και στις ατομικές διαφορές της απόδοσης. Με βάση τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών του δικεφάλου βραχιονίου και της μέγιστης ισομετρικής και δυναμικής δύναμης, σε γυμνασμένους νεαρούς άνδρες. Βασική υπόθεση αποτέλεσε το ότι άτομα με μεγαλύτερο εκτιμώμενο συνολικό αριθμό μυϊκών ινών στον δικεφαλο βραχιόνιο θα παρουσίαζαν υψηλότερες τιμές ισομετρικής και δυναμικής δύναμης.

2. Μεθοδολογία

2.1 Πειραματικός σχεδιασμός

Η παρούσα μελέτη είχε συγχρονικό (cross-sectional) σχεδιασμό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Αθλητικής Απόδοσης του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και σε ιδιωτικές κλινικές των Αθηνών, σε τέσσερις επισκέψεις. Κατά την πρώτη επίσκεψη, πραγματοποιήθηκαν οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις, η υπερηχογραφική αξιολόγηση της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου καθώς και η αξιολόγηση της μέγιστης δυναμικής δύναμης (1MAE) και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης σε κάμψη αγκώνα 90°. Κατά τη δεύτερη επίσκεψη, μετά από μία εβδομάδα, πραγματοποιήθηκε η λήψη μυϊκής βιοψίας. Πέντε εβδομάδες μετά, κατά την τρίτη επίσκεψη, πραγματοποιήθηκε επαναληπτική αξιολόγηση της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου, για έλεγχο πιθανών μεταβολών στη μορφολογία του μυός κατά το χρονικό διάστημα μεταξύ της αρχικής αξιολόγησης και της αξονικής τομογραφίας. Τέλος, η απεικονιστική αξιολόγηση του δικεφάλου βραχιονίου με αξονική τομογραφία πραγματοποιήθηκε κατά την τέταρτη επίσκεψη, δύο μέρες μετά.

2.2 Συμμετέχοντες

Στη μελέτη συμπεριλήφθηκαν δεκαπέντε υγιείς άνδρες με εμπειρία στην προπόνηση αντιστάσεων (ηλικία: $23,1 \pm 4,0$ έτη, ανάστημα: $1,79 \pm 0,06$ m, σωματική μάζα: $82,8 \pm 6,2$ kg, προπονητική εμπειρία: $5,7 \pm 2,3$ έτη). Κριτήρια αποκλεισμού αποτέλεσαν το ιστορικό νευρομυϊκών, μεταβολικών ή μυοσκελετικών παθήσεων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη μυϊκή μορφολογία ή δύναμη, η λήψη φαρμακευτικής αγωγής ή εργογόνων ουσιών που επηρεάζουν τη μυϊκή λειτουργία, πρόσφατος τραυματισμός ή χειρουργική επέμβαση στα άνω άκρα και η αδυναμία ολοκλήρωσης όλων των πειραματικών διαδικασιών.

Η μελέτη εγκρίθηκε από την αρμόδια Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας της ΣΕΦΑΑ του Ε.Κ.Π.Α. με αριθμό πρωτοκόλλου έγκρισης: 1900/19-11-2025. Όλοι οι συμμετέχοντες υπέγραψαν έντυπο ενημερωμένης συγκατάθεσης, σύμφωνα με τις αρχές της Διακήρυξης του Ελσίνκι και έλαβαν οδηγίες να απέχουν από έντονη άσκηση στα άνω άκρα για τουλάχιστον 48 ώρες πριν από κάθε εργαστηριακή αξιολόγηση.

2.3 Ανθρωπομετρήσεις

Για την αξιολόγηση της σωματικής μάζας χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας (Tanita BC-545N, Tokyo, Japan). Για την αξιολόγηση του αναστήματος των συμμετεχόντων χρησιμοποιήθηκε αναστημόμετρο ακριβείας 1 mm (Seca 213, Surrey, UK). Οι συμμετέχοντες μετρήθηκαν χωρίς υποδήματα, σε όρθια ανατομική θέση, με τα άνω άκρα χαλαρά στο πλάι του σώματος, τους ώμους σε ουδέτερη θέση, την πλάτη ευθυγραμμισμένη και το βλέμμα στραμμένο ευθεία μπροστά.

2.3 Υπερηχογραφία

Η υπερηχογραφική αξιολόγηση του δικεφάλου βραχιονίου πραγματοποιήθηκε κατά την αρχική μέτρηση και επαναλήφθηκε περίπου πέντε εβδομάδες αργότερα, πριν από την αξονική τομογραφία, στο ίδιο ανατομικό επίπεδο και με την ίδια διαδικασία.

Η εγκάρσια μυϊκή διατομή αξιολογήθηκε με υπερηχογραφία υψηλής ευκρίνειας σε λειτουργία Logic View, χρησιμοποιώντας υπερηχογράφο LOGIQ S9 (General Electric) με γραμμικό ηχοβολέα ML6-15 MHz. Το βάθος απεικόνισης ρυθμίστηκε μεταξύ 5,0 και 7,0 cm, η ενίσχυση ρυθμίστηκε ώστε να επιτυγχάνεται σαφής διαφοροποίηση των ανατομικών ορίων του μυός και το δυναμικό εύρος διατηρήθηκε μεταξύ 60 και 80 dB.

Η λήψη πραγματοποιήθηκε στο 66% της απόστασης μεταξύ ακρωμίου και ωλέκranου, με τον συμμετέχοντα σε ύπτια θέση, τον ώμο σε ελαφρά απαγωγή (~30°) και τον μυ σε πλήρη χαλάρωση. Ο ηχοβολέας μετακινούνταν αργά και σταθερά από έσω προς τα έξω για τη δημιουργία ενιαίας πανοραμικής εικόνας. Κάθε εικόνα αναλύθηκε δύο φορές από τον ίδιο ερευνητή σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των δύο μετρήσεων. Η επαναληψιμότητα αξιολογήθηκε με τον ενδοταξικό συντελεστή συσχέτισης (ICC(A,2): 0,994 και 0,996 κατά την πρώτη και τη δεύτερη αξιολόγηση, αντίστοιχα).

2.4 Αξιολόγηση μέγιστης ισομετρικής δύναμης καμπτήρων αγκώνων

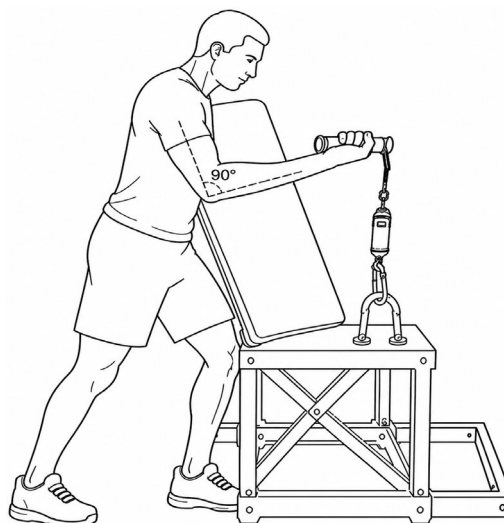
Η αξιολόγηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης των καμπτήρων του αγκώνα πραγματοποιήθηκε με φορητό ασύρματο δυναμόμετρο DynaMo (VALD Performance, Brisbane, Australia), με συχνότητα δειγματοληψίας 225 Hz. Η δύναμη καταγραφόταν σε Newton (N) μέσω του συνοδευτικού λογισμικού της συσκευής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε ειδικά κατασκευασμένο σύστημα στήριξης τύπου preacher curl, το οποίο επέτρεπε τη σταθεροποίηση του εξεταζόμενου άνω άκρου και της θέσης του σώματος κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Ο συμμετέχων τοποθετούνταν σε όρθια θέση πίσω από το σύστημα, με τον βραχίονα του κυρίαρχου άνω άκρου να εφάπτεται στη σταθερή επιφάνεια στήριξης, από τον ώμο έως τον αγκώνα. Ο αγκώνας διατηρούνταν σε κάμψη 90° και ο πήχης σε ύπτια θέση, ενώ ο θώρακας παρέμενε σε επαφή με το πρόσθιο στήριγμα καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας.

Η θέση των κάτω άκρων τυποποιήθηκε με το ένα πόδι να τοποθετείται ελαφρώς εμπρός και το άλλο προς τα πίσω, με ήπια κάμψη των γονάτων. Η λεκάνη και ο κορμός διατηρούνταν σε ουδέτερη θέση, χωρίς στροφή ή πλάγια κλίση, ενώ η κεφαλή παρέμενε σε ουδέτερη θέση με το βλέμμα προς τα εμπρός.

Ο συμμετέχων κρατούσε με το εξεταζόμενο χέρι ειδική χειρολαβή, η οποία ήταν συνδεδεμένη με το δυναμόμετρο μέσω μεταλλικού κρίκου. Το δυναμόμετρο ήταν προσαρμοσμένο σε ειδική μεταλλική μπάρα, ισχυρά προσδεμένη σε σταθερό σημείο του συστήματος, ώστε να αποφεύγονται μετακινήσεις ή μηχανικές ταλαντώσεις κατά την εφαρμογή δύναμης (Σχήμα 1).

Δεν πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή συνεδρία εξοικείωσης με τη διαδικασία αξιολόγησης. Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν δύο μέγιστες εκούσιες ισομετρικές συσπάσεις διάρκειας 5 s, με διάλειμμα 60–90 s μεταξύ των προσπαθειών. Ως τελική τιμή χρησιμοποιήθηκε η μεγαλύτερη καταγεγραμμένη τιμή δύναμης (9). Η αξιοπιστία μεταξύ των δύο προσπαθειών αξιολογήθηκε με τον ενδοταξικό συντελεστή συσχέτισης απόλυτης συμφωνίας [ICC(A,1) = 0,609 95% ΔΕ: 0,184–0,847].



Σχήμα 1. Δοκιμασία αξιολόγησης της μέγιστης ισομετρικής δύναμης των καμπτήρων του αγκώνα.

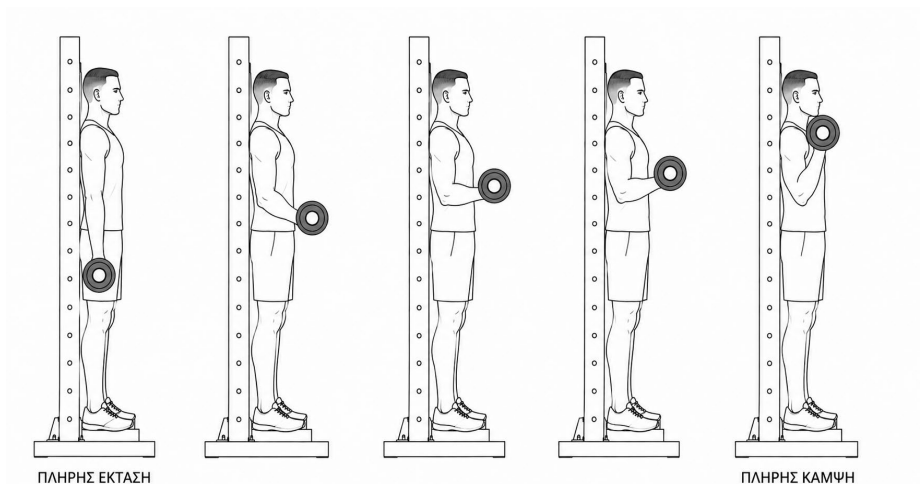
2.5 Αξιολόγηση της μέγιστης δυναμικής δύναμης καμπτήρων αγκώνα (1MAE)

Η μέγιστη δυναμική δύναμη των καμπτήρων του αγκώνα αξιολογήθηκε μέσω της δοκιμασίας μίας μέγιστης επανάληψης (1MAE) στην άσκηση κάμψης αγκώνα με αλτήρα, στο κυρίαρχο άνω άκρο, 30 λεπτά μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης της μέγιστης ισομετρικής δύναμης. Δεν πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή συνεδρία εξοικείωσης με τη δοκιμασία.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας ο βραχίονας σταθεροποιούνταν σε κατακόρυφη επιφάνεια ώστε να περιορίζονται οι κινήσεις της άρθρωσης του ώμου και η συμμετοχή άλλων μυϊκών ομάδων. Η κίνηση εκτελούνταν από πλήρη έκταση του αγκώνα (0°) έως πλήρη κάμψη. Το πρωτόκολλο αξιολόγησης βασίστηκε σε καθιερωμένες διαδικασίες αξιολόγησης της μέγιστης δυναμικής δύναμης (4,14).

Πριν από τη δοκιμασία πραγματοποιήθηκε γενική προθέρμανση διάρκειας πέντε λεπτών σε κυκλοεργόμετρο, ακολουθούμενη από ειδική προθέρμανση των άνω άκρων με κάμψεις αγκώνα χαμηλού φορτίου. Στη συνέχεια, κάθε συμμετέχων ανέφερε το φορτίο που συνήθως χρησιμοποιούσε στην προσωπική του προπόνηση για την άσκηση κάμψης αγκώνα με αλτήρα από όρθια θέση, για περίπου δέκα επαναλήψεις. Με βάση το δηλωθέν φορτίο και λαμβάνοντας υπόψη ότι ο βαθμός δυσκολίας της άσκησης αυξανόταν όταν ο βραχίονας ακινητοποιούνταν σε σταθερή επιφάνεια, ζητήθηκε από τον συμμετέχοντα να εκτελέσει 8-10 επαναλήψεις με φορτίο μειωμένο κατά 10-15% σε σχέση με το αρχικά δηλωθέν. Ακολούθησε προοδευτική αύξηση του εξωτερικού φορτίου μέχρι τον προσδιορισμό της 1MAE. Για την εφαρμογή του φορτίου χρησιμοποιήθηκε βιδωτός αλτήρας μεταβλητού φορτίου και δίσκοι βάρους $\frac{1}{2}$, 1, $2\frac{1}{2}$, 5 και 10 κιλών. Επιπρόσθετα, στον υπολογισμό του συνολικού φορτίου συνυπολογίστηκε και το βάρος των βιδωτών ασφαλειών του αλτήρα (150 gr η καθεμία). Για την επιβεβαίωση του ακριβούς συνολικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας, ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια της τιμής της μίας μέγιστης επανάληψης. Η μία μέγιστη επανάληψη (1MAE) ορίστηκε ως το μέγιστο φορτίο που ο συμμετέχων μπορούσε να ανυψώσει επιτυχώς μία μόνο φορά, εκτελώντας την κίνηση σε ολόκληρο το εύρος κίνησης του αγκώνα, από πλήρη έκταση (0°) έως πλήρη κάμψη χωρίς αντισταθμιστικές κινήσεις του κορμού ή απομάκρυνση του βραχίονα από το σταθερό σημείο στήριξης (Σχήμα 2). Μεταξύ των προσπαθειών μεσολαβούσε

διάλειμμα 2–3 min, ενώ όλες οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν υπό συνεχή επίβλεψη και λεκτική παρακίνηση (14).



Σχήμα 2. Δοκιμασία αξιολόγησης της μέγιστης δυναμικής δύναμης (1ΜΑΕ) των καμπτήρων του αγκώνα.

2.6 Λήψη μυϊκών βιοψιών και ιστοχημική ανάλυση

Η λήψη των μυϊκών βιοψιών πραγματοποιήθηκε από τον δικεφάλο βραχιόνιο του κυρίαρχου άνω άκρου με τη μέθοδο Bergström. Μετά από απολύμανση της περιοχής και τοπική αναισθησία, πραγματοποιήθηκε μικρή δερματική τομή μέσω της οποίας εισήχθη βελόνα Bergström διαμέτρου 5 mm. Η συλλογή του μυϊκού ιστού πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή αρνητικής πίεσης, ενώ όπου κρίθηκε απαραίτητο πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές λήψεις μέσω της ίδιας τομής με μικρές μεταβολές της κατεύθυνσης της βελόνας. Τα δείγματα προσανατολίστηκαν ώστε οι μυϊκές ίνες να είναι κάθετες στο επίπεδο τομής, καταψύχθηκαν σε ισοπεντάνιο ψυχόμενο με υγρό άζωτο και αποθηκεύτηκαν στους -80°C μέχρι την ιστολογική επεξεργασία (12,34).

Από κάθε δείγμα παρασκευάστηκαν εγκάρσιες τομές πάχους 10 μm σε κρουτόμο (Leica CM3050 S, Leica Microsystems, Germany) στους -20°C . Η ταξινόμηση των μυϊκών ινών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της μυοϊνδιακής ΑΤΡάσης, χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα προεπάσης στα pH 4,3, 4,6 και 9,4 σύμφωνα με καθιερωμένες ιστοχημικές μεθόδους (34).

2.7 Αξονική τομογραφία

Η εκτίμηση της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου μύος πραγματοποιήθηκε με αξονική τομογραφία υψηλής ευκρίνειας. Για την απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε το πολυτομικό σύστημα CT Biograph Trinion EP CT64 (Siemens Healthineers, Erlangen, Germany). Η σάρωση περιλάμβανε εγκάρσιες τομές της περιοχής του βραχίονα, με πάχος τομής 0,5–1 mm. Η τάση λυχνίας κυμάνθηκε μεταξύ 120 και 130 kVp, ενώ η ένταση του ρεύματος προσαρμοζόταν αυτόματα σύμφωνα με το εκάστοτε πρωτόκολλο σάρωσης και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου. Η ανακατασκευή πραγματοποιήθηκε με αλγορίθμους ανακατασκευής κατάλληλους για τη μορφομετρική αξιολόγηση των μαλακών ιστών.

Για τη διασφάλιση ανατομικής αντιστοίχισης μεταξύ μυϊκής βιοψίας και αξονικής τομογραφίας, χρησιμοποιήθηκε δερματική σήμανση με ευθύγραμμο δείκτη, του οποίου το ένα άκρο τοποθετήθηκε στο επίπεδο της ουλής της βιοψίας και παράλληλα προς τον επιμήκη άξονα του βραχιονίου, ώστε να αποτελέσει σταθερό σημείο αναφοράς. Με βάση το σημείο αυτό πραγματοποιήθηκε πλοήγηση κατά μήκος των διαθέσιμων εγκάρσιων τομών, με βήμα ίσο με το πάχος της τομής (0,5 ή 1,0 mm, ανάλογα με το πρωτόκολλο) έως τον εντοπισμό της εγκάρσιας τομής που αντιστοιχούσε ακριβέστερα το επίπεδο λήψης της

μυϊκής βιοψίας. Στην τομή αυτή πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου (10).

2.9 Ανάλυση εικόνων ιστολογικών τομών

Οι ιστολογικές τομές απεικονίστηκαν με ορθό μικροσκόπιο Zeiss Axioplan 2 (Carl Zeiss Microscopy, Germany) εξοπλισμένο με ψηφιακή κάμερα QImaging Retiga R3 (QImaging, Canada), σε μεγέθυνση $\times 4$, και αποθηκεύτηκαν σε μορφή TIFF χωρίς απώλειες συμπίεσης. Η μορφομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA), μετά από βαθμονόμηση με μικρομετρικό πρότυπο στη μεγέθυνση $\times 4$. Πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη τμηματοποίηση και ταξινόμηση των μυϊκών ινών βάσει της ιστοχημικής χρώσης. Προσδιορίστηκαν η μέση εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών τύπου I και τύπου II, η ποσοστιαία συμμετοχή κάθε τύπου και η σταθμισμένη μέση εγκάρσια διατομή που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών. Στην ανάλυση συμπεριλήφθηκαν μόνο μυϊκές ίνες με σαφή μορφολογικά όρια, ομοιογενή χρώση και χωρίς εμφανείς αλλοιώσεις ή παραμορφώσεις. Όπου ήταν εφικτό αναλύθηκαν περισσότερες από 150 μυϊκές ίνες ανά δείγμα, ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων (34).

2.10 Ανάλυση εικόνων υπερηχογραφίας και αξονικής τομογραφίας

Η μορφομετρική ανάλυση των εικόνων υπερηχογραφίας και αξονικής τομογραφίας πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό MicroDicom, χρησιμοποιώντας τα πρωτογενή αρχεία Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). Η χωρική βαθμονόμηση των εικόνων πραγματοποιήθηκε αυτόματα μέσω των ενσωματωμένων μεταδεδομένων (pixel spacing), ενώ η οριοθέτηση του δικεφάλου βραχιονίου πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα μετά από κατάλληλη ρύθμιση φωτεινότητας και αντίθεσης (window/level), ώστε να επιτευχθεί σαφής διαχωρισμός του μυϊκού ιστού από τους παρακείμενους ιστούς. Η εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου υπολογίστηκε σε mm^2 .

2.11 Εκτίμηση του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών

Ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός των μυϊκών ινών του δικεφάλου βραχιονίου υπολογίστηκε συνδυάζοντας τη μέση εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών που προέκυψε από την ιστολογική ανάλυση με την εγκάρσια διατομή του μυός που μετρήθηκε με αξονική τομογραφία στο επίπεδο λήψης της μυϊκής βιοψίας. Η εκτίμηση πραγματοποιήθηκε διαιρώντας τη συνολική εγκάρσια διατομή του μυός με τη σταθμισμένη μέση εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών (22).

2.12 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό R (έκδοση 4.4.1, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Οι συνεχείς μεταβλητές παρουσιάζονται ως μέση τιμή $\pm$ τυπική απόκλιση. Η κανονικότητα των δεδομένων αξιολογήθηκε με τη δοκιμασία Shapiro–Wilk. Η σύγκριση της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου μεταξύ των δύο υπερηχογραφικών αξιολογήσεων πραγματοποιήθηκε με δοκιμασία t για εξαρτημένα δείγματα. Οι συσχετίσεις μεταξύ των μορφολογικών μεταβλητών και των δεικτών μυϊκής δύναμης εξετάστηκαν με τους συντελεστές συσχέτισης Pearson ή Spearman, ανάλογα με την κατανομή των δεδομένων και αναφέρθηκαν με 95% διαστήματα εμπιστοσύνης. Η πρόσθετη συμβολή του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών στη μυϊκή δύναμη εξετάστηκε με ιεραρχική γραμμική παλινδρόμηση. Στο πρώτο μοντέλο εισήχθη η εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου από την αξονική τομογραφία και στο δεύτερο προστέθηκε ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός μυϊκών ινών. Οι παραδοχές των μοντέλων

ελέγχθηκαν με δοκιμασίες κανονικότητας των υπολοίπων, της ομοσκεδαστικότητας, της ανεξαρτησίας των σφαλμάτων και της πολυσυγγραμμικότητας, ενώ το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε σε $p < 0,05$.

3. Αποτελέσματα

Τα περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων, καθώς και οι μορφολογικές και λειτουργικές μεταβλητές που αξιολογήθηκαν στη μελέτη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

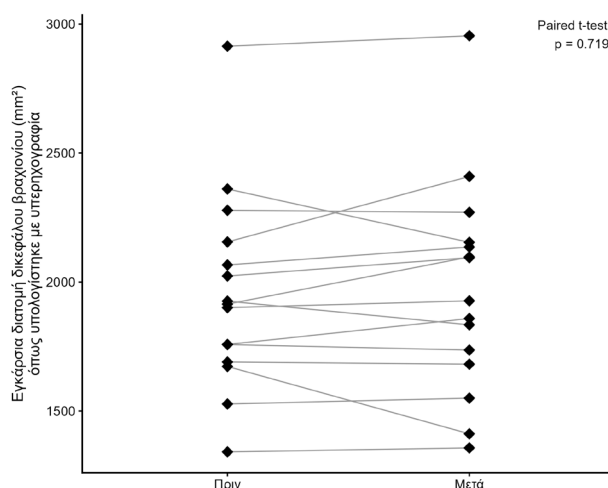
Πίνακας 1. Περιγραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων

Μεταβλητή	n	Μέση τιμή $\pm$ TA
Ηλικία (έτη)	15	23,1 $\pm$ 4,0
Ανάστημα (m)	15	1,79 $\pm$ 0,06
Σωματική μάζα (kg)	15	82,8 $\pm$ 6,2
Προπονητική εμπειρία (έτη)	15	5,7 $\pm$ 2,3
CSA - CT (mm ²)	15	1875,9 $\pm$ 477,9
CSA - US (πριν) (mm ²)	15	1952,5 $\pm$ 381,5
CSA - US (μετά) (mm ²)	15	1964,8 $\pm$ 412,3
Εκτιμώμενος TFN ($\times 10^3$ ίνες)	15	282,6 $\pm$ 84,2
fCSA σύνολο ινών (μm ²)	15	7112,6 $\pm$ 2342,0
fCSA τύπου I (μm ²)	15	5606,7 $\pm$ 1514,1
fCSA τύπου II (μm ²)	15	8206,0 $\pm$ 2889,9
Μυϊκές ίνες τύπου I (%)	15	41,1 $\pm$ 8,7
Μυϊκές ίνες τύπου II (%)	15	58,9 $\pm$ 8,7
fCSA τύπου I (%)	15	41,3 $\pm$ 3,4
fCSA τύπου II (%)	15	58,7 $\pm$ 3,4
ISO (N)	15	336,5 $\pm$ 45,1
1MAE (N)	15	200,5 $\pm$ 24,8

Συντομογραφίες: TA = τυπική απόκλιση· CSA = εγκάρσια μυϊκή διατομή· CT = αξονική τομογραφία· US = υπερηχογραφία· TFN = συνολικός αριθμός μυϊκών ινών· fCSA = εγκάρσια διατομή μυϊκών ινών· ISO = μέγιστη ισομετρική δύναμη· 1MAE = μία μέγιστη επανάληψη.

Για την αξιολόγηση της σταθερότητας της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου κατά το χρονικό διάστημα των πέντε εβδομάδων μεταξύ της αρχικής και της τελικής αξιολόγησης, συγκρίθηκαν οι υπερηχογραφικές μετρήσεις των δύο χρονικών σημείων. Η εγκάρσια διατομή ήταν 1952,47 $\pm$ 381,53 mm² κατά την αρχική και 1964,83 $\pm$ 412,28 mm² κατά την τελική αξιολόγηση, με μέση μεταβολή 12,36 mm². Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή της εγκάρσιας διατομής του μυός κατά το διάστημα των πέντε εβδομάδων ($t = 0,367$, $p = 0,719$). Οι ατομικές μεταβολές μεταξύ των δύο χρονικών σημείων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.

Στη συνέχεια, εξετάστηκαν οι σχέσεις μεταξύ των μορφολογικών χαρακτηριστικών του δικεφάλου βραχιονίου και των δύο δεικτών μέγιστης μυϊκής δύναμης. Η κανονικότητα των μεταβλητών αξιολογήθηκε με τη δοκιμασία Shapiro–Wilk. Για τις μεταβλητές που δεν ακολουθούσαν κανονική κατανομή χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης κατά Spearman, ενώ για τις υπόλοιπες ο συντελεστής συσχέτισης Pearson. Οι συσχετίσεις μεταξύ των μορφολογικών μεταβλητών και των δύο δεικτών μυϊκής δύναμης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.



Σχήμα 3. Ατομικές μεταβολές της εγκάρσιας διατομής του δικεφάλου βραχιονίου όπως αξιολογήθηκε με υπερηχογραφία μεταξύ της αρχικής και της τελικής φάσης.

Πίνακας 2. Συσχετίσεις μορφολογικών χαρακτηριστικών του δικεφάλου βραχιονίου με τη μυϊκή δύναμη.

μεταβλητές	n	r/ρ	95% ΔΕ	p
CSA - CT (mm ²)	15	0,194	[-0,197 0,555]	0,488
CSA - US (πριν) (mm ²)	15	0,277	[-0,132 0,659]	0,318
fCSA σύνολο ινών (μm ²)	15	0,293	[-0,223 0,706]	0,290
fCSA τύπου I (μm ²)	15	0,354	[-0,176 0,736]	0,195
ISO fCSA τύπου II (μm ²)	15	0,388	[-0,146 0,761]	0,153
(N) Μυϊκές ίνες τύπου I (%)	15	0,725	[0,303 0,909]	0,002
Μυϊκές ίνες τύπου II (%)	15	-0,725	[-0,909 -0,303]	0,002
fCSA τύπου I (%)	15	-0,301	[-0,695 0,280]	0,276
fCSA τύπου II (%)	15	0,301	[-0,280 0,695]	0,276
Εκτιμώμενος TFN (×10 ³)	15	-0,045†	[-0,624 0,543]	0,874
CSA - CT (mm ²)	15	0,251	[-0,090 0,577]	0,366
CSA - US (πριν) (mm ²)	15	0,283	[-0,095 0,629]	0,307
fCSA σύνολο ινών (μm ²)	15	0,239	[-0,393 0,723]	0,392
fCSA τύπου I (μm ²)	15	0,294	[-0,313 0,739]	0,287
1MAE fCSA τύπου II (μm ²)	15	0,287	[-0,364 0,764]	0,299
(N) Μυϊκές ίνες τύπου I (%)	15	0,647	[0,285 0,868]	0,009
Μυϊκές ίνες τύπου II (%)	15	-0,647	[-0,868 -0,285]	0,009
fCSA τύπου I (%)	15	-0,284	[-0,779 0,588]	0,304
fCSA τύπου II (%)	15	0,284	[-0,588 0,779]	0,304
Εκτιμώμενος TFN (×10 ³)	15	0,016†	[-0,511 0,596]	0,955

Συντομογραφίες: CT = αξονική τομογραφία· US = υπερηχογραφία· CSA = εγκάρσια μυϊκή διατομή· fCSA = εγκάρσια διατομή μυϊκών ινών· TFN = συνολικός αριθμός μυϊκών ινών· ISO = μέγιστη ισομετρική δύναμη· 1MAE = μία μέγιστη επανάληψη· ΔΕ = διάστημα εμπιστοσύνης· r = συντελεστής συσχέτισης Pearson· ρ = συντελεστής συσχέτισης Spearman. † Συσχέτιση κατά Spearman. Οι υπόλοιπες συσχέτισεις υπολογίστηκαν με τον συντελεστή Pearson.

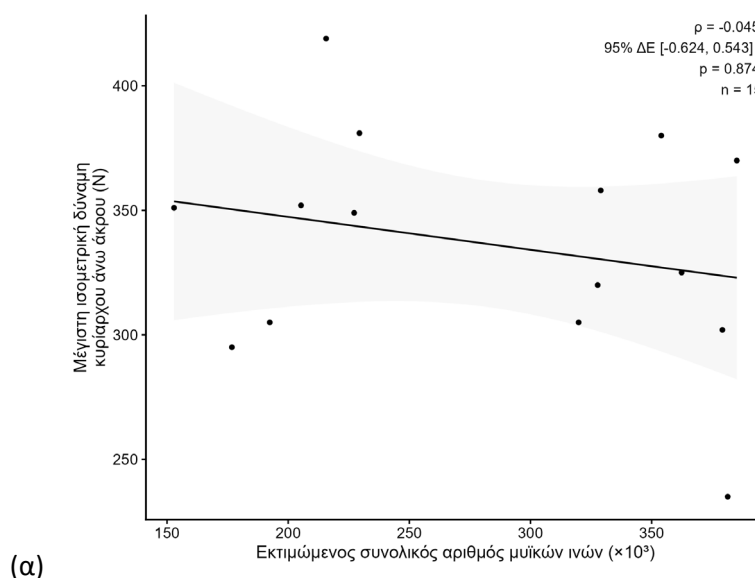
Δεδομένου ότι ο εκτιμώμενος αριθμός μυϊκών ινών δεν ακολουθούσε κανονική κατανομή (Shapiro–Wilk, $p = 0,047$), η σχέση του με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη και τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης αξιολογήθηκε με τον συντελεστή συσχέτισης κατά Spearman.

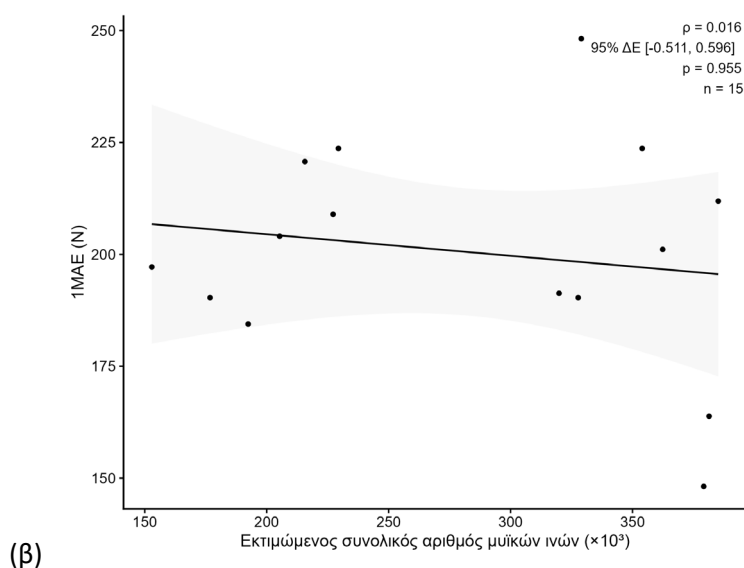
Ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός μυϊκών ινών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ούτε με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ($\rho = -0,045$, $p = 0,874$), ούτε με τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης ($\rho = 0,016$, $p = 0,955$).

Ούτε η εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου όπως μετρήθηκε στον υπέρηχο κατά την αρχική αξιολόγηση, ούτε η εγκάρσια διατομή του μυός που μετρήθηκε με αξονική τομογραφία παρουσίασαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με κάποια από τις δύο δοκιμασίες δύναμης ($p > 0,05$). Ομοίως, η μέση εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών, τόσο συνολικά όσο και ανά τύπο μυϊκής ίνας, καθώς και η σχετική εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου I και II, δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ή τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης ($p > 0,05$).

Το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου I παρουσίασε ισχυρή θετική συσχέτιση με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ($r = 0,725$, $p = 0,002$) και τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης ($r = 0,647$, $p = 0,009$). Αντίστοιχα, το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου II παρουσίασε ισχυρή αρνητική συσχέτιση με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ($r = -0,725$, $p = 0,002$) και τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης ($r = -0,647$, $p = 0,009$).

Ωστόσο, η σχετική εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου I δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ($r = -0,301$, $p = 0,276$) ή τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης ($r = -0,284$, $p = 0,304$). Αντίστοιχα, η σχετική εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου II δεν συσχετίστηκε στατιστικά σημαντικά με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ($r = 0,301$, $p = 0,276$) ή τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης ($r = 0,284$, $p = 0,304$). Οι σχέσεις του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών με τις δύο δοκιμασίες δύναμης απεικονίζονται στα Σχήματα 4(α) και 4(β).





Σχήμα 4. Σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών ($\times 10^3$ ίνες) και (α) της μέγιστης ισομετρικής δύναμης (N) και (β) της δύναμης μίας μέγιστης επανάληψης (N). Η γραμμή απεικονίζει τη γραμμική τάση των δεδομένων και η σκιασμένη περιοχή το αντίστοιχο 95% διάστημα εμπιστοσύνης. Η στατιστική συσχέτιση αξιολογήθηκε με τον συντελεστή Spearman.

Η συμβολή του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών στην πρόβλεψη της μυϊκής δύναμης εξετάστηκε με ιεραρχική γραμμική παλινδρόμηση, με την εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου, όπως υπολογίστηκε με αξονική τομογραφία, να εισάγεται στο πρώτο μοντέλο και τον εκτιμώμενο συνολικό αριθμό μυϊκών ινών να προστίθεται στο δεύτερο μοντέλο. Για τη μέγιστη ισομετρική δύναμη, η εγκάρσια διατομή στο πρώτο μοντέλο δεν αποτέλεσε στατιστικά σημαντικό προβλεπτικό παράγοντα ($\beta = 0,194$, $p = 0,488$), ενώ το μοντέλο εξηγούσε το 3,8% της διακύμανσης ($R^2 = 0,038$, $p = 0,488$). Με την προσθήκη του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών, το R^2 αυξήθηκε σε 0,153 ($\Delta R^2 = 0,115$), χωρίς η αύξηση αυτή να είναι στατιστικά σημαντική ($p = 0,226$). Στο τελικό μοντέλο, ούτε η εγκάρσια διατομή ($\beta = 0,325$, $p = 0,276$) ούτε ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός μυϊκών ινών ($B = -0,195$, $\beta = -0,363$, 95% ΔΕ $[-0,527, 0,138]$, $p = 0,226$) αποτέλεσαν στατιστικά σημαντικούς προβλεπτικούς παράγοντες της μέγιστης ισομετρικής δύναμης.

Αντίστοιχα, για τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης, η εγκάρσια διατομή στο πρώτο μοντέλο δεν αποτέλεσε στατιστικά σημαντικό προβλεπτικό παράγοντα ($\beta = 0,251$, $p = 0,366$), ενώ το μοντέλο εξηγούσε το 6,3% της διακύμανσης ($R^2 = 0,063$, $p = 0,366$). Με την προσθήκη του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών, το R^2 αυξήθηκε σε 0,137 ($\Delta R^2 = 0,074$), χωρίς η αύξηση αυτή να είναι στατιστικά σημαντική ($p = 0,331$). Στο τελικό μοντέλο, ούτε η εγκάρσια διατομή ($\beta = 0,356$, $p = 0,239$) ούτε ο εκτιμώμενος συνολικός αριθμός μυϊκών ινών ($B = -0,086$, $\beta = -0,291$, 95% ΔΕ $[-0,271, 0,099]$, $p = 0,331$) αποτέλεσαν στατιστικά σημαντικούς προβλεπτικούς παράγοντες της δύναμης μίας μέγιστης επανάληψης.

Δεν διαπιστώθηκε πρόβλημα πολυσυγγραμμικότητας μεταξύ της εγκάρσιας διατομής και του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών ($VIF = 1.149$). Επιπλέον, οι έλεγχοι των καταλοίπων δεν έδειξαν παραβίαση των παραδοχών της κανονικότητας, της ομοσκεδαστικότητας και της ανεξαρτησίας των σφαλμάτων ($p > 0,05$).

Οι συντελεστές των μοντέλων ιεραρχικής γραμμικής παλινδρόμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3Α, ενώ η σύνοψη των μοντέλων και η μεταβολή

του συντελεστή προσδιορισμού (ΔR^2) μετά την προσθήκη του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3B.

Πίνακας 3A. Συντελεστές των μοντέλων ιεραρχικής γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και της δύναμης μίας μέγιστης επανάληψης.

	Μοντέλο	n	B	SE	β	95% ΔΕ	t	p
ISO	CSA	15	CSA	0,018	0,026	0,194 [-0,037 0,074]	0,714	0,488
	CSA + TFN	15	CSA	0,031	0,027	0,325 [-0,028 0,089]	1,141	0,276
	CSA + TFN	15	TFN	-0,195	0,153	-0,363 [-0,527 0,138]	-1,275	0,226
1MAE	CSA	15	CSA	0,013	0,014	0,251 [-0,017 0,043]	0,937	0,366
	CSA + TFN	15	CSA	0,019	0,015	0,356 [-0,014 0,051]	1,240	0,239
	CSA + TFN	15	TFN	-0,086	0,085	-0,291 [-0,271 0,099]	-1,014	0,331

Συντομογραφίες: ISO = μέγιστη ισομετρική δύναμη· 1MAE = μία μέγιστη επανάληψη· CSA = εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου· TFN = εκτιμώμενος συνολικός αριθμός μυϊκών ινών· B = μη τυποποιημένος συντελεστής παλινδρόμησης· SE = τυπικό σφάλμα· β = τυποποιημένος συντελεστής παλινδρόμησης· ΔΕ = διάστημα εμπιστοσύνης.

Πίνακας 3B. Σύνοψη των μοντέλων ιεραρχικής γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και της δύναμης μίας μέγιστης επανάληψης.

	Μοντέλο	n	R ²	Adj. R ²	ΔR^2	p μεταβολής	p μοντέλου
ISO	CSA	15	0,038	-0,036	—	—	0,488
	CSA + TFN	15	0,153	0,011	0,115	0,226	0,370
1MAE	CSA	15	0,063	-0,009	—	—	0,366
	CSA + TFN	15	0,137	-0,007	0,074	0,331	0,413

Συντομογραφίες: ISO = μέγιστη ισομετρική δύναμη· 1MAE = μία μέγιστη επανάληψη· CSA = εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου· TFN = εκτιμώμενος συνολικός αριθμός μυϊκών ινών· R² = συντελεστής προσδιορισμού· Adj.R² = προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού· ΔR^2 = μεταβολή του συντελεστή προσδιορισμού· p μεταβολής = στατιστική σημαντικότητα της μεταβολής του R²· p μοντέλου = στατιστική σημαντικότητα του συνολικού μοντέλου.

4. Συζήτηση – Συμπέρασμα

Η παρούσα μελέτη διερεύνησε τη σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών του δικεφάλου βραχιονίου και της μέγιστης μυϊκής δύναμης σε γυμνασμένους νεαρούς άνδρες και αποτελεί την πρώτη μελέτη λήψης βιοψίας με βελόνα από τον δικεφάλο βραχιόνιο στην Ελλάδα.

Σύμφωνα με την αρχική μας υπόθεση, τα άτομα με μεγαλύτερο εκτιμώμενο αριθμό μυϊκών ινών θα παρουσίαζαν υψηλότερες τιμές μέγιστης ισομετρικής δύναμης και δύναμης μίας μέγιστης επανάληψης. Ωστόσο, στα δεδομένα της παρούσας μελέτης δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών και καμίας από τις δύο παραμέτρους δύναμης. Επιπλέον, κατά την ιεραρχική γραμμική παλινδρόμηση, η προσθήκη του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού

μυϊκών ινών μετά την εγκάρσια διατομή του δικεφάλου βραχιονίου δεν προσέφερε στατιστικά σημαντική πρόσθετη προγνωστική ικανότητα ούτε για τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ούτε για τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης.

Η διερεύνηση του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών στον άνθρωπο έχει πραγματοποιηθεί με διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις και σε διαφορετικούς μύες. Προηγούμενες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην καταμέτρηση ή εκτίμηση του αριθμού των μυϊκών ινών σε πτωματικά δείγματα (21), καθώς και στην ανάπτυξη έμμεσων μεθόδων εκτίμησής του σε ζώντες ανθρώπους (22). Οι μελέτες αυτές δεν αφορούσαν μόνο τον δικεφαλό βραχιόνιο και δεν είχαν ως κύριο ερευνητικό ερώτημα τη σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών του συγκεκριμένου μυός και της μέγιστης μυϊκής δύναμης. Ως εκ τούτου, η άμεση σύγκριση των ευρημάτων τους με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι περιορισμένη.

Η απουσία σημαντικής σχέσης μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών και της μυϊκής δύναμης δεν τεκμηριώνει την απουσία βιολογικής σχέσης. Αντίθετα, υποδηλώνει ότι, στο συγκεκριμένο δείγμα, δεν προέκυψαν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίζουν μια σαφή σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Η ερμηνεία αυτή είναι συμβατή με την πολυπαραγοντική φύση της ανθρώπινης μυϊκής δύναμης, η οποία διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση μορφολογικών, μηχανικών και νευρομυϊκών παραγόντων. Η συνολική εγκάρσια διατομή του μυός (4,15), η αρχιτεκτονική του (2,36), η γωνία πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων (20), η ποιότητα του μυϊκού ιστού (8,11), καθώς και η ικανότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων (32) αποτελούν παράγοντες που μπορούν να συμβάλουν στην παραγωγή δύναμης (19).

Το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου I παρουσίασε θετική συσχέτιση με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη και τη δύναμη μίας μέγιστης επανάληψης, ενώ το ποσοστό των ινών τύπου II παρουσίασε αντίστοιχες αρνητικές συσχετίσεις. Οι αντίθετες κατευθύνσεις των συσχετίσεων πρέπει να ερμηνεύονται λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ποσοστά των δύο τύπων ινών είναι συμπληρωματικά, με αποτέλεσμα η αύξηση του ποσοστού του ενός τύπου να συνεπάγεται αντίστοιχη μείωση του άλλου. Παράλληλα, τα ευρήματα αυτά πρέπει να εξετάζονται σε συνδυασμό με τις μορφολογικές διαστάσεις των επιμέρους τύπων ινών και όχι ως ένδειξη ότι ένας συγκεκριμένος τύπος ίνας καθορίζει ανεξάρτητα τη μέγιστη δύναμη.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δεν θα πρέπει να ερμηνευθούν ως ένδειξη ότι ο συνολικός αριθμός των μυϊκών ινών στερείται βιολογικής ή λειτουργικής σημασίας. Η απουσία στατιστικά σημαντικών συσχετίσεων στο συγκεκριμένο δείγμα δεν αποκλείει την ύπαρξη μικρότερων ή μέτριων σχέσεων, οι οποίες ενδέχεται να μην ήταν δυνατό να ανιχνευθούν με την παρούσα μελέτη. Η πιθανή συμβολή του αριθμού των μυϊκών ινών στη μυϊκή μορφολογία, στη δύναμη ή στην προσαρμογή στην προπόνηση αντιστάσεων απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση σε μεγαλύτερα δείγματα και διαφορετικούς πληθυσμούς.

Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Πρώτον, ο συνολικός αριθμός των μυϊκών ινών εκτιμήθηκε έμμεσα, συνδυάζοντας ιστολογικά δεδομένα από μυϊκή βιοψία με την εγκάρσια διατομή του μυός από αξονική τομογραφία. Η ενδομυϊκή ετερογένεια και η τοπική δειγματοληψία ενδέχεται να επηρεάζουν την αντιπροσωπευτικότητα του ιστολογικού δείγματος. Επιπλέον, η εγκάρσια διατομή από την αξονική τομογραφία περιλαμβάνει και μη συσταλτά στοιχεία, ενώ μία μεμονωμένη εγκάρσια τομή παρέχει τοπική και όχι συνολική αποτύπωση της μυϊκής μορφολογίας (22). Η αρχιτεκτονική του δικεφάλου βραχιονίου και το μήκος των μυϊκών δεματίων πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτίμηση του συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών από μία εγκάρσια τομή (26). Τέλος, πιθανές μεταβολές της εγκάρσιας διατομής των ινών κατά την κατάψυξη και την ιστολογική επεξεργασία μπορούν να

μεταφερθούν ως συστηματικό σφάλμα στην εκτίμηση του συνολικού αριθμού τους (30). Δεύτερον, το σχετικά μικρό μέγεθος του δείγματος ($n = 15$) περιορίζει τη δυνατότητα ανίχνευσης μικρών ή μέτριων συσχετίσεων και, συνεπώς, τα μη στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα δεν τεκμηριώνουν απουσία σχέσης. Τρίτον, οι δοκιμασίες δύναμης και η αξονική τομογραφία πραγματοποιήθηκαν με χρονική απόσταση περίπου πέντε εβδομάδων, χωρίς τυποποίηση της προπόνησης στο μεσοδιάστημα. Ωστόσο, οι επαναλαμβανόμενες υπερηχογραφικές μετρήσεις δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική μεταβολή της εγκάρσιας διατομής κατά το διάστημα αυτό. Τέταρτον, δεν πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή συνεδρία εξοκείωσης με τις δοκιμασίες δύναμης και η αξιοπιστία μεταξύ των δύο ισομετρικών προσπαθειών ήταν περιορισμένη. Η ισομετρική δοκιμασία προηγήθηκε της 1MAE με 30 min ανάπαυσης, χωρίς να μπορεί να αποκλειστεί πλήρως πιθανή επίδραση υπολειπόμενης κόπωσης. Τέλος, η συμμετοχή αποκλειστικά υγιών, γυμνασμένων νεαρών ανδρών περιορίζει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε άλλους πληθυσμούς.

Συμπερασματικά, στο συγκεκριμένο δείγμα δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού των μυϊκών ινών του δικεφάλου βραχιονίου και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης ή της δύναμης μίας μέγιστης επανάληψης. Επιπλέον, μετά τον έλεγχο για την εγκάρσια διατομή του μυός, η προσθήκη του εκτιμώμενου συνολικού αριθμού μυϊκών ινών δεν προσέφερε στατιστικά σημαντική πρόσθετη προγνωστική ικανότητα για καμία από τις δύο παραμέτρους δύναμης. Λόγω του μικρού μεγέθους του δείγματος και της αβεβαιότητας των εκτιμήσεων, τα ευρήματα αυτά δεν αποκλείουν την ύπαρξη μικρότερων ή μέτριων σχέσεων. Απαιτούνται μελέτες με μεγαλύτερα δείγματα και διαχρονικό ή παρεμβατικό σχεδιασμό για την ακριβέστερη διερεύνηση του λειτουργικού ρόλου του αριθμού και της μορφολογίας των μυϊκών ινών στην ανθρώπινη μυϊκή δύναμη και στην προσαρμογή στην προπόνηση αντιστάσεων.

5. Βιβλιογραφικές αναφορές

1. Ahtiainen JP, Walker S, Peltonen H, Holviala J, Sillanpää E, Karavirta L, Sallinen J, Mikkola J, Valkeinen H, Mero A, Hulmi JJ, Häkkinen K. Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age (Dordr)*. 2016 Feb;38(1):10. doi: 10.1007/s11357-015-9870-1. Epub 2016 Jan 15. PMID: 26767377; PMCID: PMC5005877.
2. Andersen JL, Aagaard P. Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve*. 2000 Jul;23(7):1095-104. doi: 10.1002/1097-4598(200007)23:7<1095::aid-mus13>3.0.co;2-o. PMID: 10883005.
3. Antonio J, Gonyea WJ. Skeletal muscle fiber hyperplasia. *Med Sci Sports Exerc*. 1993 Dec;25(12):1333-45. PMID: 8107539.
4. Baechle TR, Earle RW. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008.
5. Bamman MM, Petrella JK, Kim JS, Mayhew DL, Cross JM. Cluster analysis tests the importance of myogenic gene expression during myofiber hypertrophy in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2007 Jun;102(6):2232-9. doi: 10.1152/jappphysiol.00024.2007. Epub 2007 Mar 29. PMID: 17395765.
6. Barton NV, Gowda HN, Dankel SJ. A systematic review and meta-analysis examining if hyperplasia occurs in humans in response to resistance exercise. *J Sports Med Phys Fitness*. 2026 Feb;66(2):251-257. doi: 10.23736/S0022-4707.25.17206-X. Epub 2025 Nov 27. PMID: 41307564.
7. 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* (1985). 2005 Sep;99(3):986-94. doi: 10.1152/jappphysiol.01305.2004. Epub 2005 Apr 28. Erratum in: *J Appl Physiol*. 2005 Dec;99(6):2477. PMID: 15860680.
8. Bouchard C, Rankinen T. Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Jun;33(6 Suppl):S446-51; discussion S452-3. doi: 10.1097/00005768-200106001-00013. PMID: 11427769.

9. Brookshaw M, Sexton A, McGibbon CA. Reliability and Validity of a Novel Wearable Device for Measuring Elbow Strength. *Sensors (Basel)*. 2020 Jun 17;20(12):3412. doi: 10.3390/s20123412. PMID: 32560409; PMCID: PMC7349842.
10. Bulcke JA, Termote JL, Palmers Y, Crolla D. Computed tomography of the human skeletal muscular system. *Neuroradiology*. 1979 Mar 23;17(3):127-36. doi: 10.1007/BF00339869. PMID: 450236.
11. Butler RJ, Crowell HP 3rd, Davis IM. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin Biomech (Bristol)*. 2003 Jul;18(6):511-7. doi: 10.1016/s0268-0033(03)00071-8. PMID: 12828900.
12. Dubowitz V, Sewry CA, Oldfors A. *Muscle Biopsy: A Practical Approach*. 5th ed. Philadelphia, PA: Elsevier, 2020.
13. Gezer HT, Sözen H, Aslan A, Altaş H, Küçan O. The effect of myofibril and sarcoplasmic hypertrophy training on muscle hypertrophy and strength. *Sport Sci Health*. 2025;21:3483–3494.
14. Haff GG, Triplett NT, editors. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2016.
15. Häkkinen K, Keskinen KL. Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1989;59(3):215-20. doi: 10.1007/BF02386190. PMID: 2583165.
16. Haun CT, Vann CG, Osburn SC, Mumford PW, Roberson PA, Romero MA, Fox CD, Johnson CA, Parry HA, Kavazis AN, Moon JR, Badisa VLD, Mwashote BM, Ibeanusi V, Young KC, Roberts MD. Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *PLoS One*. 2019 Jun 5;14(6):e0215267. doi: 10.1371/journal.pone.0215267. PMID: 31166954; PMCID: PMC6550381.
17. Hubal MJ, Gordish-Dressman H, Thompson PD, Price TB, Hoffman EP, Angelopoulos TJ, Gordon PM, Moyna NM, Pescatello LS, Visich PS, Zoeller RF, Seip RL, Clarkson PM. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. 2005 Jun;37(6):964-72. PMID: 15947721.
18. Joannis S, Lim C, McKendry J, Mcleod JC, Stokes T, Phillips SM. Recent advances in understanding resistance exercise training-induced skeletal muscle hypertrophy in humans. *F1000Res*. 2020 Feb 24;9:F1000 Faculty Rev-141. doi: 10.12688/f1000research.21588.1. PMID: 32148775; PMCID: PMC7043134. Htav 42
19. Jorgenson KW, Phillips SM, Hornberger TA. Identifying the Structural Adaptations that Drive the Mechanical Load-Induced Growth of Skeletal Muscle: A Scoping Review. *Cells*. 2020 Jul 9;9(7):1658. doi: 10.3390/cells9071658. PMID: 32660165; PMCID: PMC7408414.
20. Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;72(1-2):37-43. doi: 10.1007/BF00964112. PMID: 8789568.
21. Lexell J, Taylor CC, Sjöström M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci*. 1988 Apr;84(2-3):275-94. doi: 10.1016/0022-510x(88)90132-3. PMID: 3379447.
22. MacDougall JD, Sale DG, Alway SE, Sutton JR. Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1984 Nov;57(5):1399-403. doi: 10.1152/jappl.1984.57.5.1399. PMID: 6520032.
23. Maeo S, Balshaw TG, März B, Zhou Z, Haug B, Martin NRW, Maffulli N, Folland JP. Long-Term Resistance Trained Human Muscles Have More Fibers, More Myofibrils, and Tighter Myofilament Packing Than Untrained. *Med Sci Sports Exerc*. 2024 Oct 1;56(10):1906-1915. doi: 10.1249/MSS.0000000000003495. Epub 2024 Jun 19. PMID: 38875487; PMCID: PMC11419278.
24. Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, Bellamy L, Parise G, Baker SK, Phillips SM. Muscular and systemic correlates of resistance training-induced muscle hypertrophy. *PLoS One*. 2013 Oct 9;8(10):e78636. doi: 10.1371/journal.pone.0078636. PMID: 24130904; PMCID: PMC3793973.
25. Mobley CB, Haun CT, Roberson PA, Mumford PW, Romero MA, Kephart WC, Anderson RG, Vann CG, Osburn SC, Pledge CD, Martin JS, Young KC, Goodlett MD, Pascoe DD, Lockwood CM, Roberts MD. Effects of Whey, Soy or Leucine Supplementation with 12 Weeks of Resistance Training on Strength, Body Composition, and Skeletal Muscle and Adipose Tissue Histological

- Attributes in College-Aged Males. *Nutrients*. 2017 Sep 4;9(9):972. doi: 10.3390/nu9090972. PMID: 28869573; PMCID: PMC5622732.
26. Nelson CM, Dewald JPA, Murray WM. In vivo measurements of biceps brachii and triceps brachii fascicle lengths using extended field-of-view ultrasound. *J Biomech*. 2016 Jun 14;49(9):1948-1952. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.03.040. Epub 2016 Apr 1. PMID: 27083062; PMCID: PMC4885783.
27. Petrella JK, Kim JS, Mayhew DL, Cross JM, Bamman MM. Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. *J Appl Physiol* (1985). 2008 Jun;104(6):1736-42. doi: 10.1152/jappphysiol.01215.2007. Epub 2008 Apr 24. PMID: 18436694.
28. Rice CL, Cunningham DA, Paterson DH, Lefcoe MS. Arm and leg composition determined by computed tomography in young and elderly men. *Clin Physiol*. 1989 Jun;9(3):207-20. doi: 10.1111/j.1475-097x.1989.tb00973.x. PMID: 2743739.
29. Roberts MD, McCarthy JJ, Hornberger TA, Phillips SM, Mackey AL, Nader GA, Boppart MD, Kavazis AN, Reidy PT, Ogasawara R, Libardi CA, Ugrinowitsch C, Booth FW, Esser KA. Mechanisms of mechanical overload-induced skeletal muscle hypertrophy: current understanding and future directions. *Physiol Rev*. 2023 Oct 1;103(4):2679-2757. doi: 10.1152/physrev.00039.2022. Epub 2023 Jun 29. PMID: 37382939; PMCID: PMC10625844.
30. Roy RR, Pierotti DJ, Edgerton VR. Skeletal muscle fiber cross-sectional area: effects of freezing procedures. *Acta Anat (Basel)*. 1996;155(2):131-5. doi: 10.1159/000147798. PMID: 8828711.
31. Schiaffino S, Reggiani C, Akimoto T, Blaauw B. Molecular Mechanisms of Skeletal Muscle Hypertrophy. *J Neuromuscul Dis*. 2021;8(2):169-183. doi: 10.3233/JND-200568. PMID: 33216041; PMCID: PMC8075408.
32. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med*. 2018 Apr;48(4):765-785. doi: 10.1007/s40279-018-0862-z. PMID: 29372481.
33. Taylor NA, Wilkinson JG. Exercise-induced skeletal muscle growth. Hypertrophy or hyperplasia? *Sports Med*. 1986 May-Jun;3(3):190-200. doi: 10.2165/00007256-198603030-00003. PMID: 3520748.
34. Terzis G, Vekaki E, Papadopoulos C, Papadimas G, Stasinaki AN. Muscle Ultrasound Echo Intensity and Fiber Type Composition in Young Females. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2024 Apr 5;9(2):64. doi: 10.3390/jfmk9020064. PMID: 38651422; PMCID: PMC11036197.
35. Thalacker-Mercer A, Stec M, Cui X, Cross J, Windham S, Bamman M. Cluster analysis reveals differential transcript profiles associated with resistance training-induced human skeletal muscle hypertrophy. *Physiol Genomics*. 2013 Jun 17;45(12):499-507. doi: 10.1152/physiolgenomics.00167.2012. Epub 2013 Apr 30. PMID: 23632419; PMCID: PMC3680779.
36. Zaras ND, Stasinaki AN, Methenitis SK, Krase AA, Karampatsos GP, Georgiadis GV, Spengos KM, Terzis GD. Rate of Force Development, Muscle Architecture, and Performance in Young Competitive Track and Field Throwers. *J Strength Cond Res*. 2016 Jan;30(1):81-92. doi: 10.1519/JSC.0000000000001048. PMID: 2