



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ»

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΩΣΕΩΝ ΣΤΙΣ
ΜΥΪΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΥΪΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μεθενίτης Σπυρίδων

Διδακτορική Διατριβή
ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2016

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

Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

Τερζής Γεράσιμος (Επιβλέπων)

(Αν. Καθηγητής, Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικές Ρίψεις, Σ.Ε.Φ.Α.Α.,
Ε.Κ.Π.Α)

Καρανδρέας Νικόλαος

(Καθηγητής, Νευρολογίας, Α' Νευρολογική Κλινική, Ε.Κ.Π.Α)

Γελαδός Νικόλαος

(Καθηγητής, Εργοφυσιολογίας, Σ.Ε.Φ.Α.Α., Ε.Κ.Π.Α)

Μπάγιος Ιωάννης

(Καθηγητής, Ειδική Προπονησιολογία Χειροσφαίρισης Σ.Ε.Φ.Α.Α., Ε.Κ.Π.Α)

Μπουντόλος Κωνσταντίνος

(Καθηγητής, Αθλητικής Βιομηχανικής, Σ.Ε.Φ.Α.Α., Ε.Κ.Π.Α)

Σπέγγος Κωνσταντίνος

(Αν. Καθηγητής, Νευρολογίας, Α' Νευρολογική Κλινική, Ε.Κ.Π.Α)

Καραμπάτσος Γεώργιος

(Επ. Καθηγητής, Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικές Ρίψεις, Σ.Ε.Φ.Α.Α.,
Ε.Κ.Π.Α)



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Φυσική Αγωγή & Αθλητισμός»

ΠΡΑΚΤΙΚΟ
ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Του Σπυρίδωνος Μεθενίτη

Η επταμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Γ.Σ.Ε.Σ. του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 6/10/2015 για την κρίση και αξιολόγηση της διδακτορικής διατριβής του **κ. Σπυρίδωνος Μεθενίτη** με τίτλο: «*Ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυικές ίνες και παραγωγή μυικής ισχύος*» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Γ. Τερζή** Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων), **Ν. Καρανδρέα** Καθηγητή της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Ν. Γελαδά** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Κ. Μπουρντόλο** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Ι. Μπάγιο** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού **Κ. Σπέγγο** Αναπληρωτή Καθηγητή της Α' Νευρολογικής Κλινικής Αιγινήτειου Νοσοκομείου του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Καραμπάτσο** Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, εκλήθησαν σήμερα 1/4/2016 ημέρα Παρασκευή και ώρα 12:00 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση στο Αμφιθέατρο Ε. Παυλίνη του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διατριβή.

Μετά από διεξοδική συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κατέληξαν ότι η κρίνόμενη διατριβή πληροί όλους τους όρους εκπόνησής της, είναι πρωτότυπη και προάγει την επιστημονική γνώση και ως εκ τούτου κρίνεται αποδεκτή και εγκρίνεται και βαθμολογείται ως **ΑΡΙΣΤΑ**

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Γ. Τερζής, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ν. Καρανδρέας, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ν. Γελαδάς, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Κ. Μπουρντόλος, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ι. Μπάγιος, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών ΣΕ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΑΔΕΙΑ

Κ. Σπέγγος, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Καραμπάτσος, Επίκουρος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Έκφραση Ευχαριστιών

Δυστυχώς, δεν είμαι καθόλου καλός στο να γράφω ή να εκφράζω αυτά που νιώθω για τα άτομα τα οποία οφείλω πολλά και με βοήθησαν ή στο εκφράζω την ευγνωμοσύνη και τα συνθήματα μου προς αυτά. Επομένως, στις επόμενες γραμμές θα προσπαθήσω να διατυπώσω όσο το δυνατόν καλύτερα τις πραγματικές και αληθινές ευχαριστίες μου προς όλα αυτά τα άτομα. Ελπίζω να το καταφέρω.....

Ξεκινώντας τις ευχαριστίες στους ανθρώπους που με βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, είτε στο πρακτικό είτε στο ψυχολογικό-υποστηρικτικό κομμάτι, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους εθελοντές-δοκιμαζόμενους που συμμετείχαν στις έρευνες που αποτελούν την παρούσα διδακτορική διατριβή. Χωρίς την δική τους συμμετοχή, ιδρώτα, κόπο και πολλές φορές τρέλα και ενδιαφέρον για το τι είναι μια έρευνα και πως πραγματοποιούνται οι επιστημονικές εργασίες, δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί και να ολοκληρωθεί η παρούσα διδακτορική διατριβή. Επομένως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους μαζί αλλά και έναν έναν ξεχωριστά τους 125 εθελοντές-δοκιμαζόμενους που συμμετείχαν συνολικά στις 5 εργασίες που αποτελούν την παρούσα διδακτορική διατριβή.

Ξεκινώντας, τις ευχαριστίες των ατόμων που συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά του πιο άμεσους συνεργάτες μου σε όλα αυτά τα χρόνια των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Θα ήθελα να πω 1000 ευχαριστώ τον κ. Ζάρα Νικόλαο και στην κ. Στασινάκη Αγγελική-Νικολέτα, οι οποίοι ήταν στο πλευρό μου όλα αυτά τα χρόνια και με την απέραντη συμπαράσταση τους και υποστήριξη κατάφερα να ολοκληρώσω όλες τις εργασίες. Νίκο και Αγγελική, Αγγελική και Νίκο, ευχαριστώ πάρα πολύ για όλα αυτά που κάνατε για εμένα, μέσα και έξω από το εργαστήριο, για τις ατελείωτες ώρες δουλείας που κάναμε αλλά και για όλες εκείνες τις ωραίες και μη ώρες, μέρες που περάσαμε μαζί, γελώνοντας, συζητώντας, ταξιδεύοντας, διαφωνώντας... Οφείλω πολλά σε εσάς παιδιά.

Σε συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ.κ. Γελαδά Νικόλαο, Μπάγιο Ιωάννη και Μπουντόλο Κωνσταντίνο (μέλη της εξεταστικής επιτροπής) για την συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στον Αν. Καθηγητή της ιατρικής κ. Σπέγγο Κωνσταντίνο, για την αμέριστη συμπαράσταση του και για τις ατελείωτες ώρες που περάσαμε μαζί κατά τις λήψεις των δειγμάτων μυϊκού ιστού, που εκτός από την άκρως συστηματοποιημένη πια διαδικασία λήψης των δειγμάτων των μυϊκών ιστών που έχει αναπτύξει, μέσα από την αμεσότητα και τον εύθυμο χαρακτήρα του, έκανε να περνούν πολύ γρήγορα αυτές οι ώρες, ενώ έκανε τους δοκιμαζόμενους να χαλαρώνουν πριν την διαδικασία. Παράλληλα, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις συμβουλές αλλά και τις οδηγίες που μου παρείχε σε θέματα συγγραφής, δημοσίευσης και μεθοδολογίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω να πω και στους κ.κ. Γεωργιάδης Γεώργιο και Καραμπάτσο Γεώργιο, για την αμέριστη συμπαράσταση (υλική, ηθική, ψυχολογική και πρακτική) και καθοδήγηση – παρατηρήσεις που μου έκαναν κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και υλοποίησης των πειραματικών πρωτοκόλλων, χάρις των

οποίων μπόρεσαν να ολοκληρωθούν οι μελέτες της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αλλά και για όλα αυτά που έκαναν για εμένα και εκτός εργαστηρίου. Τέλος, θα ήθελα να τους ευχαριστήσω πραγματικά από τα βάθη της καρδιάς μου για τις παρατηρήσεις και σχόλια που μου έκαναν κατά την προετοιμασία των προφορικών ανακοινώσεων των εργασιών της παρούσας διδακτορικής διατριβής, με αποτέλεσμα να ήμουν όσο το δυνατόν πιο έτοιμος κατά την παρουσίαση τους.

Μεγάλο κεφάλαιο στην ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η συμβολή του Καθηγητή της ιατρικής κ. Καρανδρέα Νικόλαο, ο οποίος με δέχτηκε στο εργαστήριο του, με εμπιστεύτηκε, με δίδαξε, με κατατόπισε και με καθοδήγησε στον σχεδιασμό, στη πραγματοποίηση και στη συγγραφή των εργασιών της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Για τα παραπάνω αλλά και για όλες εκείνες τις ώρες όπου ο κ. Καρανδρέας ασχολήθηκε μαζί μου, διδάσκοντας με αλλά και συζητώντας μαζί μου τα διάφορα θέματα αλλά και ερωτήματα που δημιουργούνταν κατά την διάρκεια της μελέτης μου και πραγματοποίησης των πειραμάτων θα ήθελα να του εκφράσω τις βαθύτερες ευχαριστίες μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον άνθρωπο εκείνον, όπου χωρίς να με ξέρει, με δέχτηκε κοντά του από τα πρώτα βήματα των μεταπτυχιακών σπουδών μου, με δίδαξε τι είναι η αθλητική επιστήμη, μου έδειξε έναν νέο κόσμο όσον αφορά το πώς λειτουργεί και ανταποκρίνεται ο ανθρώπινος οργανισμός στην άσκηση, με καθοδηγούσε κάθε μέρα, με ανεχόταν πολλές φορές, με προετοίμαζε για τα πάντα, συζητούσε ότι πρόβλημα προέκυπτε κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου, με έστειλε σε ένα πολύ δυνατό ξένο εργαστήριο να πάω να μάθω νέες τεχνικές ανάλυσης, ενώ το γραφείο του αλλά και το τηλέφωνό του ήταν πάντα διαθέσιμο για μένα. Κ. Τερζή, όσα ευχαριστώ και να σας πω, πραγματικά δεν μπορούν να εκφράσουν την ευγνωμοσύνη που έχω προς το πρόσωπο σας. Πραγματικά, ήταν τιμή για μένα που σας είχα καθηγητή, δάσκαλο και συνεργάτη. Χωρίς την δική σας συμβολή, πραγματικά τίποτα από όσο έχω καταφέρει (λίγα ή πολλά δεν έχει σημασία) δεν θα μπορούσαν να έχουν γίνει. Χάρης την δική σας συμβολή έφτασα σε αυτό το σημείο σήμερα. Σας ευχαριστώ πολύ για όλα όσα έχετε κάνει για εμένα. Ότι και να πω δεν πρόκειται να εκφράσουν όλα αυτά που νιώθω για εσάς και οφείλω σε εσάς.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην αείμνηστη κ. Μαντά Παναγιώτα, για όλα όσο έκανα για εμένα και για όλα αυτά τα οποία έμαθα από εκείνη τόσα χρόνια που ήμουν στο εργαστήριό της. Ο θάνατος σας ήταν μεγάλο πλήγμα.....

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω να πω στον κ. Παπακωνσταντίνου Νίκο, για την ατελείωτες ώρες που πέρασε προσπαθώντας να διορθώσει και να επιμεληθεί από φιλολογική απόψη την υπάρχουσα διδακτορική διατριβή. Παράλληλα, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους πιο κοντινούς μου φίλους, Γιάννη και Ανδρέα που με υπέμεναν όλα αυτά τα χρόνια και μου συμπαράστέκονταν.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου, γιατί χωρίς την δική τους καθοδήγηση, συμπαράσταση, υποστήριξη, υπομονή και επιμονή και γενικά όλα αυτά τα λίγα ή πολλά που κάνει ένας γονιός για το παιδί του, χωρίς εκείνο να τα καταλαβαίνει, τίποτα δεν θα είχε γίνει. Μαμά και Μπαμπά, αυτή η διδακτορική διατριβή είναι αφιερωμένη σε εσάς για όλα αυτά που κάνατε, ώστε εγώ να μπορέσω να φτάσω σε αυτό το σημείο. Εσείς με φτάσατε.....

Ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες και παραγωγή μυϊκής ισχύος

Περίληψη

Εισαγωγή. Η ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών έχει διερευνηθεί ελάχιστα στην αθλητική επιστήμη. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκαν τρεις ξεχωριστές, αλλά αλληλένδετες εργασίες, όπου σκοπός της πρώτης εργασίας ήταν η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας αγωγής και της μυϊκής ισχύος όπως και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, σκοπός της δεύτερης ήταν η διερεύνηση πιθανών διαφορών στην ταχύτητα αγωγής μεταξύ αθλητών δύναμης, ισχύος και αντοχής και σκοπός της τρίτης μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της προπόνησης ισχύος και του συνδυασμού προπόνησης ισχύος με αερόβια προπόνηση στην ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.

Μέθοδος. Στην 1^η εργασία αξιολογήθηκε η μυϊκή ισχύς, ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης και η ταχύτητα αγωγής μέσω προκλητών δυναμικών με ενδομυϊκά ηλεκτρόδια σε 15 νεαρές γυναίκες (ηλικία $21,1 \pm 0,4$ έτη, ανάστημα $165 \pm 4,5$ cm, μάζα $56,7 \pm 6$ kg, δείκτης μάζας σώματος $20,8 \pm 1,7$ kg·m⁻², ισχύς αποτελεσμάτων 0,958). Στη 2^η εργασία πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες αξιολογήσεις σε 38 νεαρούς άνδρες (ισχύς αποτελεσμάτων 0,936) με διαφορετικό προπονητικό υπόβαθρο: μαραθωνοδρόμοι (n=9), αθλητές ισχύος (n=10), αθλητές δύναμης (n=9), αγύμναστοι (n=10). Εκτός από τις προαναφερόμενες μετρήσεις, πραγματοποιήθηκε μυϊκή βιοψία στον έξω πλατύ μηριαίο μυ για την αξιολόγηση της μορφολογίας των μυϊκών ινών. Στην 3^η έρευνα, 17 μέτρια γυμνασμένες γυναίκες ($21,6 \pm 2,2$ ετών, ανάστημα $166,3 \pm 5,4$ εκ., μάζα $57,6 \pm 6,8$ kg, ισχύς αποτελεσμάτων: 0,910), χωρίστηκαν σε 2 πειραματικές ομάδες: ομάδα προπόνησης ισχύος (Π.Ι.; n=8) και ομάδα προπόνησης ισχύος-αερόβιας (Π.Ι.Α.; n=9). Πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση, διάρκειας 6 εβδομάδων, πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες αξιολογήσεις όπως στην 2^η έρευνα.

Αποτελέσματα. Στην 1^η και 2^η έρευνα, σημαντικές συσχετίσεις βρέθηκαν μεταξύ της ταχύτητας αγωγής και της μέγιστης ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, καθώς και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 50-250ms (συντελεστής Pearson $r=0,538-0,924$; $p<0,01$). Η ταχύτητα αγωγής σχετίζονταν υψηλότερα με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης ($r: 0,538-0,918$; $p<0,01$) παρά με τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ($r: 0,599-0,656$; $p<0,01$). Ωστόσο, όπως φάνηκε από την 2^η έρευνα οι συσχετίσεις αυτές επηρεάζονται από την εγκάρσια επιφάνεια και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών

ινών τύπου II. Επίσης βρέθηκε ότι ο στατιστικός γραμμικός συνδυασμός της ταχύτητας αγωγής και της μυϊκής ισχύος μπορεί να προβλέψει την εγκάρσια επιφάνεια και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II. Στην 3^η έρευνα διαπιστώθηκε ότι 6 εβδομάδες προπόνησης ισχύος προκαλούν αύξηση της ταχύτητας αγωγής, του μεγέθους των μυϊκών ινών και της μυϊκής ισχύος, ενώ η προσθήκη ήπιας έντασης αερόβιας άσκησης εκμηδενίζει αυτές τις αυξήσεις. Στο σύνολο των δοκιμαζόμενων, η ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας αγωγής συσχετιζόταν με την ποσοστιαία μεταβολή του μεγέθους των μυϊκών ινών και της μυϊκής ισχύος ($r=0,574$ ως $0,628$; $p<0,05$). Ωστόσο, οι συσχετίσεις μεταξύ της ποσοστιαίας μεταβολής της ταχύτητας αγωγής και της μυϊκής ισχύος, επηρεάζονταν από την ποσοστιαία μεταβολή της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών.

Συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ταχύτητα αγωγής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ, συνδέεται στενά με την απόδοση σε εκρηκτικές πολυαρθρικές δραστηριότητες. Παράλληλα, φαίνεται ότι τη ταχύτητα αγωγής συνδέεται καλύτερα με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης κατά την πραγματοποίηση εκρηκτικών δραστηριοτήτων παρά με τη μέγιστη δύναμη. Επιπρόσθετα, όπως είναι γνωστό, το είδος της συστηματικής προπόνησης προκαλεί διαφορετικές προσαρμογές στην εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας δείχνουν ότι οι αλλαγές στην εγκάρσια επιφάνεια των ινών προκαλούν αλλαγές στην ταχύτητα αγωγής κάτι που δείχνει ότι η ταχύτητα αγωγής είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος των μυϊκών ινών και μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προπονητικού ερεθίσματος. Η προσθήκη αερόβιας άσκησης χαμηλής έντασης στην προπόνηση ισχύος αναστέλλει τη μυϊκή υπερτροφία, και που οδηγεί σε αναστολή της αύξησης της ταχύτητας αγωγής.

Λέξεις κλειδιά: Νευρομυϊκό σύστημα, ηλεκτρομυογραφία, προπόνηση ισχύος ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, κατανομή μυϊκών ινών

Muscle fiber conduction velocity and muscle power production

Abstract

Introduction. Little is known about the role of muscle fiber conduction velocity (MFCV) on power production and human performance. Thus, in the present thesis three major studies were conducted, to investigate the role of MFCV on power production and human performance. The aim of the first study was to investigate the relationships between MFCV of vastus lateralis, and power performance, the aim of the second study was to investigate if MFCV is different between athletes with different training background, while the aim of the third study was to investigate the possible influence of power training.

Methods. In the 1st study, fifteen young females (age: 21.1 ± 0.4 yrs, body height: 165 ± 4.5 cm, body mass: 56.7 ± 6 kg, BMI: 20.8 ± 1.7 kg·m⁻²; actual power of the study: 0.958) performed countermovement jumps and isometric πίεσεων ποδιών test. Vastus lateralis MFCV was measured with intramuscular microelectrodes, at rest. In the second study, 38 healthy young males (actual power of the study: 0.936), assigned into 4 groups (A) Amateurs (n=10), (B) Marathon runners (n=9), (C) Power (n=10), (D) Strength trained (n=9), performed the same evaluation as in the 1st study, while muscle biopsies, at the same point as the MFCV evaluation, were obtained, one week after, for the evaluation of muscle fiber composition. In the 3rd study, 16 young females (age: 21.6 ± 2.2 yrs, body height: 166 ± 5.4 cm, body mass: 57.6 ± 6.8 kg; actual power of the study: 0.910) participated in 6 weeks, 3/week, of either lower-body power training (PT) or lower-body power training followed by 30 min of low intensity running (PET), while before and after the 6 week intervention the performed the same evaluations as those in the 2nd study.

Results. In the 1st and 2nd studies, significant correlations were found between the parameters of MFCV and power production and rate of force development (RFD) from 0-250ms (r: 0.538 to 0.924; $p < 0.01$). The highest were observed for type II and max MFCV. MFCVmean and MFCVtype II, were better correlated with RFD (r: 0.538-0.918; $p < 0.01$) than with maximum isometric force (r: 0.599-0.656; $p < 0.01$). However, the 2nd study relieves that these relationships are effected by the cross sectional area (CSA) and percentage cross sectional area (%CSA) of type II fibers. Significant models for the prediction of %CSA and CSA of type II fibers have been found ($p=0.000$). The 3rd study provide evidence that 6 weeks of power training could leads to a significant increase of the MFCV parameter, CSA of muscle fibers and power production. However, these adaptions were not found in

the PET group. The percentage of the increase of MFCV was highly related with those of CSA of muscle fibers, as well as of those of power production ($r = 0.574-0.628$; $p < 0.05$). However, the correlations between MFCV and power production were affected by the percentage increase of muscle fiber CSA.

Conclusions. According to the results of all three studies, that composed the present PhD thesis, MFCV of vastus lateralis is closely related to power production during multijoint actions, as well as that MFCV is better linked with RFD than with maximum isometric force. Furthermore, the type of systematic training provides very specific adaptations to the fiber type composition and their size, leading to a differential regulation of MFCV, indicating that muscle fiber conduction velocity is an acquired characteristic which is largely determined by the type and size of the muscle fibers, and especially of type II muscle fibers. Finally, low intensity running performed after lower-body power training impairs the exercise-induced jumping performance which may be partially linked to inhibitions in muscle fiber hypertrophy, which leads to an inhibitions in muscle fiber conduction velocity.

Key words: Neuromuscular system, electromyography, rate of force development, muscle fiber composition, power training, combined training

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής	iii
Πρακτικό της Εξεταστικής Επιτροπής για την κρίση της διδακτορικής διατριβής.....	iv
Έκφραση Ευχαριστιών.....	v
Περίληψη στην ελληνική γλώσσα	vii
Περίληψη στην αγγλική γλώσσα (Abstract)	ix
Πίνακας Περιεχομένων	xi
Κατάλογος Σχημάτων	xiv
Κατάλογος Πινάκων	xx
Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών	xxiv
 I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ. 1
1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος (Times New Roman 12).....	σελ. 2
1.2. Σημασία της έρευνας	σελ. 3
1.3. Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις	σελ. 3
1.4. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας	σελ. 4
1.5. Διευκρίνιση όρων.....	σελ. 4
 II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	σελ. 6
2.1. Βιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την μυϊκή ισχύ	σελ. 6
2.2. Πιλοτική έρευνα για την διερεύνηση της ειδικής συνεισφοράς επιλεγμένων βιολογικών παραμέτρων του μυϊκού ιστού στην επίδοση στους δρόμους ταχύτητας, στα άλματα και στις ρίψεις	σελ. 9
2.3. Βασική ηλεκτροφυσιολογική θεωρία του συστήματος μετάδοσης των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....	σελ.20
2.3.1. Ηλεκτροφυσιολογικά χαρακτηριστικά του σαρκειλήματος	σελ. 20
2.3.2. Δημιουργία των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....	σελ. 26
2.3.3. Το σύστημα μετάδοσης των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....	σελ. 30
2.4. Αξιολόγηση της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες	σελ. 34
2.5. Βιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....	σελ. 39
2.5.1. Είδος μυϊκής σύσπασης	σελ. 39
2.5.2. Μήκος μυός	σελ. 39
2.5.3. Θερμοκρασία	σελ. 40
2.5.4. Μέγεθος και κατανομή μυϊκών ινών	σελ. 41

2.6. Ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες και παραγωγή δύναμης και ισχύος.....σελ. 45	σελ. 45
2.7. Επίδραση της συστηματικής προπόνησης και του είδους της.....σελ. 48	σελ. 48

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑσελ. 55

3.1. Μεθοδολογία πρώτης έρευνας.....σελ. 56	σελ. 56
3.1.1. Ερευνητικός σχεδιασμός πρώτης έρευνας.....σελ. 56	σελ. 56
3.1.2. Περιγραφή δοκιμαζομένων πρώτης έρευνας.....σελ. 57	σελ. 57
3.1.3. Αξιολόγηση σωματομετρικών χαρακτηριστικώνσελ. 57	σελ. 57
3.1.4. Αξιολόγηση της ισχύος, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της μέγιστης ισομετρικής δύναμηςσελ. 58	σελ. 58
3.1.5. Αξιολόγηση της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....σελ. 61	σελ. 61
3.1.5.1 Μεθοδολογία της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των νευρικώνσελ. 61	σελ. 61
3.1.5.2. Απαραίτητος αριθμός καταμετρημένων μυϊκών ινών και αξιοπιστία-επαναληψιμότητα της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....σελ. 65	σελ. 65
3.1.6. Στατιστική ανάλυση.....σελ. 74	σελ. 74
3.2. Μεθοδολογία δεύτερης έρευναςσελ. 74	σελ. 74
3.2.1. Ερευνητικός σχεδιασμός δεύτερης έρευναςσελ. 74	σελ. 74
3.2.2. Περιγραφή δοκιμαζομένων δεύτερης έρευναςσελ. 76	σελ. 76
3.2.3. Αξιολόγηση σύστασης σώματος.....σελ. 77	σελ. 77
3.2.4. Αξιολόγηση της ισχύος, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.....σελ. 77	σελ. 77
3.2.5. Εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας.....σελ. 78	σελ. 78
3.2.6. Δειγματοληψία και ανάλυση μυϊκού ιστούσελ. 79	σελ. 79
3.2.7. Στατιστική ανάλυση.....σελ. 80	σελ. 80
3.3. Μεθοδολογία τρίτης έρευνας.....σελ. 81	σελ. 81
3.3.1. Ερευνητικός σχεδιασμός τρίτης έρευνας.....σελ. 81	σελ. 81
3.3.2. Περιγραφή δοκιμαζομένων τρίτης έρευνας.....σελ. 82	σελ. 82
3.3.3. Αξιολόγηση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών, της ισχύος, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες και της κατανομής των μυϊκών ινών...σελ. 83	σελ. 83
3.3.4. Αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης (1MAE)σελ. 83	σελ. 83
3.3.5. Προπονητικό πρωτόκολλο.....σελ. 84	σελ. 84
3.3.6. Στατιστική ανάλυση.....σελ. 85	σελ. 85

IV.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....σελ. 86
4.1.	Αποτελέσματα πρώτης έρευναςσελ. 86
4.2.	Αποτελέσματα δεύτερης έρευνας.....σελ. 92
4.3.	Αποτελέσματα τρίτης έρευναςσελ. 138
V.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....σελ. 149
5.1.	Συζήτηση αποτελεσμάτων πρώτης έρευνας.....σελ. 149
5.2.	Συζήτηση αποτελεσμάτων δεύτερης έρευναςσελ. 153
5.2.1	Συζήτηση αποτελεσμάτων για το σύνολο των δοκιμαζόμενων σελ. 154
5.2.2.	Συζήτηση αποτελεσμάτων για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά.....σελ. 166
5.3	Συζήτηση αποτελεσμάτων τρίτης έρευνας.....σελ. 174
VI.	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....σελ. 185
6.1.	Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και προτάσεις της πρώτης έρευναςσελ. 185
6.1.1.	Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα της πρώτης έρευναςσελ. 185
6.1.2.	Πρακτικές εφαρμογές της πρώτης έρευναςσελ. 185
6.1.3.	Προτάσεις για επόμενες μελέτες, που προκύπτουν από την πρώτη έρευνασελ. 186
6.2.	Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και προτάσεις της δεύτερης έρευνας.....σελ.186
6.2.1.	Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα της δεύτερης έρευναςσελ. 186
6.2.2.	Πρακτικές εφαρμογές της δεύτερης έρευναςσελ. 188
6.2.3.	Προτάσεις για επόμενες μελέτες, που προκύπτουν από την δεύτερη έρευνασελ. 188
6.3.	Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και προτάσεις της τρίτης έρευναςσελ. 189
6.3.1.	Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα της τρίτης έρευνας.....σελ. 189
6.3.2.	Πρακτικές εφαρμογές της τρίτης έρευνας.....σελ. 190
6.3.3.	Προτάσεις για επόμενες μελέτες, που προκύπτουν από την τρίτη έρευνασελ. 191
VII.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ. 192
VIII.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑσελ. 228
IX.	ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΑ ΑΡΘΡΑσελ. 240
9.1	1 ^ο δημοσιευμένο άρθρο.....σελ. 241
9.2	2 ^ο δημοσιευμένο άρθρο.....σελ. 253
9.3.	3 ^ο δημοσιευμένο άρθρο ο.....σελ. 263

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Γραφική απεικόνιση και τρόπος υπολογισμού του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης.σελ. 7	σελ. 7
Σχήμα 2.2. Απεικόνιση της μεμβρανικής διπλοστιβάδας, με το μωσαϊκό και τις διαμεμβρανικές πρωτεΐνες, τις αντλίες.....σελ. 21	σελ. 21
Σχήμα 2.3. Κατανομή φορτίων του ύδωρσελ. 21	σελ. 21
Σχήμα 2.4. Συγκέντρωση ιόντων στις δύο πλευρές του σαρκελήματος, διάλυτοι K^+ και αντλία Na^+-K^+-ATP ασης.....σελ. 22	σελ. 22
Σχήμα 2.5. Σχέση μεταξύ διαμέτρου μυϊκών ινών βατράχων και χωρητικότητας μεμβράνης.....σελ. 26	σελ. 26
Σχήμα 2.6. Σχηματική απεικόνιση των μορφολογικών στοιχείων της νευρομυϊκής σύναψης.....σελ. 27	σελ. 27
Σχήμα 2.7. Διαβίβαση ερεθίσματος στην νευρομυϊκή σύναψη και δυναμικά διέγερσης προσυναπτικού τελικού κομβίου και μετασυναπτικής μεμβράνης.....σελ. 27	σελ. 27
Σχήμα 2.8. Ενεργοποίηση των διαύλων Na^+ και K^+ ανάλογα με την κατάσταση πόλωσης της μεμβράνηςσελ. 29	σελ. 29
Σχήμα 2.9. Μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης και διαπερατότητα των ιόντων Na^+ και K^+ , ανάλογα με την χρονική στιγμή.....σελ. 30	σελ. 30
Σχήμα 2.10. Μηχανισμός εκπόλωσης γειτονικών τμημάτων του σαρκελήματος για την μετάδοση των νευρικών ώσεωνσελ. 31	σελ. 31
Σχήμα 2.11. Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα των ηλεκτροφυσιολογικών ιδιοτήτων των μυϊκών ινώνσελ. 32	σελ. 32
Σχήμα 2.12. (Α) μηχανισμός μετάδοσης των νευρικών ώσεων κατά μήκος των μυϊκών ινών και (Β) το διάγραμμα της σταθεράς μήκους.....σελ. 33	σελ. 33
Σχήμα 2.13. Ενδομυϊκή ηλεκτρομυογραφίασελ. 35	σελ. 35
Σχήμα 2.14. Συσχετίσεις μεταξύ ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες και (Α) διαμέτρου μυϊκών ινών και (Β) ποσοστό της βαριάς αλυσίδας της μυοσίνης τύπου II, σε ασθενείς με μυασθένειεςσελ. 42	σελ. 42
Σχήμα 2.15. Δομή των υποομάδων της αντλίας Na^+-K^+-ATP άσης.....σελ. 45	σελ. 45
Σχήμα 2.16. Γραφική απεικόνιση της διαφοροποίησης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της μέγιστης δύναμης μεταξύ ασκούμενων που πραγματοποιούν προπόνηση ισχύος και δύναμη.....σελ. 51	σελ. 51

- Σχήμα 2.17.** Η μεταβολή του αριθμού των αντλιών Na^+ - K^+ - ΑΤΡάσης μέσα από διάφορες φυσιολογικές και παθοφυσιολογικές καταστάσειςσελ. 53
- Σχήμα 3.1.** Πειραματικός σχεδιασμός της 1^{ης} έρευναςσελ. 56
- Σχήμα 3.2.** Διάγραμμα δυνάμεων-χρόνου κατά την πραγματοποίηση του κατακόρυφου άλματος με αιώρηση και τα κρίσιμα σημεία για τον υπολογισμό των παραμέτρωνσελ. 59
- Σχήμα 3.3.** Διάγραμμα δυνάμεων-χρόνου μέγιστης ισομετρικής προσπάθειαςσελ. 60
- Σχήμα 3.4.** Δομή της τροποποιημένης τεχνικής της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων κατά Troniσελ. 63
- Σχήμα 3.5.** (Α) Καταγραφή των ταυτόσημων και επαναλαμβανόμενων απαντήσεων στα προκλητά δυναμικά και (Β) Κατανομή συχνοτήτων των τιμών της ΤΑσελ. 63
- Σχήμα 3.6.** Αξιολόγηση των παραμέτρων της ΤΑ, βάση της κατανομής των συχνοτήτων κάθε δοκιμαζόμενου.....σελ. 64
- Σχήμα 3.7.** Πειραματικός σχεδιασμός της έρευνας για την διερεύνηση της αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων.....σελ. 66
- Σχήμα 3.8.** Κατανομή συχνοτήτων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες ανάλογα την συνθήκησελ. 67
- Σχήμα 3.9.** (Α) Διάγραμμα διασποράς των διαφορών των τιμών της $T_{A_{total}}$ για την σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της C_{50} και C_{140} συνθήκης και (Β) διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της $T_{A_{total}}$ μεταξύ της C_{50} και C_{140} συνθήκης.....σελ. 68
- Σχήμα 3.10.** Διάγραμμα διασποράς των διαφορών των τιμών της $T_{A_{total}}$ για την σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της (Α) $T1C_{25}$ - $T2C_{25}$ και (Β) $T1C_{50}$ - $T2C_{50}$. Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της $T_{A_{total}}$ μεταξύ των (Γ) $T1C_{25}$ - $T2C_{25}$ και (Δ) $T1C_{50}$ - $T2C_{50}$ μετρήσεων και επαναμετρήσεωνσελ. 69
- Σχήμα 3.11.** Πειραματικός σχεδιασμός της 2^{ης} έρευναςσελ. 75
- Σχήμα 3.12.** Το μηχάνημα της απορροφησιομετρίας διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων Χ (DXA) και η τοποθέτηση των δοκιμαζομένων.....σελ. 103
- Σχήμα 3.13.** (Α) διαχωρισμός των ινών λόγω του διαλύματος με pH 4,3 στο οποίο οι μαύρες ίνες είναι τύπου Ι ενώ οι λευκές είναι τύπου ΙΙ, και (Β) διαχωρισμός των ινών λόγω του διαλύματος με pH 4,6, στο οποίο οι μαύρες ίνες είναι τύπου Ι, οι γκρίζες τύπου ΙΙx, ενώ οι λευκές είναι τύπου ΙΙa.....σελ. 80

Σχήμα 3.14. Πειραματικός σχεδιασμός της 3 ^{ης} έρευνας	σελ. 81
Σχήμα 4.1. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για τις παραμέτρους της ΤΑ του έξω πλατύ, 15 γυναικών της 1 ^{ης} έρευνας	σελ. 86
Σχήμα 4.2. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, στην άσκηση leg press, για τις χρονικές στιγμές από 0ms έως 250ms	σελ. 87
Σχήμα 4.3. Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την άσκηση leg press και (Α) της μέσης και (Β) μέγιστης ταχύτητας αγωγής.....	σελ. 89
Σχήμα 4.4. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 150ms κατά την άσκηση leg press και (Α) των ινών τύπου ΙΙ και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής.....	σελ. 90
Σχήμα 4.5. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 250ms κατά την άσκηση leg press και (Α) των ινών τύπου ΙΙ και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής.....	σελ. 91
Σχήμα 4.6. Διάγραμμα εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση leg press, για όλες τις πειραματικές ομάδες	σελ. 93
Σχήμα 4.7. Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ των ομάδων για τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης από τα 0-20ms έως τα 0-250ms	σελ. 93
Σχήμα 4.8. Παράμετροι της ταχύτητας αγωγής για όλες τις ομάδες	σελ. 95
Σχήμα 4.9. Ποσοστό μυϊκών ινών ανά ομάδα	σελ. 97
Σχήμα 4.10. Εγκάρσια επιφάνεια μυϊκών ινών ανά ομάδα.....	σελ. 97
Σχήμα 4.11. Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας μυϊκών ινών ανά ομάδα	σελ. 98
Σχήμα 4.12. Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου Ι και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 101
Σχήμα 4.13. Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου ΙΙx και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 102
Σχήμα 4.14. Συσχετίσεις μεταξύ της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙx και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 103
Σχήμα 4.15. Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού καταλαμβανομένης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Ι και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 104

- Σχήμα 4.16.** Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού καταλαμβανομένης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 105
- Σχήμα 4.17.** Συσχετίσεις μεταξύ της διαμέτρου των μυϊκών ινών τύπου Πχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 106
- Σχήμα 4.18.** Συσχετίσεις μεταξύ του παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών τύπου Πχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 107
- Σχήμα 4.19.** Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση και (Α) του ποσοστού, (Β) της εγκάρσιας επιφάνειας και (Γ) του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πχ, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 115
- Σχήμα 4.20.** Συσχέτιση μεταξύ ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την ισομετρική άσκηση leg press και (Α) εγκάρσιας επιφάνειας και (Β) ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πχ του έξω πλατύ μηριαίου μυός και για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 120
- Σχήμα 4.21.** Συσχέτιση μεταξύ ποσοστού μυϊκών ινών έξω πλατύ μηριαίου μυός και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την ισομετρική άσκηση leg press, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 122
- Σχήμα 4.22.** Συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση και την μέγιστη ταχύτητα των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός και για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 124
- Σχήμα 4.23.** Συσχέτιση μεταξύ της ισχύος κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση και την μέγιστη ταχύτητα των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 124
- Σχήμα 4.24.** Συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την άσκηση leg press και της μέσης ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 125

Σχήμα 4.25. Συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την άσκηση leg press και του (Α) τύπου II και (Β) της μέγιστης ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενων.....σελ.	127
Σχήμα 4.26. Συσχέτιση μεταξύ ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την άσκηση leg press και της (Α) μέσης και (Β) του τύπου II ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 128
Σχήμα 4.27. Συσχέτιση μεταξύ ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την άσκηση leg press και της μέγιστης ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενων.....σελ.	129
Σχήμα 4.28. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης a, του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πα	σελ. 133
Σχήμα 4.29. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης b, του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Π	σελ. 134
Σχήμα 4.30. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης c, της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Ι.....σελ.	135
Σχήμα 4.31. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης d, της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πα	σελ. 136
Σχήμα 4.32. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης e, της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πx	σελ. 137
Σχήμα 4.33. Ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων επίδοσης πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες	σελ. 139

- Σχήμα 4.34.** Κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά την εφαρμογή των δεβδομάδων προπόνησης, για την ομάδα συνδυασμού προπόνησης ισχύος και αερόβιαςσελ. 140
- Σχήμα 4.35.** Κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά την εφαρμογή των δεβδομάδων προπόνησης, για την ομάδα προπόνησης ισχύος.....σελ. 141
- Σχήμα 4.36.** Ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδεςσελ. 141
- Σχήμα 4.37.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών και των τελικών τιμών της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών τύπου II, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 142
- Σχήμα 4.38.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών και των τελικών τιμών της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 143
- Σχήμα 4.39.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών τιμών της μέσης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών και του ποσοστού μεταβολής της μετά την προπονητική παρέμβαση, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 144
- Σχήμα 4.40.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών τιμών της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών και του ποσοστού μεταβολής της μετά την προπονητική παρέμβαση, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 144
- Σχήμα 4.41.** Ποσοστιαίες μεταβολές της εγκάρσια επιφάνειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδεςσελ. 146
- Σχήμα 4.42.** Συσχέτιση μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών, πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση, του μέσου όρου της εγκάρσιας επιφάνειας και της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων.....σελ. 147

Σχήμα 4.43. Συσχέτιση μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών, πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση, της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες και της μυϊκής ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων.....σελ. 148	σελ. 148
Σχήμα 5.1. Ανάλυση του μηχανισμού κατά τον οποίο το αυξημένο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου II και κυρίως των Πχ οδηγεί στον αυξημένο ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και την μεγαλύτερη παραγωγή μυϊκής ισχύος.....σελ. 164	σελ. 164

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων στην πιλοτική έρευνα..σελ. 10	σελ. 10
Πίνακας 2.2. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 15	σελ. 15
Πίνακας 2.3. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για τα Αρχάρια άτομα.....σελ. 16	σελ. 16
Πίνακας 2.4. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για τα άτομα της ομάδας Μεσαίας Εμπειρίας.....σελ. 17	σελ. 17
Πίνακας 2.5. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για τα Έμπειρα άτομα.....σελ. 17	σελ. 17
Πίνακας 2.6. Αποτελέσματα και φορτίσεις της πολυμεταβλητής κανονικής συσχέτισης.....σελ. 18	σελ. 18
Πίνακας 2.7: Οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες, σε υγιή άτομα και με μυασθένειες, κατά την ηρεμίασελ. 36	σελ. 36
Πίνακας 2.8: Έρευνες που εξέτασαν την σχέση μεταξύ ποσοστού των μυϊκών ινών και της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες ανθρώπωνσελ. 44	σελ. 44
Πίνακας 3.1. Τιμές του συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson μεταξύ των τιμών των παραμέτρων της ΤΑ ανάμεσα στις 3 συνθήκες κατά την Τ1 αξιολόγηση.....σελ. 69	σελ. 69

Πίνακας 3.2. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας για όλες τις τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες μεταξύ των συνθηκών C ₅₀ και C ₁₄₀	σελ. 71
Πίνακας 3.3. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας για όλες τις τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες μεταξύ των συνθηκών T1C ₂₅ και T2C ₂₅	σελ. 72
Πίνακας 3.4. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας για όλες τις τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες μεταξύ των συνθηκών T1C ₅₀ και T2C ₅₀	σελ. 73
Πίνακας 3.5. Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων 2 ^{ης} έρευνας	σελ. 78
Πίνακας 4.1. Συσχετίσεις μεταξύ εφαρμόσιμης δύναμης σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά την ισομετρική αξιολόγηση της δύναμης στην άσκηση leg press, της ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση και παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής του έξω πλατύ	σελ. 88
Πίνακας 4.2. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, του εμβαδού καμπύλης δύναμης-χρόνου σε διάφορες χρονικές στιγμές και παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής του έξω πλατύ	σελ. 88
Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα αξιολογήσεων επιτόπιου άλματος με αιώρηση και μέγιστης δύναμης-ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση leg press	σελ. 92
Πίνακας 4.4. Τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής	σελ. 95
Πίνακας 4.5α. Τιμές των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών	σελ. 96
Πίνακας 4.5β. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 98
Πίνακας 4.6. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 100
Πίνακας 4.7. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και του ποσοστού των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά	σελ. 109

Πίνακας 4.8. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	110
Πίνακας 4.9. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	111
Πίνακας 4.10. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και της διαμέτρου των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	112
Πίνακας 4.11. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και του παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	113
Πίνακας 4.12. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και του ποσοστού, της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	114
Πίνακας 4.13. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και της διαμέτρου και των παραγόντων υπερτροφίας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	117
Πίνακας 4.14. Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση leg press και του ποσοστού, εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά.....σελ.	118

- Πίνακας 4.15.** Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση leg press και της διαμέτρου και του παράγοντα υπερτροφίας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά.....σελ. 121
- Πίνακας 4.16.** Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά.....σελ. 123
- Πίνακας 4.17.** Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης δύναμης και του ΡΕΔ κατά την αξιολόγηση της ισομετρικής δύναμης στην άσκηση leg press και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστάσελ. 126
- Πίνακας 4.18.** Επίδραση της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ, στις συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενωνσελ. 130
- Πίνακας 4.19.** Επίδραση της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ, στις συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης δύναμης και του ΡΕΔ κατά την αξιολόγηση της ισομετρικής δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων.....σελ. 130
- Πίνακας 4.20.** Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας και εγκυρότητας για τα αποτελέσματα των εξισώσεων πρόβλεψης της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών σε σχέση με τις πραγματικέςσελ. 132
- Πίνακας 4.21.** Αποτελέσματα των παραμέτρων επίδοσης πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες.....σελ. 138

Πίνακας 4.22. Αποτελέσματα των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες	σελ. 140
Πίνακας 4.23. Συσχετίσεις των αρχικών τιμών των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, με την ποσοστιαία μεταβολή τους, μετά την εφαρμογή της προπονητικής παρέμβασης	σελ. 143
Πίνακας 4.24. Αποτελέσματα των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες	σελ. 145
Πίνακας 4.25. (Α) Συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών της μέσης και μέγιστης ταχύτητας αγωγής, της ισχύος και του ύψους κατά το άλμα με αιώρηση και της μέσης εγκάρσιας επιφάνειας όλων των ινών, και (Β) η επίδραση της μεταβολής της μέσης εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου, στις παραπάνω συσχετίσεις, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων	σελ. 147

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Σύμβολο ή Συντομογραφία	Επεξήγηση
%CSA	Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών
ACh	Ακετυλοχολίνη
AChR	Υποδοχέας ακετυλοχολίνης
BMI	Δείκτης μάζας σώματος
CI	Διάστημα εμπιστοσύνης
CILOA	95 % διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας
C ¹⁻	Ιόν χλωρίου (ανιόν)
Cm	Χωρητικότητα πυκνωτή
CMJ	Κατακόρυφο άλμα με αιώρηση
CSA	Εγκάρσια επιφάνεια μυϊκών ινών

CV	Συντελεστής διακύμανσης της διασποράς
DXA	Απορροφησιομετρίας διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων X
F/S	Λόγος μεγαλύτερης προς μικρότερης TA
ICC	Δείκτης αξιοπιστίας-Εσωτερικός συντελεστής αξιοπιστίας
LOA	Δείκτης Bland & Altman για το 95 % των ορίων των συμφωνιών
MIA	Μέγιστη ισομετρική δύναμη
Na⁺	Ιόν νατρίου (κατιόν)
Pr⁻	Οργανικά ανιόντα
RC	Δείκτης επαναληψιμότητας
PEΔ	Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης
R_i	Αντίσταση σαρκοπλάσματος
R_m	Αντίσταση μεμβράνη
R_μ	Αντίσταση διαύλων
SEL	Τυπικό σφάλμα των ορίων
SEM	Τυπικό σφάλμα μετρήσεων
SJ	Άλμα από ημικάθισμα
T.A.	Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών
T.A._{max}	Μεγαλύτερη ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες
T.A._{min}	Μικρότερη ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες
T.A._{total}	Μέσος όρος της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες
T.A._{typeI}	Ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες τύπου I
T.A._{typeII}	Ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες τύπου II

Κ.Σ.	Καρδιακή συχνότητα
K⁺	Ιόν καλίου (κατιόν)
Μ.Κ.Σ.	Μέγιστη καρδιακή συχνότητα
Π.Ι.	Ομάδα προπόνησης ισχύος
Π.Ι.Α.	Ομάδα συνδυασμού προπόνησης ισχύος και αερόβιας
Ρ.Α.Κ.Σ	Ρυθμός ανάκαμψης της καρδιακής συχνότητας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι καθημερινές δραστηριότητες ενός ανθρώπου αλλά και οι αθλητικές δραστηριότητες βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής δύναμης αλλά κυρίως στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος (Aagaard et al., 2010; Bean et al., 2003; Fitts et al., 1991; Foldvari et al., 2000; Stone et al., 2002; Stone, O'Bryant, et al., 2003; Stone, Sanborn, et al., 2003). Τα τελευταία χρόνια στην αθλητική επιστήμη έχει περιγραφεί και ένας ακόμα πιο σπουδαίος παράγοντας για την αξιολόγηση της μυϊκής ισχύος και της σωματικής επίδοσης ή αθλητικής απόδοσης. Αυτός ο παράγοντας είναι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης (Rate of Force Development; ΡΕΔ) και εκφράζει την ικανότητα ενός ατόμου να παράγει γρήγορα τη μυϊκή του δύναμη (Aagaard, 2003; Aagaard & Andersen, 1998; Aagaard et al., 2002a, 2002b).

Η ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος και ο ΡΕΔ επηρεάζονται από: (1) τη λειτουργία του νευρικού συστήματος, (2) την ταχοδυναμική και μηκοδυναμική σχέση, (3) τον τύπο της μυϊκής σύσπασης, (4) το μέγεθος της άλιπης μάζας, (5) την αρχιτεκτονική δομή των μυών, (6) την κατανομή των μυϊκών ινών και (7) το είδος και τα χρόνια της συστηματικής προπόνησης (Cormie et al., 2011a). Οι μέχρι τώρα έρευνες παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις μεταξύ της ικανότητας παραγωγής δύναμης, της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ με τη λειτουργία του νευρικού συστήματος (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen et al., 2003; K. Hakkinen et al., 2001; K. Hakkinen et al., 1998; K. Hakkinen et al., 1988; Sale, 1988).

Η ταχύτητα με την οποία μεταδίδεται η νευρική ώση κατά μήκος της μυϊκής ίνας ονομάζεται «ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών» (muscle fiber conduction velocity; Ταχύτητα Αγωγής, στο εξής θα αναφέρεται ως ΤΑ) και αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία του μυϊκού ιστού (Stålberg, 1966, 1979, 1980). Η ΤΑ φαίνεται ότι επηρεάζεται από το μέγεθος και τον τύπο των μυϊκών ινών, με τις μεγάλες μυϊκές ίνες και τις τύπου II να έχουν υψηλότερες τιμές ΤΑ σε σχέση με τις μικρότερες και τις ίνες τύπου I (Blijham et al., 2004b; Blijham et al., 2006; Buchthal & Sten-Knudsen, 1959; Farina et al., 2007; Hakansson, 1956; Kupa et al., 1995; Sadoyama et al., 1988; Stålberg, 1966; A. D. Taylor et al., 1997; Troni et al., 1983). Ωστόσο, οι προηγούμενες έρευνες πραγματοποιήθηκαν είτε σε πειραματόζωα είτε σε ασθενείς με νευρομυϊκές παθήσεις.

Η ΤΑ αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος και η ένταση της εξωτερικής αντίστασης ή της φυσικής δραστηριότητας (Arendt-Nielsen et al., 1992; Arendt-Nielsen et al., 1989; Hanayama, 1994; Houtman et al., 2003; Kilen et al., 2012; Klaver-Król et al., 2007; Klaver-Król et al., 2010; Li & Sakamoto, 1996; T. Masuda & De Luca, 1991; T. Masuda et al., 1996; Merlo et al., 2005a; Nishihara et al., 2003; Pozzo et al., 2006; Pozzo et al., 2004; Sadoyama & Masuda, 1987; Van der Hoeven & Lange, 1994). Φαίνεται ότι το μέγεθος της ΤΑ σχετίζεται με τη μέγιστη δύναμη (Arendt-Nielsen, et al., 1989; Houtman, et al., 2003; Kilen, et al., 2012; Li & Sakamoto, 1996; Mase et al., 2006; T. Masuda, et al., 1996; Morimoto & Masuda, 1984; Sadoyama & Masuda, 1987; Stålberg, 1966; Van der Hoeven & Lange,

1994), τη μέγιστη ροπή (T. Masuda et al., 2001), τη μέγιστη ισομετρική δύναμη (Broman et al., 1985b) και τη μέγιστη ισχύ κατά την ποδηλάτηση, είτε έναντι προοδευτικά αυξανόμενης αντίστασης (T. A. McBride et al., 2000) είτε κατά την δοκιμασία Wingate (Stewart et al., 2011). Ωστόσο, υπάρχουν και αναφορές για την απουσία σχέσης μεταξύ της μέσης ΤΑ και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης του δικέφαλου βραχιόνιου σε δρομείς ταχύτητας και αντοχής (Klaver-Król, et al., 2010). Μέχρι τώρα, οι περισσότερες από τις παραπάνω έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε ασθενείς με νευρομυϊκές παθήσεις ή σε κινήσεις και μύες που δεν έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο σε σημαντικές καθημερινές δραστηριότητες ή αθλητικές κινήσεις. Παράλληλα, στην πλειοψηφία των παραπάνω ερευνών η αξιολόγηση της ΤΑ έγινε κατά την διάρκεια της προσπάθειας, με αποτέλεσμα η ΤΑ να αυξάνεται σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας. Μέχρι τώρα, καμία έρευνα δεν έχει εξετάσει τη σχέση της ΤΑ με την μέγιστη μυϊκή ισχύ ή τον ΡΕΔ.

Η συστηματική προπόνηση, αλλά και το είδος της συστηματικής προπόνησης, προκαλούν συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρικό και μυϊκό σύστημα (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen et al., 2005; Cormie et al., 2010; Duchateau et al., 2006; Gibson et al., 2001; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2001; A. Holtermann et al., 2007; Sale, 1988; Semmler, 2002; Tillin & Folland, 2014). Ωστόσο, ελάχιστα είναι γνωστά σχετικά με τις πιθανές μεταβολές της ΤΑ και τους μηχανισμούς που συντελούν σε αυτές, μέσα από την συστηματική προπόνηση. Πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι 6 εβδομάδες αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης προκάλεσε αύξηση της ΤΑ (Hassanlouei et al., 2014). Ωστόσο, δεν διερευνήθηκε εάν αυτή η αλλαγή συμβάδιζε με ανάλογες αλλαγές στην κατανομή των μυϊκών ινών ή/και στην μέγιστη δύναμη, στην ισχύ και στον ΡΕΔ. Τέλος, καμία έρευνα μέχρι τώρα δεν έχει συγκρίνει τυχόν διαφοροποίηση της ΤΑ μεταξύ ατόμων που έχουν υποβληθεί σε χρόνια προπόνηση διαφορετικού τύπου π.χ. δύναμης, ισχύος ή καρδιοαναπνευστικής αντοχής.

1.1. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Από τα παραπάνω, διαπιστώνεται ότι παραμένει αδιευκρίνιστο εάν η ΤΑ σχετίζεται με την μυϊκή ισχύ και αν συνδέεται με την κατανομή και το μέγεθος των μυϊκών ινών σε υγιή, αγύμναστα και προπονημένα άτομα. Αδιευκρίνιστο παραμένει επίσης αν η ΤΑ είναι διαφορετική σε αθλητές δύναμης, ισχύος, ή αντοχής, οι οποίοι έχουν διαφορετική κατανομή και μέγεθος μυϊκών ινών. Αν αυτό ισχύει, αναμένεται ότι η προπόνηση δύναμης/ισχύος που οδηγεί σε υπερτροφία θα προκαλέσει ανάλογη αύξηση της ΤΑ, ενώ όποιο άλλο προπονητικό ερέθισμα προκαλεί αναστολή της υπερτροφίας των μυϊκών ινών θα προκαλέσει επίσης και αναστολή της αύξησης της ΤΑ.

Για την διερεύνηση και απάντηση των παραπάνω προβληματισμών, πραγματοποιήθηκαν τρεις πειραματικές εργασίες.

Σκοπός της πρώτης εργασίας ήταν η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ΤΑ στον έξω πλατύ μηριαίο μυ και της μυϊκής ισχύος όπως και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης.

Σκοπός της δεύτερης εργασίας ήταν η διερεύνηση πιθανών διαφορών στην ΤΑ στον έξω πλατύ μηριαίο μυ μεταξύ αθλητών δύναμης, ισχύος και αντοχής.

Σκοπός της τρίτης εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της προσθήκης αερόβιας άσκησης στην προπόνηση ισχύος, στην ΤΑ.

1.2. Σημασία της έρευνας

Με την παρούσα σειρά πειραμάτων θα γίνει προσπάθεια ανίχνευσης της πιθανής σύνδεσης ενός τμήματος του μηχανισμού παραγωγής μυϊκής δύναμης, της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες με την επίδοση σε προσπάθειες που απαιτούν υψηλή μυϊκή ισχύ και επίσης αν η ΤΑ καθορίζεται από το μέγεθος ή/και την ποσοστιαία κατανομή των μυϊκών ινών. Η αποκάλυψη μιας πιθανής σχέσης της ΤΑ με την παραγωγή μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ καθώς και των προσαρμογών της ΤΑ στην προπόνηση ισχύος θα προσθέσει ένα νέο τρόπο διερεύνησης (πιθανότατα μη επεμβατικό) των νευρομυϊκών προσαρμογών στην άσκηση. Η αποκάλυψη μιας πιθανής σύνδεσης μεταξύ μεγέθους/κατανομής μυϊκών ινών και ΤΑ ίσως οδηγήσει στη δημιουργία μιας μεθόδου αξιολόγησης των μορφολογικών αλλαγών των μυών με τη χρόνια προπόνηση.

1.3. Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις

Θα γίνει προσπάθεια να απαντηθούν τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

Έρευνα Νο. 1:

- i. Υπάρχει σχέση μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και της ΤΑ;

Έρευνα Νο. 2:

- i. Ισχύουν η ίδιες σχέσεις σε άτομα με διαφορετικό προπονητικό υπόβαθρο;
- ii. Οι αθλητές ισχύος έχουν υψηλότερες τιμές ΤΑ σε σχέση με τους αθλητές δύναμης, αντοχής και με αγύμναστα άτομα;
- iii. Υπάρχει σχέση μεταξύ της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ΤΑ, σε υγιή και καλά προπονημένα άτομα;
- iv. Οι σχέσεις μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και της ΤΑ επηρεάζονται από την κατανομή των μυϊκών ινών;
- v. Διαφοροποιείται η σχέση μεταξύ της ΤΑ και της κατανομής των μυϊκών ινών και του ΡΕΔ μεταξύ ατόμων που πραγματοποιούν διαφορετικά είδη συστηματικής προπόνησης;
- vi. Μπορεί η κατανομή των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός να εκτιμηθεί μέσα από τον συνδυασμό των παραμέτρων της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος-ΡΕΔ;

Έρευνα Νο. 3:

- i. Η προπόνηση ισχύος επηρεάζει την ΤΑ;
- ii. Ο συνδυασμός προπόνησης ισχύος και ήπιας αερόβιας άσκησης επηρεάζει την ΤΑ;
- iii. Οι μεταβολές της ΤΑ με την συνδυαστική προπόνηση ισχύος και ήπιας αερόβιας άσκησης σχετίζονται με τις αναμενόμενες αλλαγές στην κατανομή των μυϊκών ινών;

Με βάση τα παραπάνω ερωτήματα, καθώς και την υπάρχουσα βιβλιογραφία, μπορούν να διατυπωθούν οι παρακάτω ερευνητικές μηδενικές υποθέσεις:

Έρευνα Νο. 1:

- i. Δεν θα υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και της ΤΑ.
- ii. Δεν θα υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και των $TA_{Type II}$ και $T.A_{Max}$.

Έρευνα Νο. 2:

- i. Δεν θα ισχύουν η ίδιες σχέσεις σε άτομα με διαφορετικό προπονητικό υπόβαθρο.
- ii. Οι αθλητές ισχύος δεν θα έχουν υψηλότερες τιμές ΤΑ σε σχέση με τους αθλητές δύναμης, αντοχής και τα αγύμναστα άτομα.
- iii. Δεν θα υπάρχει σχέση μεταξύ της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της ΤΑ, σε υγιή και καλά προπονημένα άτομα.
- iv. Οι σχέσεις μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και της ΤΑ δεν θα επηρεάζονται από την κατανομή των μυϊκών ινών.
- v. Δεν θα διαφοροποιείται η σχέση μεταξύ της ΤΑ και της κατανομής των μυϊκών ινών και του ΡΕΔ μεταξύ ατόμων που πραγματοποιούν διαφορετικά είδη συστηματικής προπόνησης.

Έρευνα Νο. 3:

- i. Η προπόνηση ισχύος δεν θα επηρεάσει την ΤΑ.
- ii. Ο συνδυασμός προπόνησης ισχύος και ήπιας αερόβιας άσκησης δεν θα επηρεάζει την ΤΑ.
- iii. Οι μεταβολές της ΤΑ μέσα από τα 2 παραπάνω προπονητικά πρωτόκολλα δεν θα σχετίζονται με τις αλλαγές στην κατανομή των μυϊκών ινών.

1.4. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί

Η κατανομή των μυϊκών ινών και η ΤΑ θα αξιολογηθούν μόνο στον έξω πλατύ μηριαίο μυ. Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι πιθανό να μην μπορούν να γενικευτούν σε έμπειρους αθλητές. Η διάρκεια της προπονητικής παρέμβασης θα είναι 6 εβδομάδες μόνο. Περιορισμός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ότι δεν μπορεί με τα σημερινά μέσα να αξιολογήσει τον βαθμό επιστράτευσης των κινητικών μονάδων και των μυϊκών ινών. Τέλος, στην 3^η έρευνα δεν αξιολογήθηκε η πιθανή επίδραση του έμμηνου κύκλου.

1.5. Διευκρίνιση όρων

- **Αγωγιμότητα μεμβράνης και διαύλων:** Η ικανότητα της μεμβράνης και των διαύλων να μεταφέρουν τα ιόντα.
- **Αντίσταση κυτταροπλάσματος - σαρκοπλάσματος:** Η αντίσταση που προβάλλει το κυτταρόπλασμα στην μεταφορά των ηλεκτρικών-νευρικών ώσεων μέσα από το σώμα των κυττάρων.
- **Αντίσταση μεμβράνης:** Η αντίσταση που προβάλλει η μεμβράνη στην διέλευση των ιόντων και στην δημιουργία του δυναμικού ενέργειας.
- **Διαπερατότητα μεμβράνης και διαύλων:** Η ευκολία ενός ιόντος να διαπερνά την μεμβράνη.

- **Δίαυλοι ενεργοποίησης:** Οι διάυλοι οι οποίοι κατά την ηρεμία είναι ανενεργοί και ενεργοποιούνται είτε από πρόσδεμα, είτε από μεταβολές δυναμικού, είτε από μηχανικές τάσεις της μεμβράνης.
- **Δίαυλος ηρεμίας:** Οι διάυλοι που παραμένουν ενεργοί κατά την ηρεμία της μεμβράνης και δεν επηρεάζονται από εξωγενείς παράγοντες.
- **Δυναμικό ενέργειας:** Το μικρής διάρκειας αναγεννητικό δυναμικό που μεταδίδεται κατά μήκος της αξονικής ή μυϊκής μεμβράνης. Το δυναμικό ενέργειας ακολουθεί το νόμο «όλον ή ουδέν». Όταν το ερέθισμα είναι ουδικό ή υπερουδικό το προκαλούμενο δυναμικό ενέργειας έχει σταθερό ύψος και μορφολογία. Ουσιαστικά πρόκειται για την μεταβολή των φορτίων της κυτταρικής μεμβράνης νευρικών και άλλων κυττάρων, που λαμβάνει χώρα κατά μήκος της μεμβράνης και μεταβιβάζει τη νευρική πληροφορία. Βασίζεται στη εισροή και εκροή ιόντων (κυρίως νατρίου και καλίου), που έχουν ως αποτέλεσμα την παροδική αντιστροφή της πολικότητας της μεμβράνης.
- **Δυναμικό ηρεμίας:** Δυναμικό το οποίο προκύπτει όταν το κύτταρο είναι σε ηρεμία, κατάσταση κατά την οποία υπάρχει πλεόνασμα θετικών φορτίων στην εξωτερική πλευρά της μεμβράνης και αρνητικών στην εσωτερική, με αποτέλεσμα η διαφορά δυναμικού, ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης και είναι της τάξεως των -90mV στις μυϊκές ίνες.
- **Δυναμικό ισορροπίας:** Το δυναμικό της μεμβράνης κατά το οποίο παρατηρείται ισόποση μεταφορά προς τα έξω και μέσα σε ένα κύτταρο για ένα ιόν.
- **Εκπόλωση:** Η ελάττωση της μεγέθους του δυναμικού ηρεμίας, που καθιστά την μεμβράνη λιγότερο αρνητικά φορτισμένη.
- **Ενεργό ηλεκτρόδιο:** Το ηλεκτρόδιο το οποίο παράγει-μεταφέρει την ηλεκτρική διέγερση.
- **Ηλεκτρομυογραφία:** Η μελέτη της ηλεκτρικής δραστηριότητας των σκελετικών μυών. Εφαρμόζονται ηλεκτρόδια καταγραφής πάνω ή μέσα στο μυ και τα δυναμικά που καταγράφονται παρέχουν τις πληροφορίες για τη λειτουργία του μυός και των κινητικών νευρών που νευρώνουν το μυ.
- **Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών (%CSA):** Προσδιορίζει το ποσοστό επί του συνόλου του μυός που καταλαμβάνει ο κάθε τύπος των μυϊκών ινών.
- **Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης:** εκφράζει την ικανότητα ενός ατόμου να παράγει γρήγορα την μυϊκή του δύναμη. Υπολογίζεται μέσα από το πηλίκο της διαφοράς δύναμης μεταξύ 2 χρονικών σημείων προς την διαφορά χρόνου μεταξύ των δύο αυτών σημείων, $PE\Delta = \Delta F \cdot \Delta T^{-1}$.
- **Σταθερά μήκους:** Εκφράζει τον βαθμό της μείωσης του μεγέθους του ηλεκτρικού σήματος κατά μήκος της ίνας ($\lambda = \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$).
- **Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών:** Η ταχύτητα με την οποία οι νευρικές-ηλεκτρικές ώσεις προωθούνται κατά μήκος των μυϊκών ινών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Βιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μυϊκή ισχύ

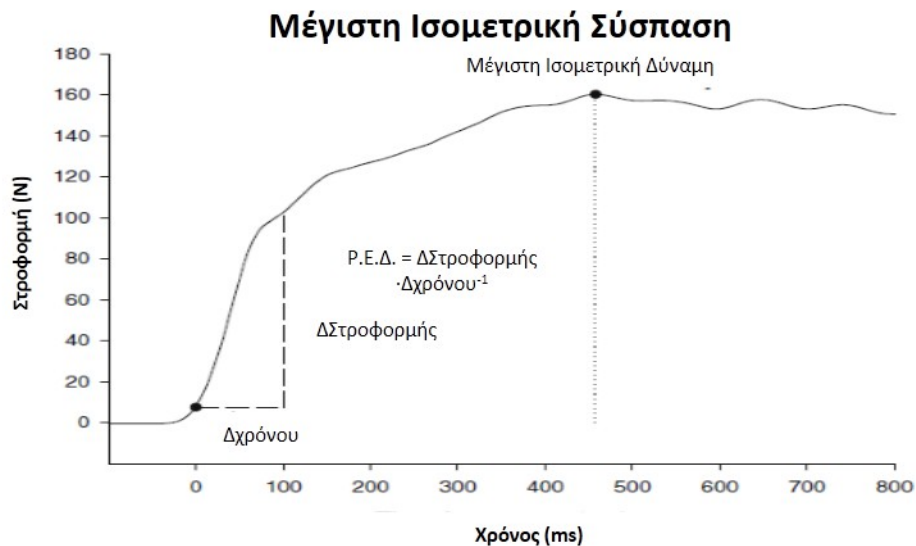
Ως μυϊκή δύναμη ορίζεται το μέγεθος του εξωτερικού φορτίου που μπορεί να υπερνικηθεί μέσα από την εργασία του μυός ή μιας ομάδας μυών, εκτελώντας ένα συγκεκριμένο κινητικό πρότυπο με μια συγκεκριμένη ταχύτητα (Knuttgen & Kraemer, 1987). Αντίθετα, ως μυϊκή ισχύς ορίζεται ο ρυθμός παραγωγής έργου (Fleck & Kraemer, 2009) και υπολογίζεται ως $P = W * T$ (όπου P = ισχύς, W = έργο και T = χρόνος). Ωστόσο, επειδή ως έργο (W) ορίζεται το γινόμενο της δύναμης (F) και της απόστασης (S), η παραπάνω εξίσωση μετασχηματίζεται σε $P = F * V$, όπου V =ταχύτητα (Caserotti et al., 2008). Με απλά λόγια, η μυϊκή ισχύς είναι η ικανότητα ενός ατόμου να αναπτύσσει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη δύναμη μέσα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα (Ackland et al., 2009; Enoka, 2008).

Οι καθημερινές δραστηριότητες, αλλά κυρίως οι αθλητικές, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής δύναμης, περισσότερο όμως στην ικανότητα παραγωγής υψηλής μυϊκής ισχύος, ιδιαίτερα όταν πραγματοποιούνται εκρηκτικά αθλήματα και αγωνίσματα (Aagaard, et al., 2010; Bean, et al., 2003; Fitts, et al., 1991; Stone, et al., 2002; Stone, O'Bryant, et al., 2003; Stone, Sanborn, et al., 2003) ή σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης στην καθημερινότητα, όπως είναι η αποφυγή πτώσεων (Foldvari, et al., 2000). Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η ταχυδύναμη, δηλαδή η δυνατότητα του νευρομυϊκού συστήματος να υπερνικά εξωτερικές αντιστάσεις με μέγιστη ταχύτητα συστολής (Caserotti, et al., 2008; A. Holtermann, et al., 2007), είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία σε εκρηκτικά αθλήματα και αγωνίσματα, αλλά και στις καθημερινές δραστηριότητες της ζωής ή σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί πληθώρα ερευνών, είτε σε αθλητές είτε σε αγύμναστα άτομα, ακόμα και ηλικιωμένα, οι οποίες εξέταζαν την επίδραση της προπόνησης ισχύος στην σωματική απόδοση ή την αθλητική επίδοση.

Τα τελευταία χρόνια όμως στην αθλητική επιστήμη έχει εισαχθεί και ένας ακόμα πιο σπουδαίος παράγοντας για την αξιολόγηση της μυϊκής ισχύος και της σωματικής επίδοσης ή αθλητικής απόδοσης. Αυτός ο παράγοντας είναι ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης (PEΔ) και εκφράζει την ικανότητα ενός ατόμου να παράγει γρήγορα την μυϊκή του δύναμη (Aagaard, 2003; Aagaard & Andersen, 1998; Aagaard, et al., 2002a, 2002b). Ο PEΔ υπολογίζεται μέσα από το πηλίκο της διαφοράς δύναμης μεταξύ 2 χρονικών σημείων προς την διαφορά χρόνου μεταξύ των δύο αυτών σημείων, $PEΔ = \Delta F \cdot \Delta T^{-1}$ (L. L. Andersen & Aagaard, 2006). Ο λόγος της σπουδαιότητας του PEΔ στις καθημερινές κινήσεις αλλά κυρίως στον αγωνιστικό αθλητισμό έγκειται στο γεγονός ότι οι κινήσεις ολοκληρώνονται σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, που ειδικά στον αθλητισμό δεν υπερβαίνει τα 150-250ms, π.χ. κάθε πάτημα στους δρόμους ταχύτητας δεν υπερβαίνει τα 120ms (Newton & Kraemer, 1994). Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι το χρονικό περιθώριο που υπάρχει για να μπορέσουν τα άτομα να αναπτύξουν την μέγιστη ή όσο το δυνατόν μεγαλύτερη δύναμή τους και να ανταπεξέλθουν στην εκάστοτε κατάσταση είναι αρκετά περιορισμένο (Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a; Neptune

et al., 2009; A. Pereira et al., 2012; Stone, et al., 2002; Stone, O'Bryant, et al., 2003). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ύπαρξη υψηλής συσχέτισης μεταξύ του ΡΕΔ από τα 0 έως τα 150ms, με την απόδοση σε αθλητικές δραστηριότητες, όπως στο επιτόπιο άλμα με αιώρηση (Lamas et al., 2012).

Για να είναι ένα άτομο αποδοτικό και λειτουργικό, τόσο στις απαιτήσεις της καθημερινότητας όσο και στις αθλητικές-αγωνιστικές, δεν έχει σημασία η μέγιστη του δύναμη, αλλά τι ποσοστό αυτής είναι ικανό να παράγει μέσα σε αυτό το περιορισμένο χρονικό διάστημα (Aagaard, et al., 2002a; Collins et al., 2004; Fielding et al., 2002; Herzog, 2008; Hibbs et al., 2008; Hikida et al., 2000; McGill, 2010; Neptune, et al., 2009; O'Brien et al., 2009; A. Pereira, et al., 2012; Stone, et al., 2002; Stone, O'Bryant, et al., 2003; Trappe et al., 2001; Trappe et al., 2000).



Σχήμα 2.1. Γραφική απεικόνιση και τρόπος υπολογισμού του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης. Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης καθορίζεται από το πηλίκο της διαφοράς δύναμης μεταξύ 2 χρονικών σημείων προς την διαφορά χρόνου μεταξύ των δύο αυτών σημείων, $PE\Delta = \Delta F \cdot \Delta T^{-1}$ (L. L. Andersen & Aagaard, 2006).

Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και περισσότερο αναγνωρίζεται η σπουδαιότητα της συμβολής του νευρικού συστήματος τόσο στην παραγωγή μυϊκής ισχύος, όσο και στο ΡΕΔ, διότι σχεδόν όλες οι μέχρι τώρα έρευνες παρουσιάζουν υψηλές συσχετίσεις μεταξύ της ικανότητας παραγωγής δύναμης, της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ με τη λειτουργία του νευρικού συστήματος (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; K. Hakkinen, et al., 1988; Sale, 1988). Για τον λόγο αυτό, το νευρικό σύστημα και η λειτουργία του θεωρούνται ότι παίζουν σπουδαίο ρόλο και επηρεάζουν την ικανότητα παραγωγής δύναμης και ισχύος ενός ανθρώπου (Cormie, et al., 2011a; Ross et al., 2001).

Αρκετές έρευνες έχουν παρουσιάσει μέτριες συσχετίσεις μεταξύ των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών και της επίδοσης στους δρόμους ταχύτητας (Abe et al., 2001; Abe et al., 2011; Chelly et al., 2010; Chelly & Denis, 2001; Sugisaki et al., 2011). Ωστόσο, αν και πολλές φορές θεωρείται κάτι το αυτονόητο

και καθιερωμένο, οι μέχρι τώρα έρευνες δεν κατάφεραν να παρουσιάσουν καμία σημαντική συσχέτιση μεταξύ της άλιπης μάζας και της επίδοσης στους δρόμους ταχύτητας (Abe, et al., 2001; Abe, et al., 2011; Perez-Gomez et al., 2008). Σε ενίσχυση αυτού, έρευνα πάνω σε αθλητές υψηλού κολεγιακού επιπέδου διαπίστωσε ότι οι δοκιμαζόμενοι που είχαν αυξημένη μυϊκή ή/και άλιπη μάζα παρουσίαζαν και τους χειρότερους χρόνους κατά την πραγματοποίηση δρόμου ταχύτητας 60μ, το οποίο αποδίδεται στο ότι η αυξημένη μυϊκή μάζα προκαλεί αύξηση του σωματικού βάρους που θα πρέπει να μεταφερθεί σε μια τέτοια δραστηριότητα, παράγοντας που επιφέρει σημαντική μείωση της ειδικής μυϊκής ισχύος (μέγιστη σχετική ισχύς) που παρήγαγαν αυτά τα άτομα με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν και χαμηλότερες επιδόσεις (Chelly, et al., 2010; Chelly & Denis, 2001; J. M. McBride et al., 2009). Σημαντική διαπίστωση αποτελεί η ύπαρξη μέτριας αρνητικής συσχέτισης μεταξύ του μήκους των μυϊκών ινών και της επίδοσης στον δρόμο ταχύτητας 100μ, που υποδηλώνει ότι τα άτομα με μεγαλύτερο μήκος μυϊκών δεματίων στον έξω πλατύ μηριαίο και γαστροκνήμιο μυ πετύχαιναν και τις καλύτερες επιδόσεις (Abe, et al., 2001; Karamanidis et al., 2011; Kumagai et al., 2000). Τέλος, αν και πολλές φορές αναφέρεται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της κατανομής των μυϊκών ινών και της επίδοσης στους δρόμους ταχύτητας, μέχρι τώρα μόνο μια έρευνα έχει παρουσιάσει την ύπαρξη σχέσης μεταξύ της κατανομής των μυϊκών ινών τύπου II και της επίδοσης στα 100μ, σε καλά προπονημένους αθλητές δρόμων ταχύτητας (Mero et al., 1981). Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μέσα από την βιβλιογραφία διαπιστώνεται ότι οι περισσότερες έρευνες που εξέταζαν την πιθανή σχέση μεταξύ της κατανομής των μυϊκών ινών και της ταχύτητας αναφέρονται στην μέγιστη κυκλική ταχύτητα σε εργοποδήλατο (Bottinelli et al., 1996; Gregor et al., 1979; Hautier et al., 1996; Sargeant et al., 1984; Thorstensson et al., 1977) και όχι στην δρομική ταχύτητα που προϋποθέτει την μεταφορά του σωματικού βάρους.

Στις ρίψεις φαίνεται ότι η άλιπη μάζα είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας της επίδοσης, τουλάχιστον όταν η ριπτική επίδοση εξετάζεται μέσα από την χρήση των «βαρέων» οργάνων, όπως για παράδειγμα στους σφαιροβόλους και σφυροβόλους (Kyriazis et al., 2009; Kyriazis et al., 2010; Terzis et al., 2003; Terzis et al., 2010; Terzis, Stratakos, et al., 2008). Παράλληλα, μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας διαπιστώνεται ότι η εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου Ια και Ιχ του έξω πλατύ μηριαίου μυός σχετίζεται υψηλά με την επίδοση στην σφαιροβολία (Terzis, et al., 2010). Σε αντίθεση με αυτό, φαίνεται ότι η κατανομή των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός δεν σχετίζεται με την ριπτική επίδοση στη σφαιροβολία σε αγύμναστα άτομα (Terzis, Stratakos, et al., 2008).

Η αλτική επίδοση είναι μια ικανότητα η οποία έχει ερευνηθεί αρκετά μέχρι σήμερα. Φαίνεται ότι η άλιπη και λιπώδης μάζα, το σωματικό βάρος, τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά του γαστροκνήμιου και του έξω πλατύ μηριαίου, καθώς και η κατανομή των μυϊκών ινών σχετίζονται πολύ υψηλά με την αλτική επίδοση (Alegre et al., 2009; Bosco et al., 1982; Bosco, Komi, et al., 1983; Bosco, Luhtanen, et al., 1983; Earp et al., 2010; Fry et al., 2003; O'Brien, et al., 2009; Temfemo et al., 2009; Ugarkovic et al., 2002).

2.2. Πιλοτική έρευνα για την διερεύνηση της ειδικής συνεισφοράς επιλεγμένων βιολογικών παραμέτρων του μυϊκού ιστού στην επίδοση στους δρόμους ταχύτητας, στα άλματα και στις ρίψεις.

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι υπάρχουν πολλοί βιολογικοί παράγοντες του μυός οι οποίοι επιδρούν στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος (Cormie, et al., 2011a). Ωστόσο, μέχρι τώρα όλοι οι παραπάνω παράγοντες εξετάστηκαν ξεχωριστά ο ένας από τον άλλο και όχι σε συνδυασμό μεταξύ τους. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι δεν μπορεί παρά μόνο να δοθεί μια μεμονωμένη εικόνα και όχι η πραγματική συμβολή ή σπουδαιότητά τους σε αυτές τις προσπάθειες. Παράλληλα, όλοι οι παραπάνω βιολογικοί παράγοντες επηρεάζονται σημαντικά από τις ειδικές κινητικές και μεταβολικές απαιτήσεις της κάθε κίνησης-αθλητικής δραστηριότητας (Cormie, et al., 2011a; Herzog, 2008; Newton & Kraemer, 1994), με αποτέλεσμα την πιθανή διαφοροποίηση της επίδρασης των διαφόρων βιολογικών παραγόντων πάνω στην επίδοση μεταξύ διαφορετικών αθλητικών δραστηριοτήτων. Τέλος, είναι γνωστό ότι η συστηματική προπόνηση προκαλεί συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρομυϊκό σύστημα (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002b; Duchateau, et al., 2006; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, Aien, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1988; A. Holtermann, et al., 2007; Sale, 1988), με αποτέλεσμα να παραμένει αδιευκρίνιστο, εάν η συμβολή των διάφορων βιολογικών παραγόντων αλλάζει ανάλογα με τα χρόνια της συστηματικής προπόνησης.

Λόγω των παραπάνω καίριων ερωτημάτων, καθώς και του ότι για την πραγματοποίηση των ερευνών που αποτελούν την παρούσα διδακτορική διατριβή είναι αναγκαία η τεκμηρίωση της συμβολής στην παραγωγή μυϊκής ισχύος των διαφόρων βιολογικών παραγόντων του μυός, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε και μια πιλοτική έρευνα (Methenitis et al., 2015), με σκοπό τη διερεύνηση της ειδικής συνεισφοράς επιλεγμένων βιολογικών παραμέτρων του μυϊκού ιστού στην επίδοση στους δρόμους ταχύτητας, στα άλματα και στις ρίψεις. Παράλληλα με τον βασικό σκοπό, η πιλοτική αυτή έρευνα αποσκοπούσε στην διερεύνηση της πιθανής αλλαγής της συνεισφοράς των επιλεγμένων βιολογικών παραγόντων μέσα στα χρόνια της συστηματικής προπόνησης [Δημοσιευμένο άρθρο 1 στο παράρτημα, ενώ τμήμα αυτής της έρευνας διακρίθηκε στον ευρωπαϊκό διαγωνισμό «*European Athletics Innovation Award 2014*» που διοργανώθηκε από την Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Κλασικού Αθλητισμού (European Athletics) την ίδια χρονιά, ενώ επίσης βραβεύτηκε και κατά το 20^ο Διεθνές Συνέδριο Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, που πραγματοποιήθηκε στην Κομοτηνή, 18-20 Μαΐου 2012].

Στην εν λόγω πιλοτική έρευνα (Methenitis, et al., 2015) συμμετείχαν τριάντα έξι (36) νέοι άνδρες, εκ των οποίων 12 είχαν λιγότερο από ένα χρόνο εμπειρίας σε προπόνηση ισχύος (Αρχάριοι), 12 είχαν από 1 έως 3 χρόνια (Μεσαίου επιπέδου) και 12 είχαν πάνω από τρία χρόνια προπονητικής εμπειρίας σε ταχυδυναμικά αθλήματα (Εμπειροί; τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1). Ο διαχωρισμός τους σε αυτές τις προπονητικές ομάδες πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με προηγούμενες αναφορές, όσον αφορά την προπονητική εμπειρία (Cormie, et al., 2011a; Cormie et al., 2011b). Για την τεκμηρίωση της προπονητικής εμπειρίας, καθώς και των χαρακτηριστικών της προπόνησης του κάθε δοκιμαζόμενου, όσον αφορά την συχνότητα των προπονήσεων ανά εβδομάδα, τον χρόνο κάθε

προπονητικής μονάδας και τον προπονητικό όγκο τόσο της άσκησης αντιστάσεων όσο και της αερόβιας προπόνησης τους ανά εβδομάδα, χρησιμοποιήθηκε ένα αναδρομικό εβδομαδιαίο ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας (ICC = 0.95, 95% CI: Lower = 0.90, Upper = 0.98; $p < 0.0001$, $n=10$).

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων στην πιλοτική έρευνα.

	Αρχάριοι (n=12)	Μεσαίου Επιπέδου (n=12)	Έμπειροι (n=12)
Ηλικία (έτη)	22,4 ± 2,3	22,6 ± 2,1	23,4 ± 4,5
Μήνες Συστηματικής Προπόνησης*,**	6,80 ± 2,4	24,37 ± 10,02	69,5 ± 20,4
Συχνότητα Προπονήσεων/Εβδ*,**	2,5 ± 0,4	4,1 ± 0,7	5,4 ± 0,2
Όγκος Προπόνησης	8549,1 ± 2488,1	13280,2 ±	21211,4 ±
Όγκος Αερόβιας Προπόνησης/Εβδ	35701,5 ±	52800,7 ±	76724,1 ±
Διάρκεια Προπονητικής Μονάδας	70,1 ± 3,1	78,2 ± 5,4	83,7 ± 4,1
Ύψος (cm)	176,6 ± 7,1	177,3 ± 7,4	179,2 ± 8,5
Βάρος (Kg)	73,1 ± 9,5	75,1 ± 7,7	80,4 ± 9,1
Ποσοστό Λίπους (%)	15,5 ± 6,9	14,5 ± 6,1	14,2 ± 5,5
Συνολική Άλιπη Μάζα (Kg)*	55,1 ± 5,1	57,8 ± 4,1	63,9 ± 5,6
Άλιπη Μάζα Ποδιών(Kg)*	20,7 ± 2,1	22,5 ± 1,4	24,7 ± 2,3
Εγκάρσια Επιφάνεια Μηριαίων Μυών	134,7 ± 12,1	142,3 ± 16,9	154,3 ± 13,6
Πάχος Έξω Πλατύ (cm)	2,1 ± 0,3	2,3 ± 0,3	2,6 ± 0,3
Γωνία Μυϊκών Δεματίων Έξω Πλατύ (°)	14,9 ± 2,2	15,5 ± 2,3	16,9 ± 1,9
Μήκος Δεματίων Έξω Πλατύ (cm)*	6,4 ± 0,5	7,1 ± 0,6	8,8 ± 0,8
Ποσοστό Μυϊκών Ινών Τύπου I (%)	49,3 ± 7,8	48,1 ± 10,1	48,8 ± 7,7
Ποσοστό Μυϊκών Ινών Τύπου Ια (%)*	37,6 ± 9,1	40,1 ± 5,9	42,6 ± 6,8
Ποσοστό Μυϊκών Ινών Τύπου Ιχ (%)**	13,2 ± 4,9	11,8 ± 7,9	8,4 ± 3,7
Εγκάρσια Επιφάνεια Ινών Τύπου I (μm ²)	4833 ± 611,4	5043,6 ± 717,8	5235,1 ± 810,3
Εγκάρσια Επιφάνεια Ινών Τύπου Ια	4833,5 ± 533,4	6086,5 ± 377,1	6772,4 ± 299,6
Εγκάρσια Επιφάνεια Ινών Τύπου Ιχ	4163,6 ± 138,6	4583,2 ± 275,4	4997,4 ± 232,5
% CSA Ινών Τύπου I (%)	46,5 ± 9,7	45,2 ± 9,1	43,8 ± 7,9
% CSA Ινών Τύπου Ια (%)*	41,9 ± 3,7	45,1 ± 4,6	48,9 ± 4,8
% CSA Ινών Τύπου Ιχ (%)*	11,5 ± 4,9	9,6 ± 5,1	7,2 ± 3,4
Επίδοση Δρόμου Ταχύτητας 10m (sec)*	1,9 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,5 ± 0,1
Επίδοση Δρόμου Ταχύτητας 60m (sec)*	9,3 ± 0,4	8,5 ± 0,2	7,9 ± 0,5
Ρίψη Εμπρός Σφαίρας 6Kg (m)	10,1 ± 1,3	11,2 ± 0,7	12,9 ± 1,6
Ρίψη Τελική Διπλή Στήριξη Σφαίρας	7,7 ± 0,6	8,7 ± 0,8	9,5 ± 1,3
CMJ Ύψος (cm)	40,1 ± 0,2	41,4 ± 0,6	41,5 ± 0,7
SJ Ύψος(cm)	34,2 ± 0,4	35,7 ± 0,4	36,1 ± 0,6
CMJ Μέγιστη Ισχύς (W)*	1000,8 ± 138,7	1274,6 ± 82,4	1488,8 ± 184,9
SJ Μέγιστη Ισχύς (W)*	844,4 ± 213,4	1001,8 ± 99,7	1270,4 ± 197,1

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως Μέσος Όρος ± Τυπική Απόκλιση. % CSA = Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών; CMJ = Επιτόπιο άλμα με αιώρηση; SJ = Άλμα από ημικάθισμα. Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των 3 ομάδων. Με (**) συμβολίζονται τα δεδομένα από το εβδομαδιαίο αναδρομικό ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα.

Σημαντικό ζήτημα ήταν σε κάθε ομάδα να συμμετέχουν σχεδόν ο ίδιος αριθμός ατόμων που πραγματοποιούσε ένα αγώνισμα-άθλημα. Επομένως, σε κάθε ομάδα συμμετείχαν 4-5 αθλητές καλαθοσφαίρισης, 2-3 δρομείς ταχύτητας, 2-3 άλτες και 2-3 που πραγματοποιούσαν συστηματικά προπόνηση αντιστάσεων. Η συχνότητα των προπονητικών μονάδων ανά εβδομάδα ήταν 3 για τα Αρχάρια άτομα, 3-5 για την ομάδα Μεσαίου Επιπέδου και 4-6 για τους Έμπειρους. Όλοι οι συμμετέχοντες, πραγματοποιούσαν συνεδρίες προπόνησης δύναμης και ισχύος επί εβδομαδιαία βάση (συνήθως 3 με 6 σειρές των 1 έως 6-MAE), οι οποίες περιλάμβαναν ολυμπιακές άρσεις και πολυαρθρικές ασκήσεις για τις μεγάλες μυϊκές ομάδες: πιέσεις ποδιών, πιέσεις στήθους, ημικαθίσματα κ.τ.λ. Παράλληλα, δρόμοι ταχύτητας, πλειομετρικές και βαλλιστικές ασκήσεις, όπως άλματα βάθους, άλματα με αιώρηση και από ημικάθισμα κ.τ.λ., πραγματοποιούνταν 1-4 φορές την εβδομάδα.

Ο πειραματικός σχεδιασμός της παρούσας έρευνας αποτελούταν από 8 επισκέψεις στο εργαστήριο για κάθε δοκιμαζόμενο. Κατά την πρώτη επίσκεψη, οι δοκιμαζόμενοι υπέγραψαν το έντυπο συναίνεσης, αξιολογήθηκαν τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά και η κατάσταση υγείας τους και συμπλήρωσαν το εβδομαδιαίο αναδρομικό ερωτηματολόγιο και το ερωτηματολόγιο Waterloo Footedness Questionnaire (WFQ-R, ICC=0.92) για την τεκμηρίωση του κυρίαρχου ποδιού, όπως έχει προηγουμένως περιγράψει (Elias et al., 1998; Kapreli et al., 2006). Κατά την 2^η και 3^η επίσκεψη τους, πραγματοποίησαν 2 συνεδρίες εξοικείωσης με τις αξιολογήσεις της παρούσας έρευνας. Εν συντομία, μέσα από αυτή την εργασία αξιολογήθηκε η δρομική επίδοση στον δρόμο ταχύτητας 0-10μ και 0-60μ (N. K. Harris et al., 2008), η αλτική επίδοση μέσω κατακόρυφου άλματος από ημικάθισμα (SJ) και αιώρηση (CMJ) (Bosco, et al., 1982; Bosco, Komi, et al., 1983; Bosco, Luhtanen, et al., 1983; Earp, et al., 2010) και η ριπτική επίδοση μέσα από την ρίψη 6Kg σφαίρας από τελική διπλή στήριξη και ρίψη εμπρός (Terzis, et al., 2003; Terzis, Stratakis, et al., 2008; Zaras et al., 2013). Κατά την 4^η έως την 7^η επίσκεψη τους στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν οι τελικές δοκιμασίες με τυχαία σειρά για κάθε άτομο (σε κάθε επίσκεψη πραγματοποιήθηκε 1 ή 2 αξιολογήσεις, ενώ η κάθε αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε 2 φορές με μια εβδομάδα κενό ανάμεσα σε κάθε επίσκεψη). Όλοι οι δοκιμαζόμενοι είχαν ακριβώς τον ίδιο αριθμό επισκέψεων ακριβώς τις ίδιες μέρες ξεκούρασης ανάμεσα σε κάθε επίσκεψη. Κατά την 8^η επίσκεψη τους αξιολογήθηκε η σύσταση του σώματος και συγκεκριμένα η άλιπη μάζα μέσω της τεχνικής της απορροφησιομετρίας διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων X (DXA) (Kullberg et al., 2009; Kyriazis, et al., 2010). Εκτιμήθηκε η εγκάρσια επιφάνεια των μυών του μηρού μέσω δερματοπτυχών και περιφερειών (DeFreitas et al., 2010; Housh et al., 1995), η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μέσω υπερηχογραφίας (Abe, et al., 2001; Kumagai, et al., 2000; Zaras, et al., 2013) και η κατανομή των μυϊκών ινών μέσω λήψης μυϊκού ιστού, μέσω μυϊκής βιοψίας (Bergstrom, 1962; Evans et al., 1982) και ιστοχημικής χρώσεως ATPάσης σε pH 4.3, 4.6, και 10.3 (Brooke & Kaiser, 1970b; Terzis, et al., 2010). Εκτός από την μεθοδολογία για την αξιολόγηση της δρομικής, αλτικής και ριπτικής επίδοσης καθώς και της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου μυός και της εγκάρσιας επιφάνειας των μηριαίων μυών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, οι υπόλοιπες μεθοδολογίες των

μετρήσεων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο Μεθοδολογία της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Η αξιολόγηση της αλτικής επίδοσης πραγματοποιήθηκε μέσα από τις δοκιμασίες CMJ και SJ, με την χρήση τάπητα επαφής (contact mat; Tesys Suite Ergo System, Globus Sport & Health Technologies, Italy), όπως έχει προηγουμένως περιγραφτεί (Bosco, et al., 1982; Bosco, Komí, et al., 1983; Bosco, Luhtanen, et al., 1983). Όλοι οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν αρχικά 5 λεπτά ελαφρύ ζέσταμα σε εργοποδήλατο και έπειτα 5 λεπτά διατάσεις για τις μυϊκές ομάδες των κάτω άκρων. Έπειτα από 5 λεπτά, πραγματοποίησαν 3 υπομέγιστα άλματα. Ακολούθως, πραγματοποίησαν 3 μέγιστες προσπάθειες για κάθε αλτική αξιολόγηση, με τα χέρια μεσολαβή, όπου 3 λεπτά ξεκούρασης μεσολαβούσαν μεταξύ των προσπαθειών σε κάθε είδος άλματος και 5 μεταξύ των 2 ειδών. Το ύψος και η μέγιστη ισχύς του κάθε άλματος υπολογίστηκαν αυτόματα μέσα από το λογισμικό του Tesys Suite Ergo System, σύμφωνα με τις εξισώσεις: Ύψος Άλματος (m) = $(9,81 \cdot \text{Χρόνος Πτήσης})^2 \cdot 8^{-1}$, ενώ για την Ισχύ (W) = $60,7 \cdot \text{Ύψος Άλματος} + 45,3 \cdot \text{Σωματικό Βάρος} - 2055$ (Sayers et al., 1999). Σε κάθε περίπτωση η καλύτερη επίδοση σε κάθε είδος άλματος χρησιμοποιήθηκε στην στατιστική ανάλυση. Ο συντελεστής αξιοπιστίας (ICC) για το SJ και το CMJ ήταν 0.90, (95% CI: Lower = 0.89, Upper = 0.99) και 0.91, (95% CI: Lower = 0.90, Upper = 0.99) αντιστοίχως, $p < 0.0001$, $n = 13$ (Zaras et al., 2014).

Η αξιολόγηση της δρομικής επίδοσης (60μ) πραγματοποιήθηκε σε εξωτερικό χώρο σε ελαστικό τάπητα, όπου η θερμοκρασία κυμαινόταν μεταξύ 19-23°C και η ταχύτητα του αέρα μεταξύ 0 έως $+0,8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, ταχύτητα η οποία ήταν σαφώς μικρότερη από το όριο των $+2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ που έχει επιβληθεί από την παγκόσμια ομοσπονδία κλασικού αθλητισμού (International Association of Athletics Federations) για την μη ακύρωση των επιδόσεων στους δρόμους ταχύτητας. Τρία ζευγάρια ασύρματων φωτοκυψελών (Brower Timing System, USA; accuracy 0.01 sec), τοποθετήθηκαν στην γραμμή εκκίνησης (0μ), στα πρώτα 10μ και στο τέλος των 60μ. Έπειτα από την πραγματοποίηση ενός 10λεπτου ζεστάματος, το οποίο περιελάμβανε ήπιο τρέξιμο, διατατικές, βαλλιστικές και δρομικές ασκήσεις, κάθε δοκιμαζόμενος πραγματοποίησε 2-3 υπομέγιστες προσπάθειες. Δέκα λεπτά από το τέλος των προσπαθειών αυτών, πραγματοποιήθηκαν και 3 μέγιστες προσπάθειες με 6-8 λεπτά ξεκούραση ανάμεσα τους. Και πάλι η καλύτερη προσπάθεια χρησιμοποιήθηκε περαιτέρω (ICC = 0.91, 95% CI: Lower = 0.88, Upper = 0.95; $p < 0.0001$, $n=15$).

Η ριπτική επίδοση αξιολογήθηκε μέσα από τις δοκιμασίες ρίψης 6Kg σφαίρας από τελική διπλή στήριξη και ρίψη εμπρός (Terzis, et al., 2003; Terzis, Stratakos, et al., 2008; Zaras, et al., 2013), λόγω της περιορισμένη γνώσης της τεχνική των ρίψεων που είχαν οι δοκιμαζόμενοι. Όλες οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν μέσα σε βαλβίδα σφαιροβολίας, ενώ είχε σχηματιστεί στο έδαφος ειδικό γράφημα τοποθέτησης των ποδιών ώστε να υπάρχει σημείο αναφοράς της μέτρησης. Αφού οι δοκιμαζόμενοι ολοκλήρωσαν μια βασική προθέρμανση με 5-10 λεπτά τρέξιμο και διατάσεις τους δόθηκαν δύο με τρεις δοκιμαστικές προσπάθειες με σφαίρα 6kg για όλες τις ρίψεις. Κατά τη ρίψη εμπρός με τα δύο χέρια ο δοκιμαζόμενος στεκόταν με μέτωπο στο πεδίο βολής κρατώντας τη σφαίρα με τα δύο χέρια πάνω από το κεφάλι του. Έπειτα λύγιζε τα γόνατά του σε γωνία περίπου 90° και

ταυτόχρονα έφερνε τη σφαίρα με τα χέρια του τεντωμένα χαμηλά ανάμεσα από τα πόδια του. Από τη θέση αυτή έσπρωχνε τη σφαίρα προς το πεδίο βολής. Τέλος, στη ρίψη με μέτωπο ο δοκιμαζόμενος στεκόταν με μέτωπο και πόδια παράλληλα προς το πεδίο βολής. Η σφαίρα τοποθετούταν πάνω από τον ώμο του, ενώ το αριστερό χέρι βρισκόταν απλωμένο εμπρός. Από τη θέση αυτή ο δοκιμαζόμενος λύγιζε τα πόδια του ενώ του επιτρεπόταν και μια μικρή στροφή του κορμού προς τα δεξιά. Ολοκληρώνοντας τη ρίψη ο δοκιμαζόμενος ωθούσε τη σφαίρα πάνω από το ύψος των ώμων του προς το πεδίο βολής τεντώνοντας πρώτα τα πόδια του και έπειτα το χέρι ρίψης. Η μέτρηση των ρίψεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μεζούρας τύπου Polanik. Πιο συγκεκριμένα, κάθε βολή μετριόταν από το σταθερό σημείο ρίψης των δοκιμαζόμενων έως το πρώτο ίχνος που άφηνε η σφαίρα προς το σημείο αυτό. Οι σφαίρες που χρησιμοποίησαν οι δοκιμαζόμενοι ήταν τύπου Berg. Τρεις προσπάθειες δόθηκαν σε κάθε δοκιμαζόμενο σε κάθε ριπτική αξιολόγηση. Και πάλι η καλύτερη προσπάθεια χρησιμοποιήθηκε περαιτέρω σε κάθε αξιολόγηση. Μεταξύ των προσπαθειών δινόταν διάλειμμα διάρκειας 2 λεπτών ενώ από άσκηση σε άσκηση 3 λεπτά. Ο συντελεστής αξιοπιστίας για της 2 αυτές ριπτικές επιδόσεις ήταν 0.89 και 0.90 (95% CI: Lower = 0.85 / 0.87 και Upper = 0.92 / 0.95; $p < 0.0001$, $n=10$) αντιστοίχως.

Η εγκάρσια επιφάνεια των μηριαίων μυών του κυρίαρχου ποδιού εκτιμήθηκε μέσω ανθρωπομετρικών μετρήσεων και δερματοπτυχών, σύμφωνα με την εξίσωση του Housh et al.: $(4.68 \cdot \text{Περιφέρεια μηριαίων μυών στην μέση της απόστασης μεταξύ μείζονος τροχαντήρα και επιγονατίδας σε cm}) - (0.64 \cdot \text{δερματοπτυχή του τετρακεφάλου σε mm}) - 22.69$ (Housh, et al., 1995). Η περιφέρεια μηριαίων μυών μετρήθηκε από όρθια θέση με το γόνατο ελαφρά λυγισμένο, μέσω μετροταινίας στο πλησιέστερο 0,1 cm, ενώ η δερματοπτυχή του τετρακεφάλου έτσι όπως έχει προηγουμένως περιγραφεί (Housh, et al., 1995). Κάθε δερματοπτυχή πραγματοποιήθηκε 2 φορές από τον ίδιο ερευνητή, μέσω δερματοπτυχόμετρου τύπου Harpenden (CMS Weighing Equipment, London, UK). Ο συντελεστής αξιοπιστίας της παρούσας αξιολόγησης ήταν 0.89, (95% CI: Lower = 0.81, Upper = 0.93, $p < 0.0001$, $n = 15$).

Η αρχιτεκτονική δομή του έξω πλατύ μηριαίου μυός πραγματοποιήθηκε μέσω υπερηχογραφικής τεχνικής, 5 μέρες κατά ελάχιστο μετά την τελευταία αξιολόγηση της επίδοσης. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε ακριβώς στο κέντρο του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Αρχικά, μετρήθηκε η απόσταση από τον μείζονα τροχαντήρα ως την επιγονατίδα και το κέντρο σημειώθηκε με μαρκαδόρο, ενώ το πόδι τοποθετήθηκε με ελαφριά κάμψη του γόνατος, της τάξεως των 5° (Blazevich et al., 2007; Stasinaki et al., In press). Έπειτα, μέσω της υπερηχογραφικής συσκευής τύπου B-Mode Ultra Sound με κεφαλή 45mm (6.5 MHz, MicroMaxx Ultrasound System, Sonosite, Bothel, USA), και υδατοδιαλυτής γέλης, λήφθηκαν παράλληλες προς την κατεύθυνση των μυϊκών δεματιών, εικόνες όπου αναλύθηκαν μέσω ειδικού προγράμματος μορφομετρίας (ImagePro, Media Cybernetics Inc, Silver Spring, MD, USA). Αξιολογήθηκε το πάχος του μυός, ως η μέση απόσταση μεταξύ της άνω και της κάτω απονεύρωσης, η γωνία πρόσφυσης των μυϊκών δεματιών στην κάτω απονεύρωση και τέλος το μήκος των μυϊκών δεματιών, όπως έχει περιγραφεί προηγουμένως (Stasinaki, et al., In press). Σε περίπτωση που το μήκος των δεματιών υπερέβαινε το μήκος της εικόνας, το μήκος υπολογιζόταν βάσει της

προέκτασης της γραμμής του μέχρι τώρα μήκους, μέχρι την ένωση με την νοητή γραμμή της προέκτασης της άνω απονεύρωσης (Abe, et al., 2001; Blazeovich, et al., 2007; Stasinaki, et al., In press). Το περιθώριο λάθους αυτής της τεχνικής έχει υπολογιστεί ότι είναι λιγότερο του 2,3% (Reeves & Narici, 2003). Ο συντελεστής αξιοπιστίας για την εκτίμηση του πάχους του έξω πλατύ μηριαίου ήταν 0.976 (95% CI: 0.954 - 0.988; $p < 0.0001$), της γωνίας πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων 0.862 (95% CI: 0.746 - 0.928; $p < 0.0001$) και του μήκους 0.834 (95% CI: 0.700 - 0.911; $p < 0.0001$).

Η στατιστική ανάλυση περιελάμβανε περιγραφική στατιστική με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, την ανάλυση διασποράς για ανεξάρτητα δείγματα (One-Way Anova), για την διερεύνηση των διαφορών μεταξύ των 3 πειραματικών ομάδων της έρευνας αυτής. Όταν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά, εφαρμόστηκε το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης συσχέτισης του Pearson, για την διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της επίδοσης και των επιλεγμένων βιολογικών παραμέτρων των μυών, και τέλος πολυμεταβλητή κανονική συσχέτιση (Taskinen et al., 2006). Με βάση τις προσχεδιασμένες αναλύσεις συσχετίσεων μεταξύ των παραγόντων, τους κανόνες της πολυμεταβλητής κανονικής συσχέτισης και τα αποτελέσματα των ερευνών της βιβλιογραφίας, στον παράγοντα εξήγησης της επίδοσης «Βιολογικοί Παράγοντες» συμπεριλήφθηκαν οι μεταβλητές: (1) δείκτης μάζας σώματος, (2) άλιπη μάζα των κάτω άκρων, (3) εγκάρσια επιφάνεια των μυών του μηρού, (4) τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά (πάχος, γωνία πρόσφυσης και μήκος μυϊκών δεματίων) και (5) το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας (%CSA) των μυϊκών ινών τύπου Ια και Ιγ του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Στον παράγοντα «Δρομική Επίδοση» συμπεριλήφθηκαν οι μεταβλητές της επίδοσης στους δρόμους 60μ και 10μ. Στον παράγοντα «Ριπτική Επίδοση» συμπεριλήφθηκαν οι μεταβλητές της επίδοσης της ρίψης σφαίρας από διπλή στήριξη και εμπρός, καθώς και η μέγιστη απόσταση και ισχύς κατά την βαλλιστική αξιολόγηση. Τέλος, στον παράγοντα «Αλτική Ικανότητα» συμπεριλήφθηκαν οι μεταβλητές του ύψους κατά το κατακόρυφο άλμα από αιώρηση και η ισχύς κατά το άλμα από το ημικάθισμα. Σύμφωνα με τους κανόνες της πολυμεταβλητής κανονικής συσχέτισης, τιμές βαρύτητας (φορτίσεις) άνω του 0,300 θεωρούνται σημαντικές (Taskinen, et al., 2006). Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων παρουσιάζονται στους πίνακες 2.2 έως 2.5, ενώ της πολυμεταβλητής κανονικής συσχέτισης για την δρομική, ριπτική και αλτική επίδοση παρουσιάζονται στον πίνακα 2.6. Τέλος, πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Ισχύος (Power Analysis), μέσω του στατιστικού προγράμματος G*Power έκδοση 3.1 (Frank Faul, Universitat Kiel, Germany), για την ανεύρεση του απαραίτητου αριθμού συμμετεχόντων, με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό της παρούσας έρευνας (Faul et al., 2007). Από την ανάλυση ισχύος διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα των συσχετίσεων είχαν μια πραγματική ισχύς (actual power) η οποία κυμαινόταν από 0,85 έως 0,91, ενώ για τις διαφορές ανάμεσα στις ομάδες η ισχύς ήταν της τάξεως του 0,90. Τέλος για τα αποτελέσματα της πολυμεταβλητής κανονικής συσχέτισης η πραγματική ισχύς ανερχόταν στο 0,70.

Από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων (πίνακας 2.1), τόσο για τα αποτελέσματα του αναδρομικού ερωτηματολογίου φυσικής δραστηριότητας όσο και για την άλιπη μάζα (συνολική

και κάτω άκρων), την εγκάρσια επιφάνεια των μηριαίων μυών και το μήκος του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Παράλληλα, το ποσοστό και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας (%CSA) των μυϊκών ινών τύπου Πα και Πχ, η δρομική, αλτική και ριπτική επίδοση ήταν υψηλότερα στην ομάδα των έμπειρων αθλητών ακολουθούμενη από την ομάδα των ατόμων της Μεσαίας Εμπειρίας και τελευταία των αρχάριων ατόμων ($p < 0,05$; Πίνακας 2.1).

Όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχθηκαν σαν μια ενιαία ομάδα, η ισχύς κατά τα άλματα συσχετιζόταν με την συνολική αλλά και την άλιπη μάζα των κάτω άκρων, ενώ μικρότερες συσχετίσεις παρουσίαζε με το πάχος του έξω πλατύ μηριαίου, το μήκος των μυϊκών δεματίων και την εγκάρσια επιφάνεια (CSA) των μυϊκών ινών τύπου Πα και Πχ (πίνακας 2.2). Μικρές αλλά σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ της επίδοσης (χρόνο) στα 10μ ταχύτητας και το πάχος, την γωνία πρόσφυσης και την εγκάρσια επιφάνεια των μηριαίων μυών ($r = 0.40$, $r = 0.32$, και $r = 0.42$, $p < 0.05$, αντιστοίχως). Η ριπτική επίδοση συσχετιζόταν σημαντικά με την συνολική και την άλιπη μάζα των κάτω άκρων (ο δείκτης συσχέτισης του Pearson κυμαινόταν μεταξύ 0.40 έως 0.50, $p < 0.05$), καθώς και με την εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου Ι και Πα ($r = 0.32 - 0.44$, $p < 0.05$; πίνακας 2.2).

Πίνακας 2.2. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n = 36$).

Παράμετρος		Άλιπη Μάζα		Εγκάρσια Επιφάνεια Μηριαίων	Αρχιτεκτονική Δομή			CSA		
		Συνολική	Κάτω Άκρων		Πάχος	Μήκος	Γωνία	I	IIA	IIIX
Δρομική Ταχύτητα#	0-10m	-,02	-,08	,26	,19	-,05	-,10	-,10	-,02	-,02
	0-60m	,29	,23	,40*	,42*	,23	,32*	,03	,19	,22
Ριπτική Επίδοση	Ρίψη Εμπρός	,48*	,51*	,09	,02	,22	-,05	,16	,44*	,36*
	Τελική Στήριξη	,46*	,50*	,18	,05	,26	,05	,16	,39*	,32*
Αλτική Επίδοση	SJ Ύψος	,25	,32*	,09	-,02	,29	-,04	,09	,23	,32*
	CMJ Ύψος	,21	,27	,04	-,01	,32*	,02	,00	,17	,22
	SJ Ισχύ	,79*	,81*	,50*	,36*	,36*	,08	,27	,47*	,52*
	CMJ Ισχύ	,60*	,67*	,46*	,23	,32*	,14	,14	,37*	,43*

CSA = Εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών; CMJ = Επιτόπιο άλμα με αιώρηση; SJ = Άλμα από ημικάθισμα; Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις ($p < 0.05$); Με (#), οι θετικές συσχετίσεις μεταξύ του χρόνου στις δρομικές αξιολογήσεις και τους βιολογικούς παράγοντες, παρουσιάζουν μια αρνητική επίδραση στην επίδοση (όσο αυξάνεται ο ένας παράγοντας αυξάνεται και ο χρόνος της επίδοσης).

Όταν οι παραπάνω συσχετίσεις ελέγχθηκαν για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά διαπιστώθηκε ότι το ύψος και η ισχύς κατά το SJ συσχετιζόνταν με την άλιπη μάζα, ενώ το ύψος συσχετιζόταν και με το μέγεθος των μυϊκών ινών όλων των τύπων, στα Αρχάρια άτομα (πίνακας 2.3). Παράλληλα, σε αυτή την ομάδα διαπιστώθηκαν και σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ του ύψους κατά το CMJ και του ποσοστού και

%CSA των ινών τύπου II. Για την ομάδα των ατόμων της Μεσαίας Εμπειρίας, σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ της ισχύος κατά τα άλματα και την άλιπη μάζα (συνολική και κάτω άκρων; πίνακας 2.4). Στην ίδια ομάδα η ισχύς κατά το SJ συσχετιζόταν με το μήκος των μυϊκών δεματίων ($r = 0.73$, $p < 0.05$) και την εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου IIα ($r = 0.57$, $p < 0.05$). Τέλος, για την ομάδα των Έμπειρων αθλητών, διαπιστώθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης μυϊκής ισχύος κατά το SJ και την άλιπη μάζα, ενώ η ισχύς κατά το CMJ συσχετιζόταν με το μήκος των μυϊκών δεματίων ($r = 0.57$, $p < 0.05$) και την CSA των ινών IIχ. Η επίδοση στα 10 μέτρα (χρόνος) δεν συσχετιζόταν με κανέναν βιολογικό παράγοντα σε καμιά ομάδα, εκτός από μια μέτρια συσχέτιση με το ποσοστό των ινών τύπου IIα και μια αρνητική συσχέτιση με την γωνία πρόσφυσης των μυϊκών δεματίων, στην ομάδα της Μεσαίας Εμπειρίας ($r = 0.61$ και $r = -0.65$, $p < 0.05$, αντίστοιχα). Η ριπτική επίδοση συσχετιζόταν σημαντικά με την άλιπη μάζα και το μήκος των μυϊκών δεματίων στα Αρχάρια άτομα ($r = 0.58$ και 0.63 αντίστοιχα, $p < 0.05$).

Πίνακας 2.3. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για τα Αρχάρια άτομα ($n = 12$).

Παράμετρος		Άλιπη Μάζα		Εγκάρσια Επιφάνεια Μηριαίων	Αρχιτεκτονική Δομή			CSA		
		Συνολική	Κάτω Άκρων		Πάχος	Μήκος	Γωνία	I	IIα	IIχ
Δρομική Ταχύτητα #	0-10m	,08	,21	,50	,39	,45	,24	-,22	-,14	,02
	0-60m	-,08	,07	,38	,29	,48	-,25	-,08	-,07	-,06
Ριπτική Επίδοση	Ρίψη Εμπρός	,44	,41	,20	-,25	,63*	,08	,14	,24	,17
	Τελική Στήριξη	,58*	,45	,37	-,09	,44	,03	,25	,39	,38
Αλτική Επίδοση	SJ Ύψος	,69*	,74*	,54	-,05	-,34	-,01	,57*	,64*	,73*
	CMJ Ύψος	,35	,54	,05	-,34	-,46	,40	,30	,40	,36
	SJ Ισχύ	,72*	,83*	,41	,29	-,09	,04	,33	,43	,50
	CMJ Ισχύ	,45	,61*	,43	,00	-,18	,05	,15	,30	,27

CSA = Εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών; CMJ = Επιτόπιο άλμα με αιώρηση; SJ = Άλμα από ημικάθισμα; Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις ($p < 0.05$); Με (#), οι θετικές συσχετίσεις μεταξύ του χρόνου στις δρομικές αξιολογήσεις και τους βιολογικούς παράγοντες, παρουσιάζουν μια αρνητική επίδραση στην επίδοση (όσο αυξάνεται ο ένας παράγοντας αυξάνεται και ο χρόνος της επίδοσης).

Πίνακας 2.4. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για τα άτομα της ομάδας Μεσαίας Εμπειρίας ($n = 12$).

Παράμετρος		Άλιπη Μάζα		Εγκάρσια Επιφάνεια Μηριαίων	Αρχιτεκτονική Δομή			CSA		
		Συνολική	Κάτω Άκρων		Πάχος	Μήκος	Γωνία	I	IIA	IIIX
Δρομική Ταχύτητα #	0-10m	,16	,13	,21	,48	,18	-,65*	,12	,19	,15
	0-60m	-,11	-,20	,37	-,19	-,45	-,17	-,52	-,16	,13
Ριπτική Επίδοση	Ρίψη Εμπρός	,38	,43	-,42	,20	,55	,31	,58*	,50	,31
	Τελική Στήριξη	,19	,35	-,07	,18	,21	,36	,29	,44	,22
Αλτική επίδοση	SJ Ύψος	-,09	-,14	-,07	,08	,57*	,18	-,01	,11	,05
	CMJ Ύψος	-,02	,09	,15	,17	,64*	,05	,09	,09	,01
	SJ Ισχύ	,75*	,68*	,41	,35	,73*	,28	,16	,57*	,39
	CMJ Ισχύ	,72*	,69*	,53	,17	,35	,32	-,05	,46	,34

CSA = Εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών; CMJ = Επιτόπιο άλμα με αιώρηση; SJ = Άλμα από ημικάθισμα; Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις ($p < 0.05$); Με (#), οι θετικές συσχετίσεις μεταξύ του χρόνου στις δρομικές αξιολογήσεις και τους βιολογικούς παράγοντες, παρουσιάζουν μια αρνητική επίδραση στην επίδοση (όσο αυξάνεται ο ένας παράγοντας αυξάνεται και ο χρόνος της επίδοσης).

Πίνακας 2.5. Συσχετίσεις μεταξύ της αλτικής, δρομικής και ριπτικής επίδοσης με τους επιλεγμένους βιολογικούς παράγοντες του έξω πλατύ μηριαίου μυός, για τα Έμπειρα άτομα ($n = 12$).

Παράμετρος		Άλιπη Μάζα		Εγκάρσια Επιφάνεια Μηριαίων	Αρχιτεκτονική Δομή			CSA		
		Συνολική	Κάτω Άκρων		Πάχος	Μήκος	Γωνία	I	IIA	IIIX
Δρομική Ταχύτητα #	0-10m	,40	,14	,29	,27	-,02	-,17	,19	,39	,38
	0-60m	,01	-,20	,16	,28	-,20	,06	,04	,06	-,07
Ριπτική Επίδοση	Ρίψη Εμπρός	,41	,47	-,16	-,18	,30	-,48	-,07	,49	,45
	Τελική Στήριξη	,36	,44	-,14	-,27	,33	-,29	-,07	,23	,30
Αλτική Επίδοση	SJ Ύψος	,28	,41	-,03	-,17	,33	-,18	-,14	,19	,38
	CMJ Ύψος	,31	,40	-,09	-,09	,34	-,19	-,26	,12	,34
	SJ Ισχύ	,79*	,74*	,34	,19	,35	-,21	,15	,37	,64*
	CMJ Ισχύ	,73*	,75*	,33	,33	,59*	-,03	,18	,50	,71

CSA = Εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών; CMJ = Επιτόπιο άλμα με αιώρηση; SJ = Άλμα από ημικάθισμα; Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις ($p < 0.05$); Με (#), οι θετικές συσχετίσεις μεταξύ του χρόνου στις δρομικές αξιολογήσεις και τους βιολογικούς παράγοντες, παρουσιάζουν μια αρνητική επίδραση στην επίδοση (όσο αυξάνεται ο ένας παράγοντας αυξάνεται και ο χρόνος της επίδοσης).

Από τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα διαπιστώνεται ότι, ανεξάρτητα από την παράμετρο επίδοσης, στα αρχάρια άτομα η

πιο σημαντική παράμετρος του μυός είναι η άλιπη μάζα των κάτω άκρων ακολουθούμενη από τους λοιπούς ανθρωπομετρικούς παράγοντες, ενώ οι ποιοτικές μεταβλητές του μυός έχουν είτε μικρή είτε μηδενική σημαντικότητα. Για τα άτομα που έχουν από 1 έως 3 χρόνια προπονητικής εμπειρίας διαπιστώνεται μια εξισορρόπηση των σημαντικοτήτων μεταξύ των ανθρωπομετρικών παραμέτρων, της αρχιτεκτονικής δομής του έξω πλατύ μηριαίου και του % CSA των ινών τύπου Πα και Πχ. Τέλος η δομική, ριπτική και αλτική επίδοση στα προχωρημένα άτομα (>3 χρόνια προπονητικής εμπειρίας) βασίζεται κυρίως στο % CSA των μυϊκών ινών τύπου Πα και Πχ και στο μήκος των μυϊκών ινών.

Πίνακας 2.6. Αποτελέσματα και φορτίσεις της πολυμεταβλητής κανονικής συσχέτισης.

	<1 Χρόνο Εμπειρίας	1-3 Χρόνια Εμπειρίας	>3 Χρόνια Εμπειρίας
Δρομική Επίδοση			
r_c / p	0,848 / 0,01	0,997 / 0,003	0,906 / 0,032
Δείκτης Μάζας Σώματος	0,403	N.S.	N.S.
Άλιπη Μάζα Ποδιών	0,558	0,453	N.S.
Εγκ. Επιφάνεια Μηριαίων Μυών	0,467	0,450	0,309
Πάχος Έξω Πλατύ	0,401	0,395	0,351
Μήκος Δεματίων Έξω Πλατύ	N.S.	-0,361	-0,404
Γωνία Μυϊκών Δεματίων	0,449	0,304	0,301
%CSA Τύπου Πα	N.S.	-0,363	-0,488
%CSA Τύπου Πχ	N.S.	-0,482	-0,504
Αλτική Επίδοση			
r_c / p	0,981 / 0,04	0,978 0,03	0,922 / 0,02
Δείκτης Μάζας Σώματος	0,741	0,582	0,443
Άλιπη Μάζα Ποδιών	0,763	0,606	0,603
Εγκ. Επιφάνεια Μηριαίων Μυών	0,640	0,457	0,452
Πάχος Έξω Πλατύ	0,546	0,489	0,358
Μήκος Δεματίων Έξω Πλατύ	N.S.	0,487	0,566
Γωνία Μυϊκών Δεματίων	N.S.	0,346	0,35
%CSA Τύπου Πα	0,341	0,572	0,615
%CSA Τύπου Πχ	N.S.	N.S.	N.S.
Ριπτική Επίδοση			
r_c / p	0,980 / 0,003	0,943 / 0,01	0,995 / 0,007
Δείκτης Μάζας Σώματος	0,491	0,382	N.S.
Άλιπη Μάζα Ποδιών	0,770	0,690	0,549
Εγκ. Επιφάνεια Μηριαίων Μυών	0,501	0,428	0,406
Πάχος Έξω Πλατύ	0,600	0,350	N.S.
Μήκος Δεματίων Έξω Πλατύ	N.S.	0,412	0,730
Γωνία Μυϊκών Δεματίων	N.S.	N.S.	N.S.
%CSA Τύπου Πα	0,323	0,407	0,671
%CSA Τύπου Πχ	N.S.	N.S.	0,421

N.S. = Μη στατιστικά σημαντικό; %CSA = Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας του Μυός από τις Μυϊκές Ίνες.

Το κύριο εύρημα της πιλοτικής αυτής έρευνας (Methenitis, et al., 2015) ήταν ότι η επίδοση σε δραστηριότητες ισχύος, όπως οι δρόμοι ταχύτητας, τα άλματα και οι ρίψεις, βασίζεται σε διαφορετικές βιολογικές παραμέτρους των μυών, ανάλογα με την προπονητική εμπειρία των αθλητών. Η άλιπη μάζα των κάτω άκρων φαίνεται να είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας επίδοσης σε αυτές τις δραστηριότητες στα αρχάρια άτομα, στα οποία τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μυών φαίνεται να μην συμβάλλουν αρκετά. Ωστόσο, όσο αυξάνεται η προπονητική εμπειρία των αθλητών ταχυδυναμικών αγωνισμάτων, διαπιστώνεται ότι η επίδοση στους δρόμους ταχύτητας, στα άλματα και στις ρίψεις στηρίζεται ολοένα και περισσότερο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μυών, όπως το μήκος των μυϊκών δεματίων και το % CSA των μυϊκών ινών τύπου II. Η συστηματική προπόνηση ισχύος προκαλεί συγκεκριμένες βιολογικές προσαρμογές, κατά κύριο λόγο στο νευρικό σύστημα, με αποτέλεσμα να καθιστά αυτά τα άτομα ικανά να χρησιμοποιήσουν επαρκώς τα ενδομυϊκά χαρακτηριστικά τους (Cormie, et al., 2011a, 2011b). Επομένως, τα ποιοτικά και όχι τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των μυών των προχωρημένων ατόμων φαίνεται να συμβάλλουν στην απόδοση κατά την πραγματοποίηση δυναμικών δραστηριοτήτων, πιθανότατα λόγω των ειδικών νευρικών προσαρμογών που έχουν μέσα από την προπόνηση ισχύος, όπως για παράδειγμα στην καλύτερη και μεγαλύτερη επιστράτευση των μυϊκών ινών τύπου II (Cormie, et al., 2011a, 2011b).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι τόσο στις απλές συσχετίσεις όσο και στην κανονική πολυμεταβλήτη συσχέτιση, όλοι οι παράγοντες υπερτροφίας έχουν θετική συσχέτιση με την δρομική επίδοση, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η υπερτροφία ενός ατόμου τόσο μεγαλώνει ο χρόνος που χρειαζόταν για να καλύψει την εκάστοτε απόσταση, άρα επετύγχανε χειρότερη επίδοση. Και αυτό, διότι το τρέξιμο όπως και το άλμα είναι μεταφορά βάρους και καθορίζονται πρωτίστως από την ικανότητα ενός ατόμου για μεγάλη παραγωγή ισχύος και κυρίως την παραγωγή υψηλής σχετικής μυϊκής ισχύος (Chelly, et al., 2010; Chelly & Denis, 2001; Kano et al., 1997), ιδιότητα η οποία καθορίζεται από τα ενδομυϊκά και νευρικά χαρακτηριστικά (Cormie, et al., 2011a). Επομένως, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι η εκτεταμένη υπερτροφία τόσο στους δρόμους ταχύτητας όσο και στα άλματα δεν είναι θετικός παράγοντας στην επίδοση εάν δεν συνοδεύεται από εκτεταμένη ικανότητα χρήσης των ενδομυϊκών χαρακτηριστικών, κυρίως λόγω συγκεκριμένων νευρομυϊκών χαρακτηριστικών (Cormie, et al., 2011a, 2011b; Newton & Kraemer, 1994)

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της εν λόγω πιλοτικής έρευνας παρουσιάζουν (Methenitis, et al., 2015), για πρώτη φορά, ότι η προπονητική εμπειρία επηρεάζει τις συσχετίσεις μεταξύ των διαφόρων βιολογικών παραμέτρων των μυών και της επίδοσης σε δυναμικές δραστηριότητες, με τα αρχάρια άτομα να βασίζονται κυρίως στο μέγεθος των μυών και όχι στην κατανομή των μυϊκών ινών ή και στο σύνολο των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μυών τους, πιθανότατα λόγω των περιορισμένων νευρικών προσαρμογών που έχουν, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ενεργοποιήσουν και να τα εκμεταλλευτούν στο έπακρο (Cormie, et al., 2011a, 2011b). Αντίθετα, όσο αυξάνεται η προπονητική εμπειρία, επέρχονται ολοένα και περισσότερες ειδικές νευρικές προσαρμογές (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002b; Duchateau, et al., 2006; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, Aien, et

al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1988; A. Holtermann, et al., 2007; Sale, 1988), που καθιστούν τα άτομα ικανά να εκμεταλλεύονται καλύτερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μυών, και συγκεκριμένα το % CSA των μυϊκών ινών τύπου II και το μήκος των μυϊκών δεματίων, με αποτέλεσμα η επίδοση σε δυναμικές δραστηριότητες να στηρίζεται περισσότερο πάνω σε αυτά τα χαρακτηριστικά των μυών.

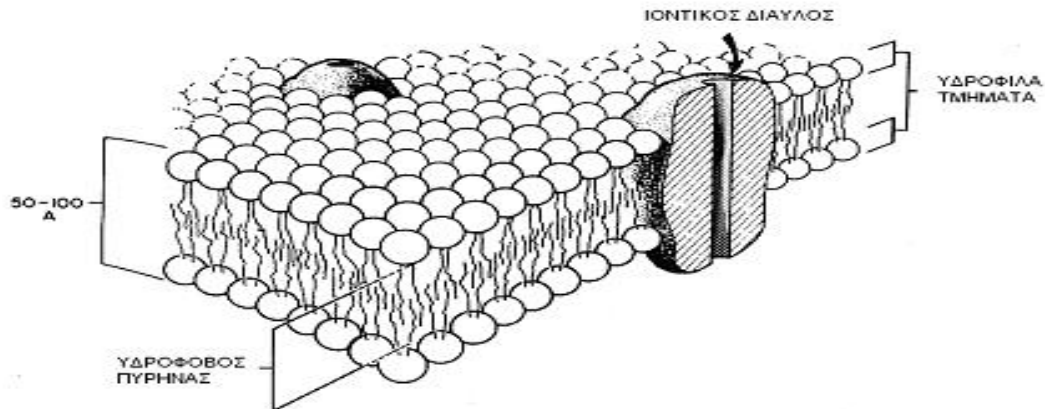
Τα αποτελέσματα της εν λόγω πιλοτικής έρευνας αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό και την πραγματοποίηση των 3 ερευνών που αποτελούν την παρούσα διδακτορική διατριβή. Το κύριο στοιχείο που πηγάζει από την πιλοτική έρευνα αυτή είναι ότι για την μυϊκή ισχύ το σημαντικότερο στοιχείο είναι το %CSA των ινών τύπου II και κυρίως των IIx. Επομένως, ίσως και η TA να διαφοροποιείται ανάλογα με το %CSA των ινών τύπου II και κυρίως των IIx, καθώς και ότι η προπόνηση να οδηγεί στην διαφοροποίηση της TA ανάλογα με τις προσαρμογές στην κατανομή των μυϊκών ινών.

2.3. Βασική ηλεκτροφυσιολογική θεωρία του συστήματος μετάδοσης των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το νευρικό σύστημα και η λειτουργία του είναι από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα παραγωγής δύναμης και ισχύος ενός ανθρώπου (Cormie, et al., 2011a; Ross, et al., 2001). Αν και στην αθλητική επιστήμη πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για την διερεύνηση της συμβολής των διαφόρων νευρικών παραγόντων, όπως είναι το είδος του κινητικού νευρώνα, η ταχύτητα αγωγής του ερεθίσματος μέσα στον κινητικό νευρώνα κ.τ.λ., καθώς και για την διερεύνηση της επίδρασης της συστηματικής άσκησης, κυρίως με αντιστάσεις, σε αυτούς, πολύ λίγη προσοχή έχει δοθεί σε ένα από τα σημαντικότερα μέρη του νευρομυϊκού συστήματος, αυτό της μετάδοσης των νευρικών ώσεων πάνω στο σαρκείλημα των μυϊκών ινών (Kandel, et al., 2000). Το σύστημα αυτό είναι αρκετά σύνθετο και επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση της μεμβράνης (Rm) και την αντίσταση (Ri) του σαρκοπλάσματος (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

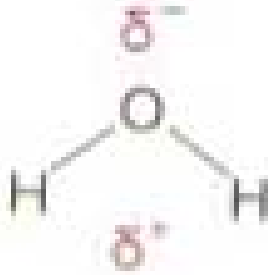
2.3.1. Ηλεκτροφυσιολογικά χαρακτηριστικά του σαρκείληματος

Τα μυϊκά κύτταρα περιβάλλονται από την μεμβράνη τους, το σαρκείλημα, πάχους περίπου 6-8nm. Η μεμβράνη αποτελείται από μια διπλοστιβάδα από φωσφολιπιδικά μόρια, τα οποία έχουν το υδρόφιλο τμήμα τους στην εξωτερική περιοχή της μεμβράνης (είτε προς τον εξωκυττάριο είτε προς τον ενδοκυττάριο χώρο) και το υδρόφοβο τμήμα τους στο εσωτερικό της (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).



Σχήμα 2.2. Απεικόνιση της μεμβρανικής διπλοστιβάδας, με το μωσαϊκό και τις διαμεμβρανικές πρωτεΐνες, τις αντλίες (Engel & Franzini-Armstrong, 1994).

Τα λιπίδια της μεμβράνης δεν αναμιγνύονται με το ύδωρ. Αντίθετα, τα ιόντα που υπάρχουν στις δύο εξωτερικές περιοχές της μεμβράνης, έλκουν ισχυρά το ύδωρ, δηλ. είναι υδρόφιλα. Η έλξη που υπάρχει ανάμεσα στα ιόντα και στο ύδωρ,



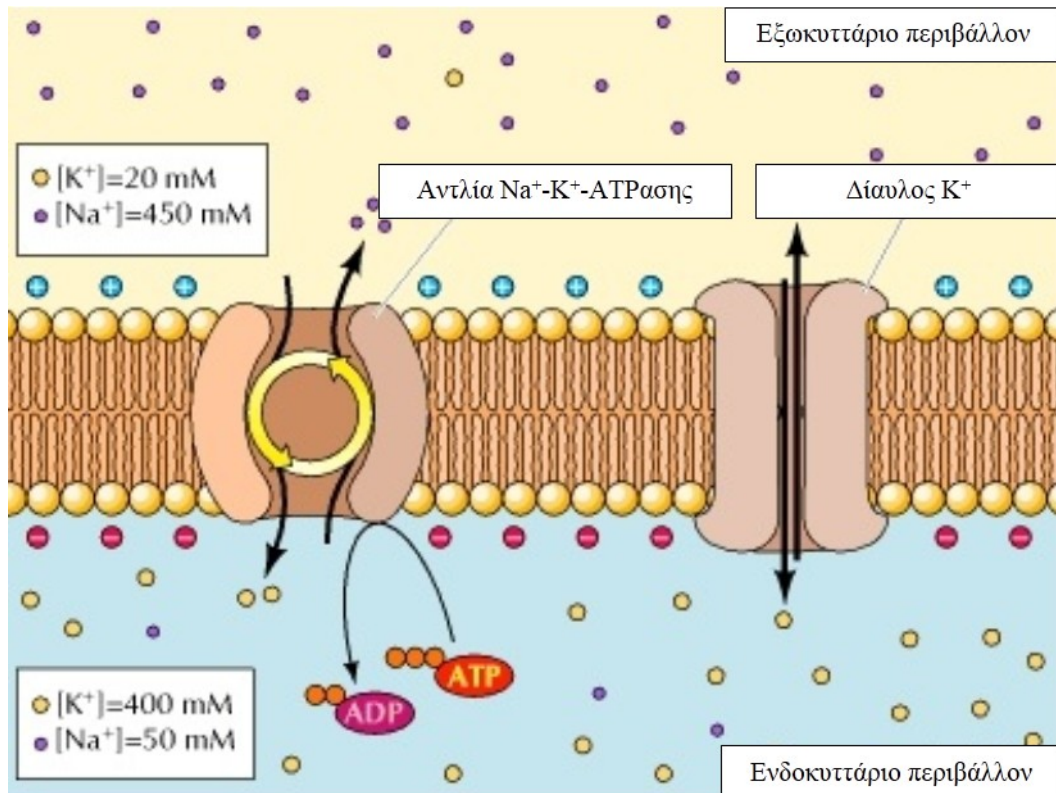
Σχήμα 2.3: Κατανομή φορτίων του ύδωρ (Mougiou, 2006).

προκύπτει διότι τα μόρια του ύδατος είναι διπολικά (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Κατά συνέπεια, ενώ το συνολικό φορτίο των μορίων του ύδατος είναι μηδέν, το φορτίο αυτό είναι άνισα κατανομημένο. Το άτομο του οξυγόνου, έχει την τάση να έλκει τα ηλεκτρόνια και συνεπώς έχει ένα μικρό αρνητικό φορτίο. Αντίθετα, τα άτομα του υδρογόνου έχουν την τάση να χάνουν ένα ηλεκτρόνιο, με αποτέλεσμα να έχουν ένα μικρό θετικό φορτίο (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ότι τα κατιόντα έλκονται προς το άτομο του οξυγόνου και τα ανιόντα προς τα άτομα

του υδρογόνου. Ένα ιόν δεν μπορεί να απομακρυνθεί από το ύδωρ προς τις αφόρτιστες υδρογονανθρακικές ουρές των λιπιδίων της μεμβρανικής διπλοστιβάδας, εάν δεν δαπανηθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά αδύνατον να μετακινηθεί ένα ιόν από το διάλυμα προς την διπλοστιβάδα (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

Συνεπώς, η μεμβρανική διπλοστιβάδα είναι σχεδόν αδιαπέραστη από τα ιόντα. Η μετακίνηση, από έξω και προς τα μέσα των ιόντων, και το αντίθετο, γίνεται από ειδικές διαμεμβρανικές πρωτεΐνες που υπάρχουν διάσπαρτες κατά μήκος του σαρκειλήματος, τους διαύλους και τις αντλίες. Οι διάυλοι χαρακτηρίζονται από την ικανότητα τους να άγουν ιόντα με εξαιρετική ταχύτητα, να αναγνωρίζουν και να επιτρέπουν την διόδο μόνο σε ένα, το πολύ δύο είδη ιόντων και να ανοίγουν-κλείνουν μόνο σε απάντηση συγκεκριμένων ερεθισμάτων, όπως τα χημικά και τα μηχανικά. Ωστόσο, η κατεύθυνσή και η ταχύτητα της μετακίνησης των ιόντων μέσα από διαύλους, έγκειται (1) στην χημική κινητήριος δύναμη, η οποία εξαρτάται από την κλίση της συγκέντρωσης των ιόντων στις δύο πλευρές της μεμβράνης (η μετακίνηση γίνεται από την περιοχή με την μεγαλύτερη συγκέντρωση προς την

περιοχή με την μικρότερη), (2) στην ηλεκτρική κινητήριος δύναμη, η οποία εξαρτάται από την διαφορά δυναμικού εκατέρωθεν της μεμβράνης και (3) από την ποσότητα των ίδιων των ιόντων που άγουν (Kandel, et al., 2000). Αντίθετα, οι αντλίες είναι ένα σύστημα ενεργητικής μεταφοράς ιόντων διαμέσου της μεμβράνης, μετακίνηση η οποία δεν επηρεάζεται από τις ηλεκτροχημικές κινητήριες δυνάμεις, δηλαδή η μεταφορά είναι κόντρα στις ηλεκτροχημικές δυνάμεις, με δαπάνη ενέργειας (Kandel, et al., 2000).



Σχήμα 2.4. Συγκέντρωση ιόντων στις δύο πλευρές του σαρκευλήματος, διάυλοι K^+ και αντλία $Na^+-K^+-ATPase$ (Kandel, et al., 2000).

Υπό συνθήκες ηρεμίας, η μεμβράνη είναι επιλεκτικά διαπερατή από κάποια ιόντα, κυρίως μέσα από τους διαύλους ηρεμίας. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι από την μεμβράνη επιτρέπεται η σχεδόν ελεύθερη μεταφορά των ιόντων καλίου (K^+) και χλωρίου (Cl^-). Αντίθετα η μεταφορά των ιόντων νατρίου (Na^+) είναι σχεδόν αδύνατη, ενώ των οργανικών ιόντων (Pr^-) τελείως αποκλεισμένη (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αυτή η επιλεκτική μεταφορά των παραπάνω ιόντων προκαλεί μία ανισοκατανομή των ιοντικών φορτίων στις δύο πλευρές του σαρκευλήματος. Η διαφορά αυτή αυξάνεται όσο μειώνεται το πάχος του (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000; Rutkove et al., 1997; Szucs et al., 1991), με αποτέλεσμα να υπάρχει στον εξωκυττάριο χώρο περίσσεια θετικών φορτίων, ενώ στο ενδοκυττάριο περιβάλλον περίσσεια αρνητικών φορτίων, διαδικασία που προκαλεί ανάμεσα στις δύο πλευρές της μεμβράνης μια ηλεκτρική πόλωση, δηλαδή διαφορά δυναμικού, η οποία ονομάζεται δυναμικό

ηρεμίας της μεμβράνης και είναι της τάξεως των -70mV στις μυϊκές ίνες (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

Η διαφορά της συγκέντρωσης των διάφορων ιόντων μεταξύ των δύο πλευρών του σαρκευλήματος και κατά επέκταση το δυναμικό ηρεμίας, ασκεί δύο αντίθετες δυνάμεις στα διάφορα ιόντα και κυρίως στα ιόντα K^+ . Λόγω της διαφοράς συγκέντρωσης των ιόντων στις 2 πλευρές της μεμβράνης, όπου για τα ιόντα K^+ είναι 35 φορές μεγαλύτερη στο κυτταρόπλασμα απ' ό,τι στο εξωκυττάριο υγρό, τα ιόντα αυτά τείνουν να εξέλθουν από το κύτταρο, μέσα από τους διαύλους ηρεμίας (οι οποίοι είναι ανοικτοί-ενεργοποιημένοι κατά την ηρεμία), διαδικασία η οποία θα αυξήσει το αρνητικό φορτίο στο ενδοκυττάριο περιβάλλον, λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης των αρνητικά φορτισμένων οργανικών ιόντων στο εσωτερικό των κυττάρων (Kandel, et al., 2000). Αυτή όμως η αύξηση θα ασκήσει περαιτέρω δυνάμεις έλξης στα ιόντα που μετακινήθηκαν, με αποτέλεσμα να εισχωρούν ξανά μέσα στο κύτταρο, με σκοπό την εξισορρόπηση των φορτίων μεταξύ της μεμβράνης (Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ότι η κατεύθυνση των φορτίων είναι αντίθετη προς την συγκέντρωσή τους στις δύο πλευρές της μεμβράνης. Σε κάποια στιγμή επιτυγχάνεται μια ισορροπία μεταξύ του προς τα έξω ρεύματος ιόντων, λόγω της κλίσης της συγκέντρωσής τους, και του προς τα έσω ρεύματος, λόγω της ηλεκτρικής κλίσης (Kandel, et al., 2000). Σε αυτή την στιγμή, όπου η πόλωση της μεμβράνης έχει μία συγκεκριμένη τιμή για κάθε ιόν, δημιουργείται μια δυναμική ισορροπία κατά την οποία υπάρχει ισόποση μεταφορά ιόντων μέσα και έξω από το κύτταρο. Αυτό το δυναμικό ονομάζεται δυναμικό ισορροπίας του κάθε ιόντος, και μπορεί να υπολογιστεί με βάση την εξίσωση του Nernst, η οποία προσδιορίζει το δυναμικό ισορροπίας οποιουδήποτε ιόντος που βρίσκεται εκατέρωθεν μια μεμβράνης, διαπερατής από αυτό το δυναμικό, ενώ συχνά αναφέρεται και ως δυναμικό Nernst (Kandel, et al., 2000):

$$E_x = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_{\text{εξ.}}}{C_{\text{ενδ.}}}$$

Όπου R = σταθερά αερίων, T = θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin, z = $[-]$ για κατιόντα και $[+]$ για ανιόντα, F = σταθερά Faraday, C = συγκέντρωση ιόντος. Επομένως το δυναμικό ισορροπίας του K^+ (E_K) είναι τα -97mV , του Na^+ (E_{Na}) είναι τα $+66\text{mV}$ και του Cl^- (E_{Cl}) είναι τα -80mV (Kandel, et al., 2000). Όλα τα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού τείνουν να έχουν ένα δυναμικό ηρεμίας κατά μήκος της μεμβράνης του, το οποίο είναι αποτέλεσμα της συγκέντρωσής τους εκατέρωθεν της μεμβράνης (χημική κινητήριος δύναμη) και των ηλεκτρικών κλίσεων (ηλεκτρική κινητήριος δύναμη). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην εσωτερική πλευρά υπάρχει περίσσια αρνητικών φορτίων, λόγω της μειωμένης ποσότητας των ιόντων Na^+ και της αυξημένης των K^+ , ενώ στην εξωτερική πλευρά περίσσια θετικών, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ (Kandel, et al., 2000). Τα περισσότερα ανιόντα στην εξωτερική πλευρά είναι του Cl^- , ενώ στην εσωτερική των οργανικών ιόντων (Pr^-). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να υπολογιστεί με βάση εξίσωση του Goldman (Kandel, et al., 2000):

$$V_{\text{Μεμβράνης}} = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{P_K[K]_{E\xi} + P_{Na}[Na]_{E\xi} + P_{Cl}[Cl]_{E\nu\delta}}{P_K[K]_{E\nu\delta} + P_{Na}[Na]_{E\nu\delta} + P_{Cl}[Cl]_{E\xi}}$$

Όπου R=σταθερά αερίων, T=θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin, F=σταθερά Faraday, P=διαπερατότητα της μεμβράνης στο ιόν και [] = συγκέντρωση ιόντος. Με βάση αυτή την εξίσωση διαπιστώνεται ότι το δυναμικό ηρεμίας στα μυϊκά κύτταρα είναι περίπου στα -70 mV (Engel & Franzini-Armstrong, 1994), τιμή η οποία είναι κοντά, αλλά όχι ίδια με την τιμή του δυναμικού ισορροπίας του K⁺. Αυτό συμβαίνει, διότι κατά την ηρεμία, μια μικρή ποσότητα ιόντων Na⁺, διαπερνά την μεμβράνη και περνά στο εσωτερικό του κυττάρου, ενώ μια μικρή ποσότητα K⁺, εκβάλλεται από το κύτταρο μέσω των ιοντικών διαύλων ηρεμίας που είναι επιλεκτικοί ως προς το Na⁺ και K⁺, όπου λόγω του αρνητικά φορτισμένου σαρκοπλάσματος και της διαφοράς των συγκεντρώσεων Na⁺ και K⁺, εκατέρωθεν της μεμβράνης, ασκούνται ηλεκτροχημικές δυνάμεις πάνω στα ιόντα Na⁺, με αποτέλεσμα να εισχωρούν στο εσωτερικό του κυττάρου (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Με την είσοδο αυτών των ιόντων μέσα στο κυτταρόπλασμα, μειώνεται η ηλεκτρική διαφορά μεταξύ των 2 πλευρών της μεμβράνης και έτσι μειώνεται, σε σχέση με το δυναμικό ισορροπίας των ιόντων K⁺, το δυναμικό ηρεμίας από τα -97mV στα -70 mV (Engel & Franzini-Armstrong, 1994). Αυτή η κατάσταση όμως θα πρέπει να ελεγχθεί, ώστε να μην μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες ιόντων Na⁺ στο εσωτερικό και K⁺ στο εξωτερικό περιβάλλον του κυττάρου, διότι έτσι θα διαταραχθούν οι κλίσεις συγκέντρωσης και κατά επέκταση η ηλεκτρική κινητήριος δύναμη (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Σημαντικό ρόλο στην διατήρηση των ηλεκτροχημικών κλίσεων έχει ένας ενεργητικός μηχανισμός, αυτός της αντλίας Na⁺-K⁺-ATPases, όπου αντίθετα προς τις ηλεκτροχημικές δυνάμεις, εκβάλλει τρία μόρια Na⁺ και εισάγει δύο K⁺, μέσω της ενέργειας που παρέχεται από την υδρόλυση ενός μορίου τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), με αποτέλεσμα η φαινομενική ηρεμία της μεμβράνης να είναι αποτέλεσμα μιας συνεχόμενης δυναμικής κατάστασης, ή όπως είναι γνωστή αυτή η κατάσταση ως δυναμική ισορροπία (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κατά το δυναμικό ηρεμίας, υπάρχει στην εξωτερική επιφάνεια της μεμβράνης μεγάλη συγκέντρωση θετικών φορτίων, ενώ στην εσωτερική μεγάλη συγκέντρωση αρνητικών φορτίων. Παρά την μικρή μεταφορά των διάφορων ιόντων, κατά την ηρεμία, η μεμβράνη είναι αδιαπέραστη από τις μεγάλες ποσότητες θετικών και αρνητικών φορτίων που έχει εκατέρωθεν της μεμβράνης. Μάλιστα, η ηλεκτρική διαφορά εκατέρωθεν της μεμβράνης αυξάνεται όσο μειώνεται το πάχος της (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000; Rutkove, et al., 1997; Szucs, et al., 1991). Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι η μεμβράνη και συγκεκριμένα το σαρκείλημα φαίνεται να έχει πολύ υψηλή ηλεκτρική αντίσταση, και να λειτουργεί ως ένας πυκνωτής σε ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό σύστημα. Ως γνωστόν, πυκνωτής είναι ένα σύστημα γειτονικών αγωγών (στην περίπτωση της μεμβράνης τα υδρόφιλα λιπίδια) ανάμεσα στους οποίους υπάρχει ένα μονωτικό υλικό (υδρόφοβο τμήμα της μεμβράνης). Βασικό χαρακτηριστικό των πυκνωτών είναι ότι μπορούν να αποθηκεύσουν ηλεκτρικό φορτίο, το οποίο ονομάζεται φορτίο πυκνωτή και συμβολίζεται ως Qc.

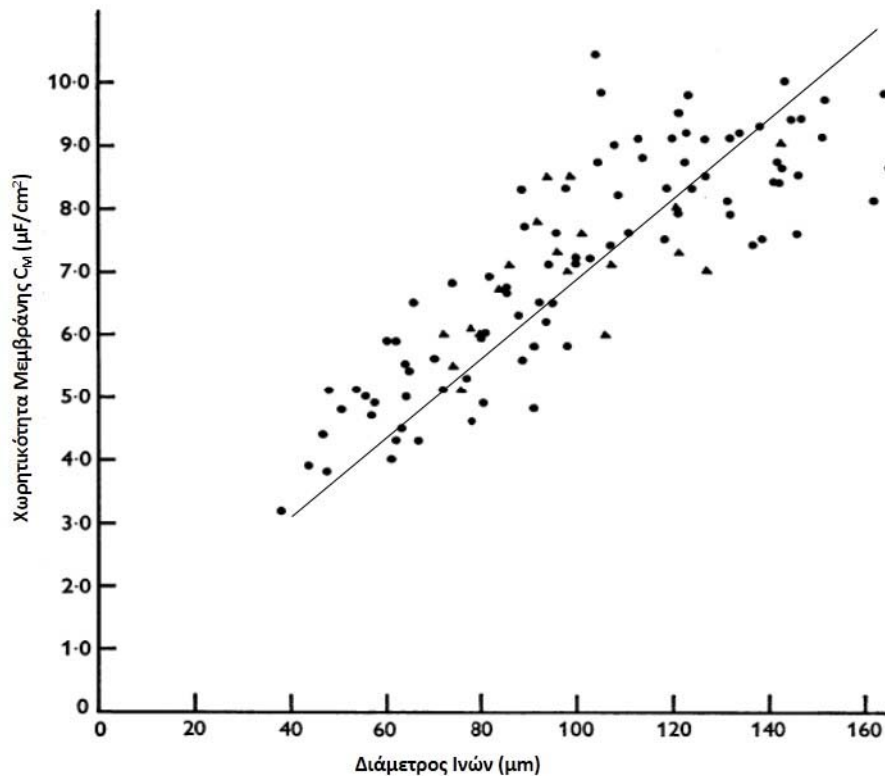
Μεταξύ των οπλισμών ενός φορτισμένου πυκνωτή αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού, την οποία ονομάζουμε τάση του πυκνωτή (V_c). Το πηλίκο του φορτίου ενός πυκνωτή προς την τάση του ονομάζεται χωρητικότητα (C) του πυκνωτή και αποδίδεται από την εξίσωση:

$$C = \frac{Q_c}{V_c}$$

Η χωρητικότητα στον ηλεκτρισμό εκφράζει πόσο φορτίο αποθηκεύει μια συσκευή. Το φορτίο αυτό εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού. Ωστόσο, σχεδόν σε κάθε διάταξη υπάρχει μια μέγιστη ποσότητα φορτίου που μπορεί να αποθηκευτεί, η οποία αν ξεπεραστεί θα καταστραφεί η διάταξη. Αυτή η μέγιστη ποσότητα ονομάζεται μέγιστο φορτίο. Στην περίπτωση του σαρκειλήματος, η μεμβράνη έχει την ικανότητα να αποθηκεύει ιοντικό ρεύμα, με αποτέλεσμα να αναπτύσσει ένα είδος αντίστασης ως προς τις μεταβολές της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των 2 πλευρών της, η οποία είναι γνωστή με τον όρο αντίσταση μεμβράνης και συμβολίζεται ως R_m (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000; Rutkove, et al., 1997; Szucs, et al., 1991). Η R_m μειώνεται μέσω των διαύλων ηρεμίας και ενεργοποίησης, μείωση η οποία είναι ανάλογη στον αριθμό και στην πυκνότητα τους (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000; Rutkove, et al., 1997; Szucs, et al., 1991). Βασικά στοιχεία που καθορίζουν την μεταφορά των ιοντικών ρευμάτων διαμέσου της μεμβράνης, είναι η αγωγιμότητα της μεμβράνης, η οποία αντανακλά την ευκολία με την οποία ένα ιόν διαπερνά την μεμβράνη, και η αγωγιμότητα της μεμβράνης, η οποία παρουσιάζει την ικανότητα της να άγει ένα ιοντικό ρεύμα διαμέσου της, ιδιότητες οι οποίες καθορίζονται από τους διαύλους ενεργοποίησης που φέρει (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η γενική η R_m καθορίζεται τις ηλεκτροφυσιολογικές ιδιότητες του σαρκειλήματος, οι οποίες επηρεάζονται από: (1) την ένταση του ρεύματος που περνά μέσω των διαύλων (I =διαφορά δυναμικού· Αντίσταση του ανοιχτού διαύλου⁻¹), (2) την αγωγιμότητα των διαύλων και της μεμβράνης γενικότερα, (3) τις ηλεκτροχημικές κινητήριες δυνάμεις, (4) τον αριθμό και την πυκνότητα των ιοντικών διαύλων, (5) την χωρητικότητα και διαπερατότητα της μεμβράνης, οι οποίες μεταβάλλονται γραμμικά ανάλογα με το μέγεθος της ίνας, (6) την αντίσταση εισόδου και ειδική αντίσταση της μεμβράνης, (7) την κατάσταση διεγερσιμότητας της μεμβράνης και (8) τις ιοντικές συγκεντρώσεις εκατέρωθεν της μεμβράνης (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hodgkin & Nakajima, 1972; Kandel, et al., 2000).

Σημαντική επίδραση πάνω στην R_m έχει το μέγεθος των μυϊκών ινών. Καταρχάς, όσο μεγαλύτερη είναι η μυϊκή ίνα, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια της διπλοστιβάδας των λιπιδίων, αλλά όχι η μεταξύ τους απόσταση, τουλάχιστον έτσι όπως έχει διαπιστωθεί σε έρευνα με πειραματόζωα (Hodgkin & Nakajima, 1972). Αποτέλεσμα αυτού και λόγω της εξίσωσης του υπολογισμού της χωρητικότητας ενός πυκνωτή, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των μυϊκών ινών τόσο αυξάνεται και η χωρητικότητα της μεμβράνης (Hodgkin & Nakajima, 1972). Από την άλλη πλευρά, όμως, το μέγεθος των μυϊκών ινών είναι σε γραμμική σχέση με τον αριθμό αλλά και τη πυκνότητα των ιοντικών διαύλων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η

αγωγιμότητα της μεμβράνης (Hodgkin & Nakajima, 1972), λόγω της μεταβολής των ηλεκτροχημικών κινητηρίων δυνάμεων, καθώς και του ότι και στην μονάδα του χρόνου μεγαλύτερος αριθμός ιόντων διαπερνά την μεμβράνη και προκαλείται πιο γρήγορα έντονο δυναμικό δυναμικού ενέργειας (Kandel, et al., 2000; Rutkove, et al., 1997; Zhang et al., 2006).

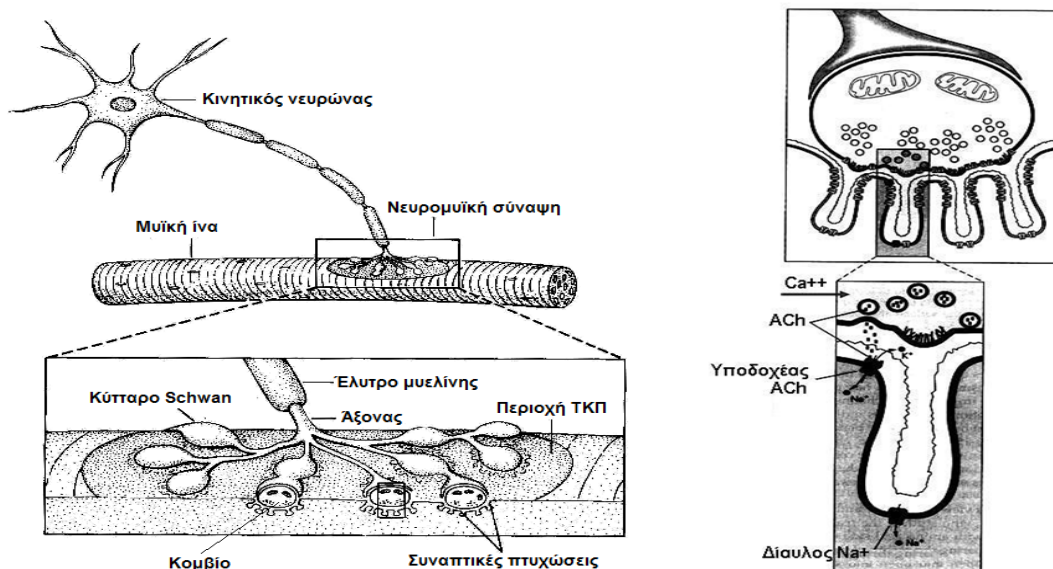


Σχήμα 2.5. Σχέση μεταξύ διαμέτρου μυϊκών ινών βατράχων και χωρητικότητας μεμβράνης (Hodgkin & Nakajima, 1972).

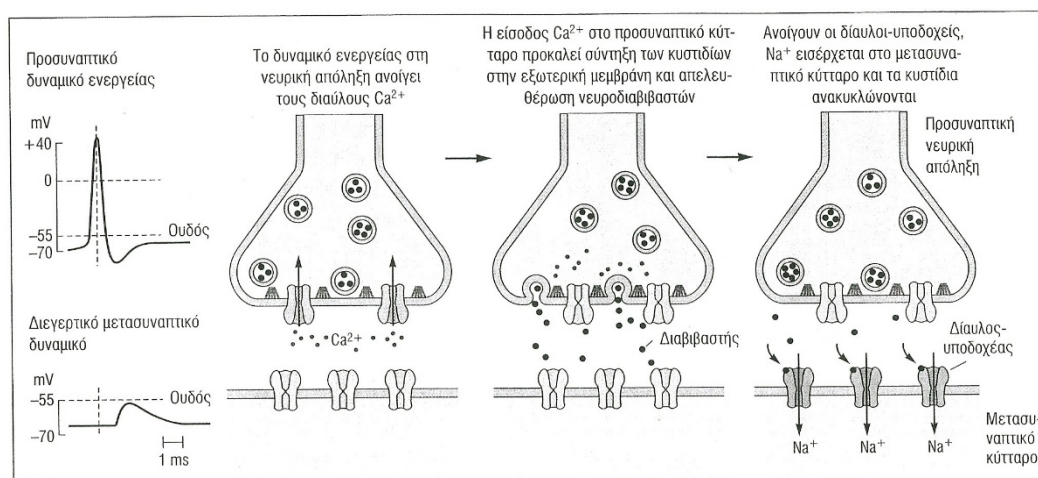
2.3.2. Δημιουργία των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

Εν συντομία, όταν το νευρικό ερέθισμα μέσα από τον α-κινητικό νευρώνα φτάσει στα τελικά συναπτικά κομβία της νευρομυϊκής σύναψης, προκαλεί την είσοδο ιόντων Ca^{2+} , με αποτέλεσμα την μεταφορά των κυστιδίων Ακετυλοχολίνης (ACh; 10-20.000 μόρια ACh ανά κυστίδιο) στις ενεργές ζώνες, ώστε να απελευθερωθούν στην συναπτική σχισμή (Kandel, et al., 2000). Έπειτα από την εξωκυττάρωση, τα μόρια ACh διανύουν την απόσταση των 100nm της σύναψης, για να φτάσουν στις συναπτικές σχισμές και να ενωθούν με τους νικοτινικού τύπου υποδοχείς της ACh (AChR), που βρίσκονται στα χείλη των πτυχώσεων της μετασυναπτικής μυϊκής μεμβράνης, με μια μέση πυκνότητα 10.000 υποδοχέων ανά $1\mu m^2$ (Engel & Franzini-Armstrong, 1994). Ωστόσο, στους AChR δεν φτάνει ολόκληρη η ποσότητα ACh που απελευθερώθηκε (Kandel, et al., 2000). Κατά τη μετάδοση από την προσυναπτική προς την μετασυναπτική μεμβράνη (τελική κινητική πλάκα των μυϊκών ινών) των μορίων ACh, δύο μηχανισμοί συμβάλλουν στην μείωση της τελικής ποσότητας του ACh που φτάνει στους AChR. Ο πρώτος μηχανισμός είναι η υδρόλυση των μορίων ACh, υπό την παρουσία του ενζύμου της

ακετυλοχολινιστεράσης και την παραγωγή χολίνης και οξικού οξέος (CH_3COOH), ενώ ο δεύτερος μηχανισμός αφορά στην μείωση της ποσότητας ACh λόγω της διάχυσης, εκτός της περιοχής της συναπτικής σχισμής (Engel & Franzini-Armstrong, 1994). Τα εναπομείναντα μόρια ACh δεσμεύονται για 100 - 200μs ανά 2 σε κάθε AChR, διαδικασία η οποία προκαλεί μορφολογικές μεταβολές του υποδοχέα και την ενεργοποίηση του ιοντικού διαύλου που φέρει ενσωματωμένο (Engel & Franzini-Armstrong, 1994). Η ενεργοποίηση του διαύλου ολοκληρώνεται περίπου μέσα σε 1ms, διάστημα κατά το οποίο υπάρχει κίνηση περίπου 17.000 ιόντων (Na^+ , K^+ και Ca^{++}), με αποτέλεσμα την παραγωγή ρεύματος προς τα έσω, την πρόκληση μερικής, υποουδικής εκπόλωσης της μετασυναπτικής μεμβράνης και την δημιουργία του μικροσκοπικού δυναμικού της τελικής κινητικής πλάκας (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).



Σχήμα 2.6. Σχηματική απεικόνιση των μορφολογικών στοιχείων της νευρομυϊκής σύναψης (Kandel, et al., 2000).



Σχήμα 2.7. Διαβίβαση ερεθίσματος στην νευρομυϊκή σύναψη και δυναμικά διέγερσης προσυναπτικού τελικού κομβίου και μετασυναπτικής μεμβράνης (Kandel, et al., 2000).

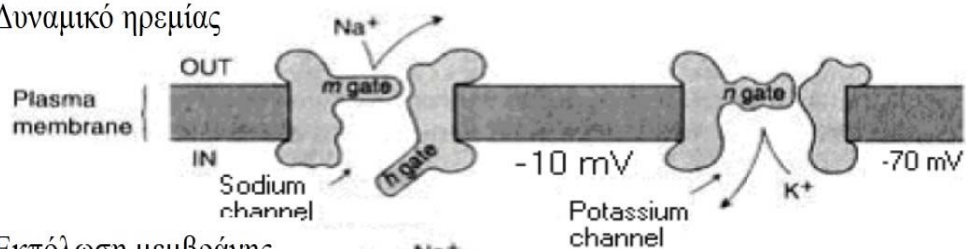
Έπειτα, το δυναμικό αυτό μεταδίδεται προς το βάθος των συναπτικών πτυχών, όπου υπάρχουν σε μεγάλη συγκέντρωση τασσελεγχόμενοι διάλυτοι Na^+ (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Οι διάλυτοι αυτοί, είναι διαμεμβρανικές πρωτεΐνες, και αποτελούνται από τέσσερα αντίτυπα ενός βασικού προτύπου, όπου κάθε ένα σχηματίζεται από έξι διαμεμβρανικά τμήματα (S1-S6), με τα τμήματα S5 και S6 να συνδέονται με έναν βρόγχο, που εντοπίζεται στην εξωκυττάρια περιοχή και σχηματίζει την περιοχή P, η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αναγνώριση των ιόντων Na^+ (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Καθώς το μικροσκοπικό δυναμικό της τελικής κινητικής πλάκας φτάσει στου διαύλους Na^+ στο βάθος των συναπτικών πτυχών, προκαλεί την δομική αλλαγή τους, με αποτέλεσμα να ανοίγει η εξωτερική πύλη των διαύλων αυτών, όπου κατά την περίοδο του δυναμικού ηρεμίας είναι κλειστή, και να αρχίσει να κλείνει η εσωτερική πύλη τους (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Τα ιόντα Na^+ εισέρχονται στο εσωτερικό του σαρκοπλάσματος μόνο κατά την περίοδο όπου και οι δύο πύλες είναι ανοικτές, διαδικασία η οποία ολοκληρώνεται μέσα σε λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου. Την ίδια χρονική περίοδο, αν και με χρονική καθυστέρηση, ενεργοποιούνται και οι περιορισμένοι σε αριθμό διάλυτοι K^+ της περιοχής. Αποτέλεσμα της ενεργοποίησης όλων αυτών είναι ότι αυξάνεται η εισροή των ιόντων Na^+ και η εκροή των ιόντων K^+ (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Καθώς αυξάνεται η ενδοσαρκοπλασματική συγκέντρωση των ιόντων Na^+ , μεταβάλλεται το δυναμικό της μεμβράνης, διαδικασία που οδηγεί στην ενεργοποίηση ολοένα και περισσότερων γειτονικών διαύλων Na^+ και κατά επέκταση στην ακόμα μεγαλύτερη αύξηση του δυναμικού της μεμβράνης.

Όταν αυτή η αύξηση ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή, η οποία για τα μυϊκά κύτταρα είναι στα -40mV , δυναμικό το οποίο είναι γνωστό ως ουδικό κατώφλι, δημιουργείται μια κατάσταση κατά την οποία η ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ , η οποία είναι περίπου 50 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την συγκέντρωση κατά το δυναμικό ηρεμίας, λόγω της μεγαλύτερης εκπόλωσης, και την δημιουργία του δυναμικού της τελικής κινητικής πλάκας, το οποίο είναι 50-100 φορές υψηλότερο από αυτό του μικροσκοπικού δυναμικού της τελικής κινητικής πλάκας και 3-4 φορές από το ουδικό κατώφλι διέγερσης (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

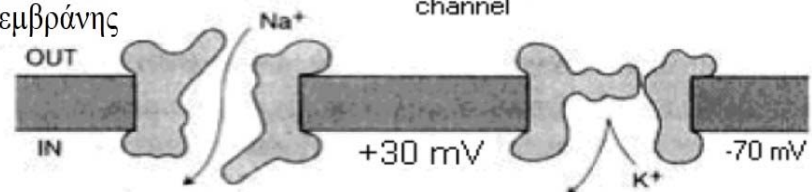
Η σχέση αυτή, ύψους του ΔΤΚΠ/ουδό εκφράζει τον λεγόμενο παράγοντα ασφάλειας της νευρομυϊκής μεταβίβασης και, όπως είναι φανερό, εξαρτάται από τον αριθμό συναπτικών κυστιδίων που αποδεσμεύονται σε κάθε νευρική ώση, τον αριθμό μορίων ACh σε κάθε συναπτικό κυστίδιο, τον αριθμό των ενεργών υποδοχέων ACh, τον βαθμό εκπόλωσης που προκαλεί η ενεργοποίηση κάθε διαύλου ιόντων της μετασυναπτικής μεμβράνης και την ποσότητα AChE στο συναπτικό χάσμα. Το δυναμικό αυτό, με την σειρά του προκαλεί την περαιτέρω ενεργοποίηση ολοένα και περισσότερων γειτονικών διαύλων Na^+ , και κατά επέκταση στην ακόμα μεγαλύτερη εισροή ιόντων Na^+ , διαδικασία η οποία με την σειρά της οδηγεί στην αναστροφή του δυναμικού της μεμβράνης από τα -70 mV στα $+30\text{ mV}$, παρουσιάζοντας το δυναμικό αιχμής (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η εξωτερική πλευρά του σαρκελήματος γίνεται αρνητικά φορτισμένο, ενώ το εσωτερικό θετικά

φορτισμένο, διαδικασία που οδηγεί στην δημιουργία του δυναμικού ενέργειας. Η όλη διαδικασία διαρκεί για λιγότερο από 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, διότι η αύξηση της ενδοσαρκοπλασματικής συγκέντρωσης των ιόντων Na^+ , οδηγεί στην απενεργοποίηση των διαύλων Na^+ , με αποτέλεσμα την μείωση της διαπερατότητας της μεμβράνης από τα ιόντα, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ενεργοποίηση των διαύλων K^+ , προκαλώντας την αύξηση κατά 20 φορές της αγωγιμότητας της μεμβράνης από αυτά τα ιόντα, δημιουργώντας ένα ιοντικό ρεύμα με φορά προς τα έξω που οδηγεί στην υπεροπόλωση και εν τέλει στην επαναπόλωση της μεμβράνης (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

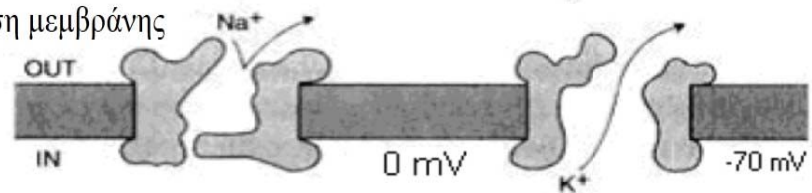
Δυναμικό ηρεμίας



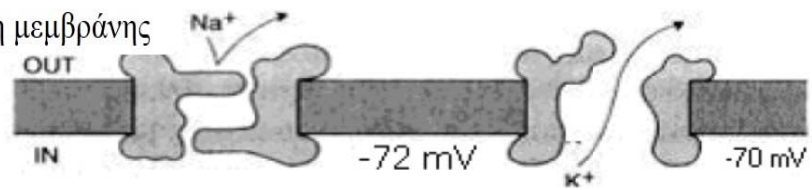
Εκπόλωση μεμβράνης



Επαναπόλωση μεμβράνης



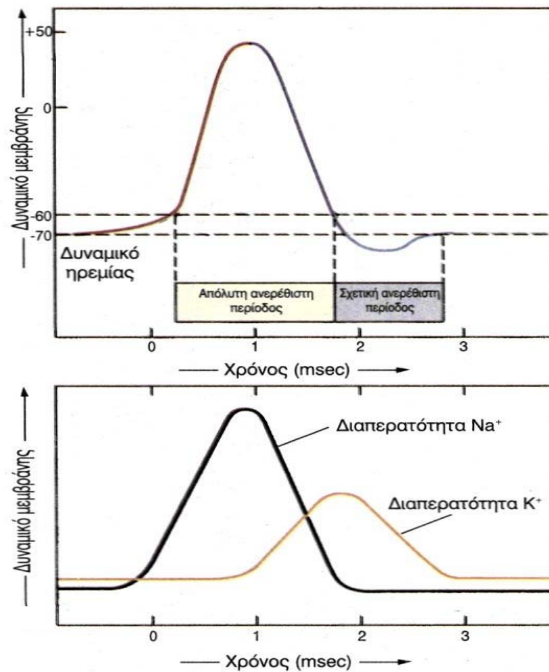
Υπερπόλωση μεμβράνης



Σχήμα 2.8. Ενεργοποίηση των διαύλων Na^+ και K^+ ανάλογα με την κατάσταση πόλωσης της μεμβράνης (Engel & Franzini-Armstrong, 1994).

2.3.3. Το σύστημα μετάδοσης των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

Μετά την παραγωγή του δυναμικού ενέργειας στις συναπτικές σχισμές, το δυναμικό αυτό μεταδίδεται σε όλο το μήκος των μυϊκών ινών, σαν κύμα σε όλη τη μυϊκή μεμβράνη με κατεύθυνση από την τελική κινητική πλάκα προς τα άκρα της μυϊκής ίνας, ώστε να πυροδοτήσει τον μηχανισμό των εγκάρσιων γεφυρών και να



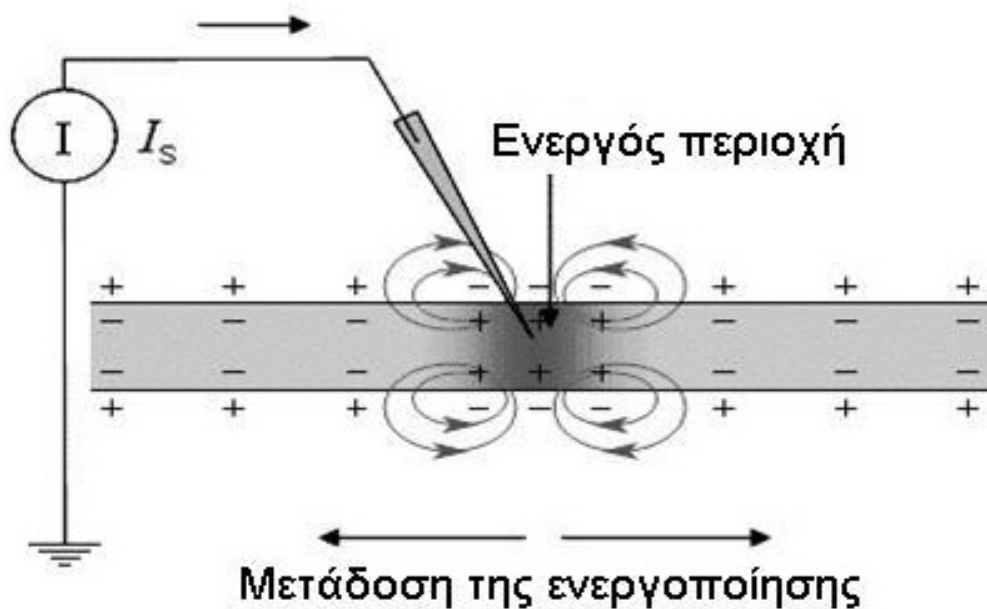
Σχήμα 2.9. Μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης και διαπερατότητα των ιόντων Na^+ και K^+ , ανάλογα με την χρονική στιγμή (Kandel et al., 2000).

πραγματοποιηθεί η μυϊκή σύσπαση, (Connes et al., 2010; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000; Rutkove, et al., 1997). Η δημιουργία του δυναμικού ενέργειας στην τελική κινητική πλάκα, έχει ως αποτέλεσμα την αναστροφή των φορτίων εκατέρωθεν της μεμβράνης. Ωστόσο, αυτή η αναστροφή είναι τοπική, με αποτέλεσμα τα γειτονικά σημεία να διατηρούν ακόμα την αρχική ηλεκτρική κατάσταση τους (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Η διαφορά πολικότητας μεταξύ αυτών των γειτονικών τμημάτων προκαλεί την εμφάνιση τοπικών ιοντικών ρευμάτων με φορά από το εκπολωμένο προς το πολωμένο μέρος της μεμβράνης, διαδικασία η οποία προωθεί τις

νευρικές ώσεις. Ωστόσο, όσο απομακρύνεται η ώση, τόσο μειώνεται το μέγεθος και η ένταση της, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή η ένταση του σήματος να έχει μειωθεί τόσο που δεν θα είναι δυνατόν να εκπολώσει την παρακείμενη περιοχή του σαρκελήματος. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου η μετάδοση των νευρικών ώσεων πάνω στις μυϊκές ίνες ακολουθεί την δυναμική μετάδοση, κατά την οποία ανά τακτά διαστήματα, οι νευρικές ώσεις αναπαράγονται, μέσω της ενεργοποίησης διάλυων και αντλιών Na^+ και K^+ που υπάρχουν ανά τακτά διαστήματα κατά μήκος των μυϊκών ινών, όπου καθώς φτάνει το προηγούμενο σήμα πυροδοτεί την ενεργοποίηση αυτών των διάλυων και αντλιών Na^+ και K^+ , όπου με βάση την διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω δημιουργείται νέο, ισοδύναμο δυναμικό (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αυτός ο μηχανισμός αναπαραγωγής του αρχικού νευρικού σήματος, είναι που καθιστά το σύστημα προώθησης των νευρικών ώσεων, ένα πολύ σημαντικό υποσύστημα για την παραγωγή της μυϊκής σύσπασης (Stålberg, 1966, 1979, 1980).

Η μετάδοση των νευρικών ώσεων βασίζεται στην αναλογία μεταξύ της R_m και της αντίστασης (R_i) του σαρκοπλάσματος (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Λόγος για το τι είναι και πώς καθορίζεται η R_m έγινε σε

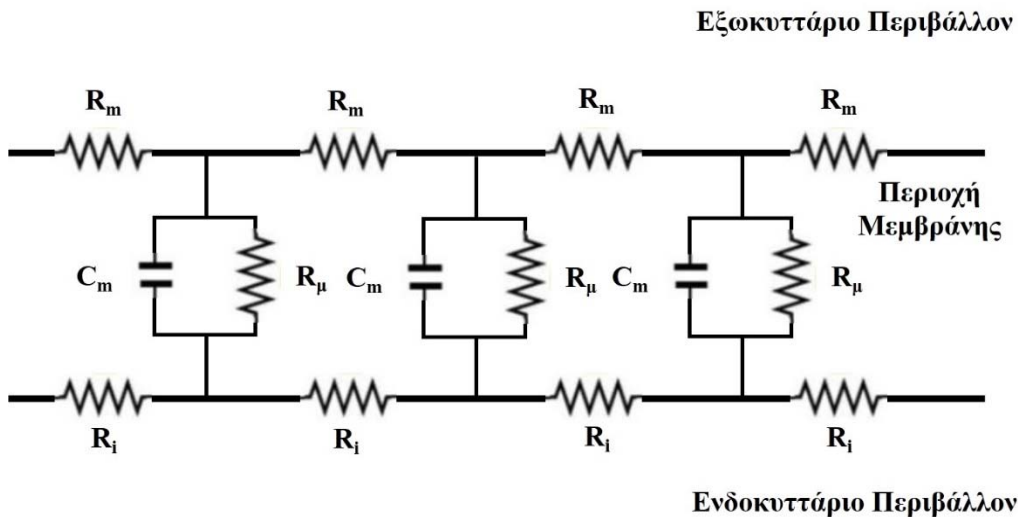
προηγούμενη ενότητα. Η R_i έχει να κάνει με την αντίσταση που συναντούν οι ηλεκτρικές ώσεις μέσα στο σαρκόπλασμα, λόγω των εγκάρσιων σωληναρίων και του βαθμού των «συγκρούσεων» μεταξύ των ιόντων του νευρικού ρεύματος, το οποίο προωθείται μέσω της ίνας και των ιόντων που υπάρχουν ήδη στο σαρκόπλασμα (Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Με βάση τα παραπάνω θα μπορούσαμε να περιγράψουμε τις ηλεκτροφυσιολογικές ιδιότητες των μυϊκών ινών ως ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα (Σχήμα 2.6), στο οποίο εντοπίζονται δύο αντιστάσεις στις δύο πλευρές του, η R_m και η R_i , ενδιάμεσα ένας πυκνωτής (C_m) και σε παράλληλη διάταξη μία ωμική αντίσταση (R_μ), η οποία συμβολίζει την αντίσταση των τμημάτων της μεμβράνης που συνδέονται με τις R_m και R_i , δηλαδή την αντίσταση των ιοντικών διαύλων (Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).



Σχήμα 2.10. Μηχανισμός εκπόλωσης γειτονικών τμημάτων του σαρκελλήματος για την μετάδοση των νευρικών ώσεων (Kandel, et al., 2000)..

Από το παραπάνω σχήμα διαπιστώνεται ότι το ιοντικό ρεύμα του δυναμικού ενέργειας συναντά αρκετή αντίσταση κατά την μετάδοσή του. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι από την μία τα τοπικά ρεύματα μπορούν να εκπολώσουν μόνο τα άμεσα παρακείμενα στην ενεργό περιοχή τμήματα της μεμβράνης και από την άλλη η ένταση του ρεύματος μειώνεται με την απόσταση (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Για την αποφυγή της εκμηδένισης της έντασης του ρεύματος, και κατ' επέκταση την μη ενεργοποίηση του μηχανισμού των εγκάρσιων γεφυρών, πάνω στο σαρκελλήμα ανά τακτά διαστήματα υπάρχουν περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση διαύλων Na^+ , που ενεργοποιούνται από το εισερχόμενο ρεύμα και αναπαράγουν το δυναμικό ενέργειας εκ νέου, σύμφωνα με την διαδικασία που περιεγράφηκε και νωρίτερα (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα αυτού του μηχανισμού είναι ότι το δυναμικό ενέργειας μεταδίδεται σε όλο το μήκος της μυϊκής ίνας, έχοντας την ίδια σχεδόν

ένταση και ενεργοποιώντας όλα τα σαρκομέρια που αποτελούν την κάθε μυϊκή ίνα, σύμφωνα με την αρχή του «Όλα ή Τίποτα» (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).



Σχήμα 2.11. Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα των ηλεκτροφυσιολογικών ιδιοτήτων των μυϊκών ινών. Με R_m συμβολίζεται η αντίσταση της μεμβράνης, με R_i η αντίσταση του σαρκοπλάσματος, με C_m η χωρητικότητα της μεμβράνης και με R_μ η αντίσταση των ιοντικών διαύλων (Kandel, et al., 2000).

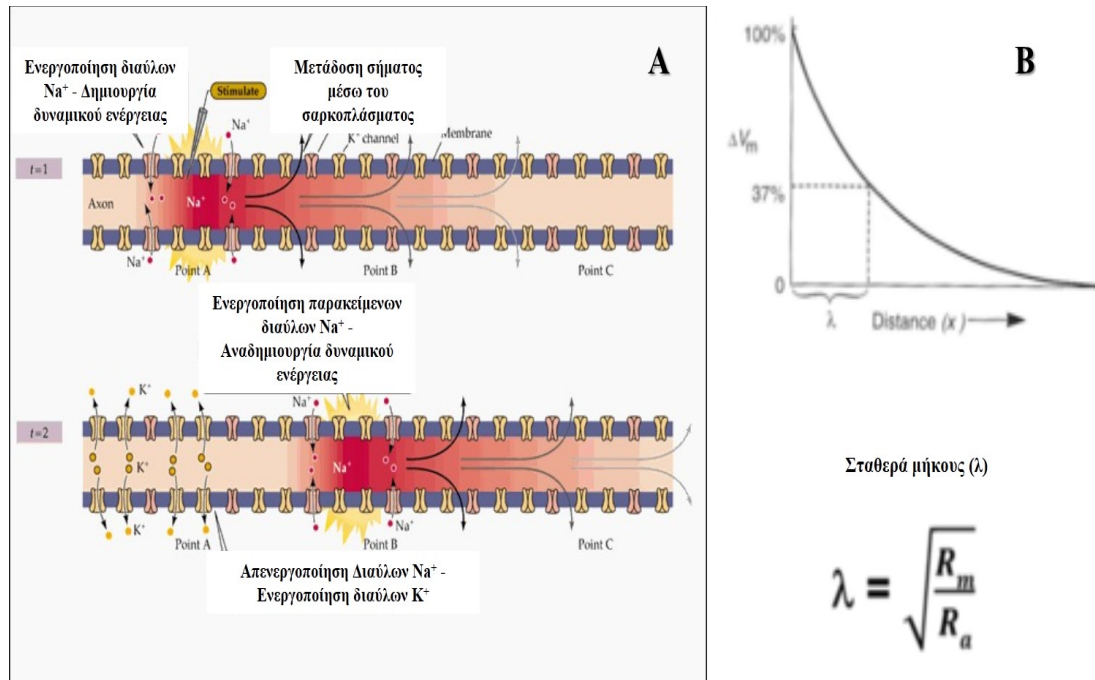
Η ταχύτητα με την οποία μεταδίδεται το δυναμικό ενέργειας κατά μήκος της μυϊκής ίνας ονομάζεται «Ταχύτητα Αγωγής των Δυναμικών Ενέργειας στις Μυϊκές Ίνες» (Muscle Fiber Conduction Velocity; TA) και αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την λειτουργία του μυϊκού ιστού (Stålberg, 1966, 1979, 1980) και έναν σημαντικό δείκτη για την λειτουργία και την κατάσταση τόσο του κεντρικού όσο και του περιφερικού νευρικού συστήματος (Andreassen & Arendt-Nielsen, 1987; Hunter et al., 2011).

Το ηλεκτρικό ρεύμα του δυναμικού ενέργειας, κατά την μετάδοση του στις μυϊκές ίνες ακολουθεί πάντα την πορεία με την λιγότερη αντίσταση (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Στις μυϊκές ίνες η R_m είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την R_i , με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της μετάδοσης των νευρικών ώσεων να πραγματοποιείται διαμέσου του σαρκοπλάσματος. Επομένως, το μέγεθος των μυϊκών ινών φαίνεται να είναι ένας σημαντικός ρυθμιστής του τρόπου αλλά κυρίως της ταχύτητας της μετάδοσης αυτών των ώσεων (Stålberg, 1966, 1979, 1980), διότι μέσα από τις μεγάλες μυϊκές ίνες μπορούν να διέλθουν μεγαλύτερες ποσότητες ιοντικού ρεύματος, ενώ οι συγκρούσεις των ιόντων είναι πολύ μικρότερες, και κατά δεύτερον το μέγεθος της μυϊκής ίνας επηρεάζει τον αριθμό και την πυκνότητα των ιοντικών διαύλων, με τις μεγαλύτερες μυϊκές ίνες να έχουν υψηλότερη πυκνότητα ιοντικών διαύλων, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται σημαντικά ο χρόνος και το μέγεθος της εκπόλωσης της μεμβράνης (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

Ένας πολύ καλός δείκτης της ικανότητας μετάδοσης των νευρικών σημάτων κατά μήκος των μυϊκών ινών είναι η σταθερά μήκους, η οποία εκφράζει τον βαθμό

της μείωσης του μεγέθους του ηλεκτρικού σήματος κατά μήκος της ίνας και υπολογίζεται μέσα από την παρακάτω εξίσωση (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000):

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_m}{R_i}}$$



Σχήμα 2.12. (Α) μηχανισμός μετάδοσης των νευρικών ώσεων κατά μήκος των νωϊκών ινών και (Β) το διάγραμμα της σταθεράς μήκους (Kandel et al., 2000).

Βάσει των παραπάνω παραγόντων, ο Katz το 1948 διατύπωσε την παρακάτω εξίσωση για την ανεύρεση της TA (Katz, 1948): $T.A. = \frac{\text{Παράγοντας Ασφάλειας}}{2\sqrt{R_i}}$.

$\frac{\sqrt{\text{Διάμετρο Ίνας}}}{\text{Χωρητικότητα Μεμβράνης} \cdot \sqrt{R_m}}$. Ωστόσο, επειδή αυτή η εξίσωση δεν λάμβανε υπόψη την εξωτερική αντίσταση, δεν μπορούσε να εξηγήσει τις ταχύτητες που παρουσιάζονταν σε θηλαστικά. Για τον λόγο αυτό οι Buchthal και συν. την αναδιατύπωσαν σε (Buchthal et al., 1955b): $T.A. = \text{Παράγοντας Αναλογικότητας} \cdot \frac{\text{Διάμετρος Ίνας}}{\sqrt{1 + \frac{\text{Εξωτερική Αντίσταση κατά Μήκος της Ίνας}}{\text{Εσωτερική Αντίσταση κατά Μήκος της Ίνας}}}}$. Εάν σε αυτή την εξίσωση θεωρηθεί ότι η

εξωτερική αντίσταση κατά μήκος της ίνας είναι σταθερή, η συνάρτηση τροποποιείται σε (Buchthal & Sten-Knudsen, 1959): $T.A. = \frac{\text{Παράγοντας Αναλογικότητας} \cdot \text{Διάμετρο Ίνας}}{\sqrt{1 + \text{Σταθερά Μεγέθους Ίνας} \cdot \text{Διάμετρος Ίνας}^2}}$.

Με βάση την παραπάνω εξίσωση και μια σταθερά μεγέθους ίνας της τάξεως των 10^5cm^{-2} , διαπιστώνεται ότι η υπολογιζόμενη TA έχει τις ίδιες τιμές και αποκλίσεις με την μετρούμενη και μια εξωτερική αντίσταση κατά μήκος της ίνας περίπου στα $29 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$, 3,6 φορές μεγαλύτερη από την εσωτερική αντίσταση, υπολογισμός ο

οποίος εξηγεί απολύτως το θεωρητικό υπόβαθρο της ταχύτητας και του τρόπου μετάδοσης του νευρικού σήματος στις μυϊκές ίνες, ενώ παράλληλα παρουσιάζει τη σημαντικότητα του μεγέθους των μυϊκών ινών (Buchthal, et al., 1955b; Buchthal & Sten-Knudsen, 1959).

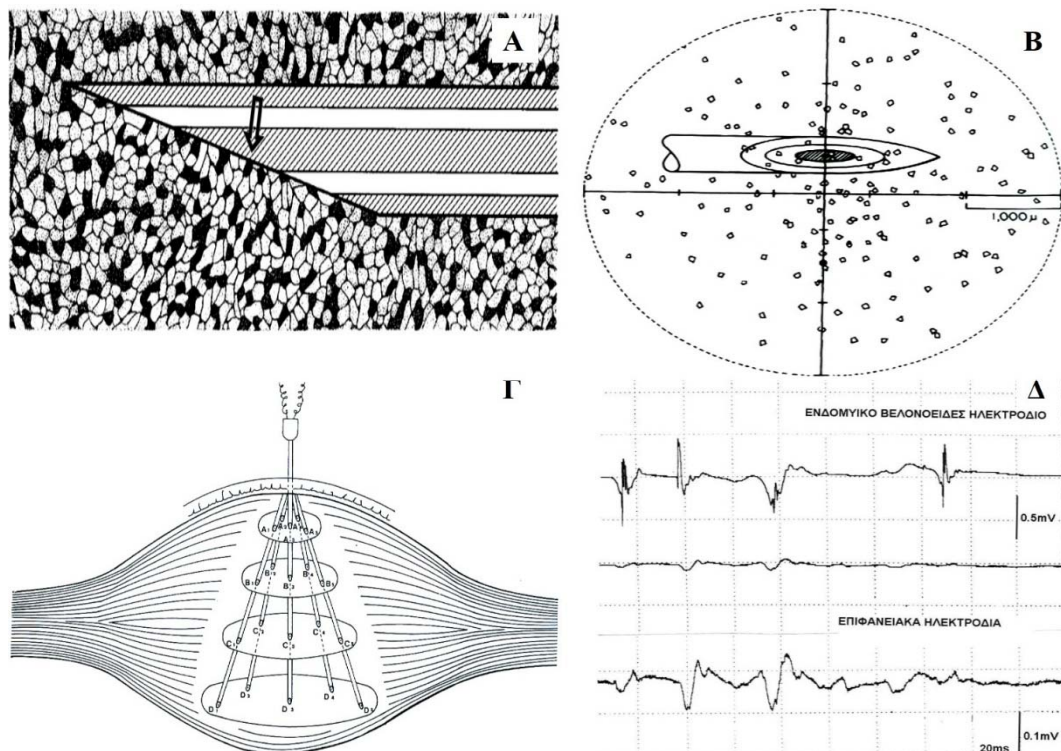
2.4. Αξιολόγηση της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

Η αξιολόγηση της TA γίνεται μέσω ηλεκτρομυογραφίας, είτε με επιφανειακά είτε με βελονοειδή-ενδομυϊκά ηλεκτρόδια (Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Lange et al., 2002; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983). Αρχικά η ενδομυϊκή αξιολόγηση της TA αναπτύχθηκε από τον Stålberg την δεκαετία του 1960-1970 (Stålberg, 1966), αλλά εξελίχθηκε αργότερα από τον Troni (Troni, et al., 1983; Troni et al., 1991) με την τεχνική που έχει επικρατήσει μέχρι σήμερα και έμεινε γνωστή ως «Τροποποιημένη κατά Troni» (αναλυτική περιγραφή στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας). Το τελευταίο διάστημα όμως χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο η αξιολόγηση της TA μέσω ηλεκτροδίων επιφανείας, τεχνική η οποία έχει αναπτυχθεί αρκετά από τις ερευνητικές ομάδες του Farina (Fallá & Farina, 2005; Farina, Arendt-Nielsen, et al., 2005a, 2005b; Farina, et al., 2007; Farina, Macaluso, et al., 2004; Farina, Pozzo, et al., 2004; Farina, Zagari, et al., 2004) και του Arendt-Nielsen (Arendt-Nielsen, et al., 1992; Arendt-Nielsen & Mills, 1985; Arendt-Nielsen & Mills, 1988; Arendt-Nielsen, et al., 1989).

Μέσα από την ηλεκτρομυογραφία επιφανείας μπορούμε να αξιολογήσουμε την TA κατά την διάρκεια πραγματοποίησης διαφόρων κινήσεων με μεγάλη ευκολία και χωρίς κάποια ενόχληση ή δυσφορία για τον δοκιμαζόμενο (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham et al., 2004c; Blijham et al., 2011; Lange, et al., 2002; T. Masuda, et al., 2001; McIntosh & Gabriel, 2012; A. D. Taylor, et al., 1997). Ωστόσο, το επιφανειακό ηλεκτρομυογράφημα δεν επιτρέπει να διακρίνουμε την ιδιαίτερη μορφολογία κάθε δυναμικού. Αυτό οφείλεται στο ότι ο μυς και το δέρμα δρουν σαν φίλτρα αποκοπής των υψηλών συχνοτήτων με αποτέλεσμα την εξαφάνιση των αιχμηρών στοιχείων των δυναμικών, αυτών που ακριβώς καθορίζουν την μορφολογία τους, και, κατά συνέπεια, την «ομογενοποίησή» τους. Αντίθετα, η χρήση ενδομυϊκών ηλεκτροδίων είναι μια πιο ιδιαίτερη διαδικασία, η οποία απαιτεί πολύ καλή γνώση και δεξιότητες από τον εξεταστή, πραγματοποιείται συνήθως σε κατάσταση ηρεμίας και ορισμένες φορές μπορεί να είναι ενοχλητική και επίπονη για τον δοκιμαζόμενο. Ωστόσο, η ενδομυϊκή αξιολόγηση της TA μπορεί να παράγει πιο λεπτομερή αξιολόγηση (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham, et al., 2011; Daube & Rubin, 2009a; T. Masuda, et al., 2001; Mitrovic et al., 1999; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven, 1995a).

Τα κύρια αποτελέσματα της αξιολόγησης της TA βασίζονται στην κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων (Daube & Rubin, 2009a; Stålberg, 1979) και περιλαμβάνουν τον μέσο όρο όλων των ινών (TA_{Total}), την μικρότερη (TA_{Min}) και την μεγαλύτερη ταχύτητα (TA_{Max}), καθώς και τον λόγο μεταξύ μεγαλύτερης προς την μικρότερη τιμή (F/S ratio), ο οποίος αντιπροσωπεύει την διασπορά των ταχυτήτων σε κάθε εξεταζόμενο (Blijham, et al., 2004c; Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Lange, et al., 2002; Troni, et al., 1983). Υπό κανονικές, φυσιολογικές

συνθήκες παρατηρείται μέτρια συσχέτιση ($r=0,400$, $p<0,050$) μεταξύ της μικρότερης (S) και της μεγαλύτερης (F) τιμής της TA (Van der Hoeven, 1995c), με αποτέλεσμα ο λόγος F/S στα υγιή άτομα να κυμαίνεται μεταξύ 1,50 και 2,10 (Blijham, et al., 2011; Buchthal, et al., 1955b; Chino et al., 1984; Martínez A Cruz, 1988; Hopf et al., 1974; Mitrovic, et al., 1999; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995a, 1995b; Vogt & Fritz, 2006). Ο λόγος F/S όμως φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά στις μυασθένειες (λεπτομέρειες στον παρακάτω πίνακα) και αποτελεί σημαντικό παράγοντα γνωμάτευσης (Van der Hoeven, 1995a, 1995d). Ωστόσο, αδιευκρίνιστη παραμένει η επίδραση της συστηματικής άσκησης και των διαφόρων ειδών της στον λόγο αυτό. Μέσα όμως από την ενδομυϊκή αξιολόγηση εκτός των παραπάνω μπορεί να γίνει και λεπτομερέστερη αξιολόγηση, η οποία περιλαμβάνει και τον διαχωρισμό των μυϊκών ινών σε τύπου I και II, με τις τύπου II να θεωρούνται οι ίνες όπου έχουν πάνω από $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ταχύτητα (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham, et al., 2011; Daube & Rubin, 2009a; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979), η οποία συμβαδίζει με την ενεργοποίηση των γρήγορων κινητικών μονάδων (Hopf, et al., 1974). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων της TA σε υγιή αθλητές άτομα και με μυασθένειες, έτσι όπως καταγράφονται από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία.



Σχήμα 2.13. Ενδομυϊκή ηλεκτρομυογραφία. (Α) Ομοαξονικό βελονοειδές ηλεκτρόδιο (Concentric needle electrode) μέσα στο μύ, (Β) Ομοαξονικό ηλεκτρόδιο και οι μυϊκές ίνες μιας κινητικής μονάδας με διάμετρο 5mm, (Γ) Τρόπος δειγματοληψίας του μύος με το βελονοειδές ενδομυϊκό ηλεκτρόδιο και (Δ) Στην πρώτη σειρά καταγραφή ΔΚΜ με βελονοειδές ενδομυϊκό ηλεκτρόδιο. Στη δεύτερη και τρίτη σειρά ταυτόχρονη καταγραφή των ίδιων δυναμικών με ένα ζευγάρι επιφανειακών ηλεκτροδίων τοποθετημένων εκατέρωθεν της βελόνας, χωρίς και με ενίσχυση αντίστοιχα (Kandel, et al., 2000).

Πίνακας 2.7: Οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες, σε υγιή άτομα και με μυασθένειες, κατά την ηρεμία.

Πληθυσμός		Εξεταζόμενος Μυς	Είδος Αξιολόγησης	Ταχύτητα Αγωγής Νευρικών Ωσεων στις Μυϊκές Ίνες				Παραπομπές
				Μέσος Όρος (m·s ⁻¹)	Εύρος Μέσων Όρων (m·s ⁻¹)	Λόγος F/S	Εύρος Τιμών F/S	
Υγιή Αγύμναστα Άτομα	Άνδρες	Δικέφαλος Βραχιόνιος	Ενδομυϊκό	4,20	3,15 – 5,70	1,96	1,20 – 2,10	(Blijham, et al., 2011; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Martinez A Cruz, 1988; Hopf, et al., 1974; Mitrovic, et al., 1999; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995a, 1995b; Vogt & Fritz, 2006)
			Επιφανείας	4,01	2,30 – 5,40	1,96	1,20 – 2,10	(Klaver-Krol et al., 2012; Lindstrom et al., 1970; Lynn, 1979; T. Masuda & Sadoyama, 1986; H. Nishizono et al., 1989; Yaar et al., 1984)
		Βραχ/δικός	Ενδομυϊκό	3,37	2,98 - 4,00	-	-	(Van der Hoeven et al., 1993)
		Δελτοειδής	Ενδομυϊκό	3,36	2,95 – 4,00	-	-	(Van der Hoeven, 1995a)
		Κοινός Εκτείνων τους Δακτύλους	Ενδομυϊκό	3,15	2,75 – 3,80	-	-	(Stålberg, 1966)
		Γαστρο/ος	Ενδομυϊκό	3,76	3,20 – 4,15	-	-	(Van der Hoeven, 1995a)
		Πρόσθιος Κνημιαίος	Ενδομυϊκό	3,43	2,80 – 3,95	-	-	(McIntosh & Gabriel, 2012; Van der Hoeven, 1995a)
			Επιφανείας	5,10	3,20 – 8,00			(McIntosh & Gabriel, 2012)
		Ορθός Μηριαίος	Ενδομυϊκό	4,15	2,06 – 5,20	1,96	1,50 – 2,10	(Blijham, et al., 2011; Naumann & Reiners, 1996a)
		Έσω Πλατύς Μηριαίος	Ενδομυϊκό	3,49	1,37 – 5,34	-	-	(Martinez A Cruz, 1988)
		Έξω Πλατύς Μηριαίος	Επιφανείας	4,72	3,90 – 5,50	-	-	(A. D. Taylor, et al., 1997)
	Γυναίκες	Δικέφαλος Βραχιόνιος	Ενδομυϊκό	3,85	3,07 – 5,00	1,96	1,50 – 2,10	(Blijham, et al., 2011; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Martinez A Cruz, 1988; Hopf, et al., 1974; Mitrovic, et al., 1999; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995a, 1995b; Vogt & Fritz, 2006)
			Επιφανείας	3,65	1,8 – 4,78	1,96	1,50 – 2,10	(Lindstrom, et al., 1970; Lynn, 1979; T. Masuda & Sadoyama, 1986; H. Nishizono, et al., 1989; Yaar, et al., 1984)
		Δελτοειδής	Ενδομυϊκό	2,95	2,05 – 3,50			(Van der Hoeven, 1995a)

Πληθυσμός		Εξεταζόμενος Μυς	Είδος Αξιολόγησης	Ταχύτητα Αγωγής Νευρικών Ωσεων στις Μυϊκές Ίνες				Παραπομπές
				Μέσος Όρος (m·s ⁻¹)	Εύρος Μέσων Όρων (m·s ⁻¹)	Λόγος F/S	Εύρος Τιμών F/S	
Υγιά Αγύμναστα Άτομα	Γυναίκες	Κοινός Εκτείνων τους Δακτύλους	Ενδομυϊκό	3,15	2,75 – 3,80	-	-	(Stålberg, 1966)
		Ορθός Μηριαίος		3,95	1,80 – 4,50	1,96	1,50 – 2,10	(Blijham, et al., 2011; Naumann & Reiners, 1996a)
		Έσ. Πλατύς Μηριαίος		2,89	1,25 – 3,90	-	-	(Martinez A Cruz, 1988)
		Πρόσθιος Κνημιαίος	Επιφανείας	5,10	3,2 – 8,00			(McIntosh & Gabriel, 2012)
Αθλητές	Δρομείς Ταχύτητας	Δικέφαλος Βραχιόνιος	Επιφανείας	4,15	4,00 – 4,90	-	-	(Klaver-Król, et al., 2010)
	Δρομείς Αντοχής			3,90	3,15 – 4,20	-	-	(Klaver-Król, et al., 2010)
Άτομα με:	Υποκαλιαμική Περιοδική Παράλυση	Δικέφαλος Βραχιόνιος	Επιφανείας	2,73	1,01 – 5,00	-	-	(Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Troni, et al., 1983; Troni, et al., 1991)
	Πολυμυοσίτιδα		Ενδομυϊκό	4,27	-	-	-	(Chino, et al., 1984)
	Plexus, no reinnervation		Επιφανείας	1,83	0,75 – 2,15	2,32	1,56 – 3,08	(Van der Hoeven, 1995a)
	Plexus, after reinnervation		Ενδομυϊκό	1,96	1,10 – 2,75	4,36	3,00 – 5,72	(Van der Hoeven, 1995a)
	Μυοτροφική Πλάγια Σκλήρυνση		Ενδομυϊκό	2,84	1,34 – 3,25	3,26	2,34 – 4,18	(Van der Hoeven, 1995a)
	Παιδιά με Duchene		Ενδομυϊκό	2,38	0,45 – 5,26	-	-	(Martinez A Cruz & Lopez, 1990)
	Απονέυρωση και Επανανέυρωση		Επιφανείας	2,02	1,00 – 3,01	2,21	2,11 – 2,31	(Cruz-Martinez & Arpa, 1999)
	Ατροφία	Έσω Πλατύς Μηριαίος	Ενδομυϊκό	2,81	1,25 – 4,01	2,34	1,17 – 3,51	(Cruz-Martinez & Arpa, 1999)
	Μυοπάθεια	Δικέφαλος Βραχιόνιος	Ενδομυϊκό	2,86	1,4 – 4,00	-		(Vogt & Fritz, 2006)
	Νευρογενή Μυασθένεια		Επιφανείας	3,06	1,60 – 1,80	-		(Vogt & Fritz, 2006)
	Δυστροφική Μυοπάθεια	Ορθός Μηριαίος	Ενδομυϊκό	3,60	1,36 – 5,00	4,55	1,25 – 7,85	(Blijham, et al., 2011)
	Μεταβολική Μυοπάθεια		Ενδομυϊκό	3,50	1,95 – 4,54	3,00	2,10 – 3,90	(Blijham, et al., 2011)
	Φλεγμονώδη Μυοπάθεια		Επιφανείας	2,9	1,25 – 3,40	2,8	2,00 – 5,20	(Blijham, et al., 2011)

Πληθυσμός	Εξεταζόμενος Μυς	Είδος Αξιολόγησης	Ταχύτητα Αγωγής Νευρικών Ωσεων στις Μυϊκές Ίνες				Παραπομπές
			Μέσος Όρος (m·s ⁻¹)	Εύρος Μέσων Όρων (m·s ⁻¹)	Λόγος F/S	Εύρος Τιμών F/S	
Ατομα με:	Μη Φλεγμονώδη Μυοπάθεια	Ενδομυϊκό	3,30	1,44 – 4,12	3,50	3,00 – 4,00	(Blijham et al., 2004a)
	Μη Δυστροφική Μυοπάθεια		3,60	2,99 – 4,41	3,8	2,10 – 5,50	(Blijham, et al., 2011)
	Καναλοπάθεια		3,00	2,10 – 3,55	2,50	1,60 – 3,40	(Blijham, et al., 2011)
	Χρόνια Μυοσίτιδα		3,20	1,23 – 4,14	2,70	1,35 – 3,14	(Van der Hoeven, 1995a, 1995d)
		Επιφανείας	4,23	3,39 – 4,44	-	-	(Van der Hoeven, 1995a, 1995d)
	Ινομυαλγία	Επιφανείας	4,80	3,58 – 6,01	-	-	(Klaver-Kröl et al., 2012; Klaver-Kröl, et al., 2012)
	Αρθρικά Προβλήματα Κάτω Άκρων	Μέσος Μηριαίος Επιφανείας	2,91	2,20 – 3,60	-	-	(Mase, et al., 2006)

Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή και θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω, υπάρχουν πολλοί βιολογικοί και μη παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την αξιολόγηση της ΤΑ, είτε μέσω ηλεκτρομυογραφίας επιφανείας είτε μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων, καθιστώντας την μη αξιόπιστη. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες της αξιόπιστης αξιολόγησης της ΤΑ είναι ο αριθμός των μετρημένων μυϊκών ινών από κάθε εξεταζόμενο (Daube & Rubin, 2009a; Stålberg, 1979). Ωστόσο, από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία διαπιστώνεται ότι υπάρχει ασυμφωνία σχετικά με τον απαραίτητο αριθμό των μυϊκών ινών που πρέπει να μετρηθούν κατά την αξιολόγηση. Μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας διαπιστώνεται μεγάλο εύρος ως προς τον αριθμό των μυϊκών ινών που μετρήθηκαν κατά την αξιολόγηση της ΤΑ, από 25 έως 140 διαφορετικές ίνες, με τις περισσότερες έρευνες να χρησιμοποιούν 40 έως 60 διαφορετικές ίνες ανά εξεταζόμενο (Blijham et al., 2007; Blijham, et al., 2006; Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Lange, et al., 2002; M. Nielsen, Graven-Nielsen, et al., 2008; Sadoyama, et al., 1988; Schulte et al., 2005; Troni, et al., 1983; Troni, et al., 1991; J. V. Trontelj, 1993; Vila-Cha et al., 2012; Yaar & Niles, 1992). Επίσης, έχει αναφερθεί ότι μόνο 83 από τις 150 διεγέρσεις παράγουν φυσιολογικές τιμές της ΤΑ (Merletti et al., 1995). Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να παραμένει αδιευκρίνιστος ακόμα ο απαραίτητος αριθμός των μυϊκών ινών που πρέπει να μετρηθούν για μια αξιόπιστη αξιολόγηση της ΤΑ. Παράλληλα, μέχρι τώρα μόνο 3 έρευνες έχουν εξετάσει την αξιοπιστία της αξιολόγησης της ΤΑ, μάλιστα μόνο μέσω της χρήσης επιφανειακών ηλεκτροδίων και μόνο για τον μέσο όρο της ΤΑ, οι οποίες ανέφεραν ότι η αξιοπιστία της μέτρησης κυμαινόταν από 0,11 έως 0,83 (Farina, Zagari, et al., 2004; McIntosh & Gabriel, 2012; Merletti, et al., 1995), πιθανότατα λόγω μεθοδολογικών

προβλημάτων της ηλεκτρομυογραφίας επιφανείας, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση ή την υπερκτίμηση της TA (Farina, Zagari, et al., 2004; Merletti, et al., 1995). Σημαντικό πρόβλημα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία αποτελεί το γεγονός ότι ποτέ δεν έχει αξιολογηθεί η αξιοπιστία της εκτίμησης και των υπόλοιπων παραμέτρων της TA, όπως αυτών των μέσων όρων των ινών τύπου I και II, της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής, καθώς και του λόγου F/S, αν και αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την γνωμάτευση διαφόρων μυασθενειών.

2.5. Βιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

2.5.1. Είδος μυϊκής σύσπασης

Η TA φαίνεται ότι επηρεάζεται και από πολλούς παράγοντες. Το είδος της μυϊκής σύσπασης φαίνεται πως είναι ένας σημαντικός παράγοντας τροποποίησης της TA, με τις δυναμικές-ισοτονικές κινήσεις και τις σύγκεντρες συσπάσεις να προκαλούν σημαντικότερη αύξησή της σε σχέση με την ισομετρική και την έκκεντρη αντίστοιχα (Gonzalez-Izal et al., 2014; Klaver-Król, et al., 2007; Pozzo, et al., 2006), αν και αυτό δεν διαπιστώνεται πάντα (Merlo, et al., 2005a). Ωστόσο, υπάρχει αναφορά για την ύπαρξη υψηλής συσχέτισης μεταξύ των τιμών της TA κατά την διάρκεια εκρηκτικής δραστηριότητας και αυτών που εκτιμήθηκαν κατά την διάρκεια μέγιστης ισομετρικής προσπάθειας (Pozzo, et al., 2004). Αντίθετα, διαπιστώνεται ότι η TA μεταβάλλεται το ίδιο κατά την ισοτονική και ισοκινητική δραστηριότητα, είτε πρόκειται για μέχρι κοπώσεως είτε όχι (Mitrovic, et al., 1999).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το αποτέλεσμα της μη ύπαρξης διαφοράς μεταξύ της TA που εκτιμήθηκε κατά την μέγιστη ισομετρική άσκηση και αυτής κατά την μέγιστη δυναμική-εκρηκτική, σε αντίθεση με την στιγμιαία μέση συχνότητα που ήταν σημαντικά μικρότερη κατά την μέγιστη εκρηκτική δραστηριότητα, πιθανότατα λόγω της φύσης της δραστηριότητας, η οποία οδηγεί σε μεγαλύτερο συγχρονισμό των επιστρατευμένων κινητικών μονάδων (Merlo, et al., 2005a).

2.5.2. Μήκος μυός

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την TA είναι το μήκος του μυός, όπως αυτό μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μιας διάτασης. Οι πρώτες έρευνες πάνω στο θέμα αυτό πραγματοποιήθηκαν σε μυϊκές ίνες βατράχων από τους Hoffmann το 1912 (Hoffmann, 1913), Hieronymus το 1913 (Hieronymus, 1913), Wilska και Varjoranta το 1940 (Wilska & Varjoranta, 1940) και Martin το 1954 (A. Martin, 1954), με πολύ αντικρουόμενα συμπεράσματα. Μέσα από τις μέχρι τώρα έρευνες στον άνθρωπο διαπιστώνεται ότι η TA μειώνεται σημαντικά καθώς αυξάνεται το μήκος του μυός και μειώνεται το πάχος των μυϊκών ινών, ενώ αυξάνεται καθώς ο μύς συστέλλεται, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται όταν η συστολή του μυός φτάνει πάνω από το 80% της πλήρους συστολής του (Arendt-Nielsen, et al., 1992; Hakansson, 1956; Kossev et al., 1992; Morimoto, 1986; Rau et al., 1997; Sakamoto & Li, 1997; Schulte et al., 2004; J. V. Trontelj, 1993). Μάλιστα, η μείωση της TA κατά την διάταση των μυών μπορεί να ξεπεράσει κατά μέσο όρο και τα $1,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ή το 50% σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας (Arendt-Nielsen, et al., 1992; Kossev, et al., 1992; A. Martin, 1954). Σε ενίσχυση αυτών των συμπερασμάτων οι Arendt-Nielsen και συν., διαπίστωσαν ότι η TA του

τετρακέφαλου ήταν 1,5 φορές υψηλότερη όταν το γόνατο είχε κάμψη 45° σε σχέση με όταν είχε 90° (Arendt-Nielsen, et al., 1992). Ωστόσο, υπάρχουν και βιβλιογραφικές αναφορές για την μη σημαντική μεταβολή ή και αύξηση της TA κατά την διάταση των μυών (T. Brown et al., 1996; Gydikov & Kosarov, 1972; Hakansson, 1957; Hodgkin, 1954; A. Martin, 1954; Schulte, et al., 2005), οι οποίες όμως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με μεγάλη επιφύλαξη, λόγω διαφόρων μεθοδολογικών προβλημάτων. Τέλος, η συμβολή του μήκους του μυός είναι σημαντικότερη όσον αφορά την TA του τετρακέφαλου και του δικέφαλου μηριαίου κατά την εκτέλεση εκρηκτικών δραστηριοτήτων, με τις μικρότερες τιμές να διαπιστώνονται στις μικρές γωνίες και τις μεγαλύτερες σε γωνίες άνω των $90^\circ - 100^\circ$, διαπίστωση η οποία συμβαδίζει με την μεταβολή της παραγόμενης δύναμης και ισχύος (Pozzo, et al., 2004). Ωστόσο, οι συγγραφείς αναφέρουν ότι υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ των τιμών της TA στις μικρές γωνίες και αυτών των μεγάλων γωνιών (Pozzo, et al., 2004).

Ο λόγος για τον οποίο παρατηρείται αυτό το φαινόμενο είναι η μείωση του μεγέθους των μυϊκών ινών κατά την επιμήκυνση του μυός, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εσωτερική (Clausen, 2003b; Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hakansson, 1956; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Morimoto, 1986; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Zhang, et al., 2006) και πιθανότατα και η μεμβρανική αντίστασή τους (Arendt-Nielsen, et al., 1992; Broman, et al., 1985b; Buchthal et al., 1955a; Buchthal, et al., 1955b; Buchthal & Sten-Knudsen, 1959), ενώ πιθανότατα να επηρεάζονται συνολικά οι ηλεκτροφυσιολογικές λειτουργίες που συντελούν στην δημιουργία και στην αναδημιουργία του ηλεκτρικού σήματος κατά μήκος της διατεταμένης μυϊκής ίνας (Arendt-Nielsen, et al., 1992; T. Brown, et al., 1996; Hakansson, 1957; Houtman, et al., 2003; Katz, 1948; Kossev, et al., 1992; A. Martin, 1954; Mitrovic, et al., 1999; Oetliker & Schümperli, 1982; Sakamoto & Li, 1997; Stålberg, 1980; J. V. Trontelj, 1993; Van der Hoeven, 1995a).

2.5.3. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία τόσο του περιβάλλοντος όσο και των μυών είναι ένας σημαντικός ρυθμιστής των μεταβολικών διαδικασιών (Rall & Woledge, 1990a), της ιοντικής κινητικότητας, της ηλεκτροφυσιολογικής κατάστασης της κυτταρικής μεμβράνης και της ηλεκτροχημικής κινητηρίου δύναμης των διαύλων και ιόντων της μεμβράνης, που επηρεάζει σημαντικά την αγωγιμότητα και διαπερατότητα του σαρκειλήματος (Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Ragolia et al., 1997; Rall & Woledge, 1990b; Rutkove, et al., 1997; Szucs, et al., 1991), όχι όμως την μεταβολή της σταθεράς μήκους (Hodgkin & Nakajima, 1972), ενώ είναι γνωστό ότι επηρεάζει επίσης την ικανότητα παραγωγής δύναμης και ισχύος (Petrofsky & Laymon, 2005), καθώς και την ταχοδυναμική σχέση των μυών (De Ruiter & De Haan, 2000). Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία των μυών κατά την άσκηση, να παρατηρείται γραμμική αύξηση της TA, τόσο σε πειραματόζωα (Buchthal & Engbæk, 1963) όσο και στον άνθρωπο (Farina, et al., 2005a; Gray et al., 2006; Stålberg, 1966; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven & Lange, 1994), με μια μέση μεταβολή της TA κατά $\sim 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ανά 1°C μεταβολής της θερμοκρασίας (Rau et al., 1988; Troni, et al., 1991), η οποία αυξάνεται καθώς

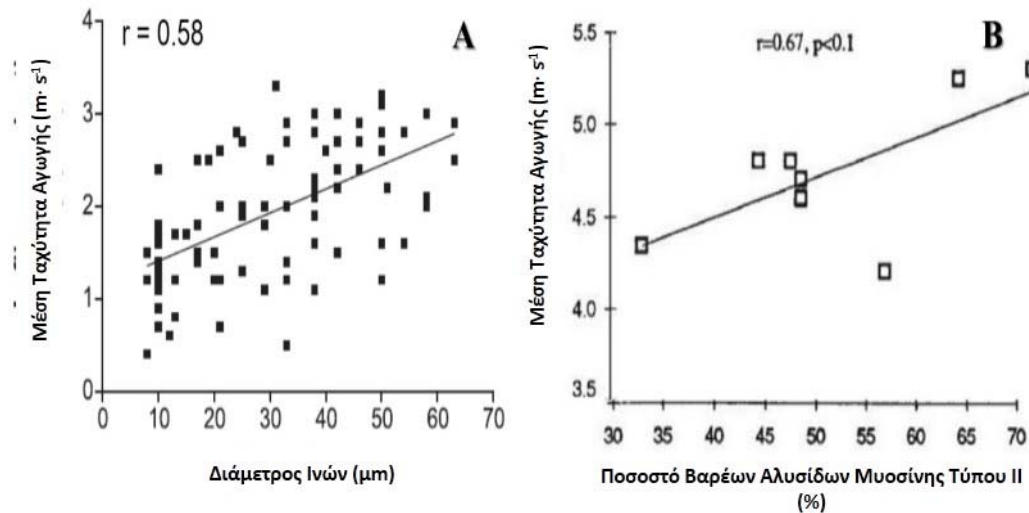
αυξάνεται το μέγεθος των ινών (Troni, et al., 1991). Σε ενίσχυση αυτών των συμπερασμάτων έχει διαπιστωθεί ότι η αυξημένη ΤΑ, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας των μυών, συμβαδίζει με την αύξηση της κατανάλωσης (Turnover) του ATP, υποδηλώνοντας την αυξημένη λειτουργία των εγκάρσιων γεφυρών, κυρίως στις μυϊκές τύπου II (Gray, et al., 2006), καθώς και με τον ρυθμό πυροδότησης των κινητικών νευρώνων (Petrofsky & Laymon, 2005). αποδεικνύεται έτσι μέρος του μηχανισμού που ευθύνεται για την βελτίωση της ταχοδυναμικής σχέσης (De Ruiter & De Haan, 2000). Σε αντίθεση, η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί πτώση της ΤΑ από $0,05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ έως $0,2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ανά 1°C (Rau, et al., 1997; Sheikh et al., 2001; Stålberg, 1966), διαπίστωση η οποία συμβαδίζει με την μείωση των ηλεκτροφυσιολογικών ιδιοτήτων και διεργασιών του σαρκελήματος, τουλάχιστον όπως προκύπτει από δεδομένα σε έρευνα με πειραματόζωα (Hodgkin & Nakajima, 1972).

2.5.4. Μέγεθος και κατανομή μυϊκών ινών

Από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία, τόσο σε απομονωμένες μυϊκές ίνες όσο και από έρευνες σε ανθρώπους, η ΤΑ φαίνεται να επηρεάζεται πρωτίστως από το μέγεθος των μυϊκών ινών. Η πρώτη αναφορά έγινε από τον Hakansson το 1956, ο οποίος διαπίστωσε, σε απομονωμένες μυϊκές ίνες βατράχων, σημαντική συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους των μυϊκών ινών και της ΤΑ τους (Hakansson, 1956). Πρώιμες έρευνες σε άνθρωπο φανέρωσαν το ίδιο φαινόμενο (Stålberg, 1966, 1980), ενώ μεταγενέστερες, που επικεντρώθηκαν κυρίως σε ασθενείς με μυασθένειες, παρουσίασαν μέτριες συσχετίσεις μεταξύ της μέσης διαμέτρου των μυϊκών ινών και της μέσης τιμής της ΤΑ (Blijham, et al., 2006; Stålberg, 1980), σχέση η οποία αντικατοπτρίζεται και από την ύπαρξη μέτριας συσχέτισης μεταξύ της ΤΑ και της περιμέτρου του μυός ή του άκρου (Broman, et al., 1985b; Gechev et al., 2003). Παράλληλα, φαίνεται ότι υπάρχει διαφοροποίηση στο επίπεδο των συσχετίσεων, όταν εξετάζονται ξεχωριστά οι σχέσεις μεταξύ (α) της μικρότερης διαμέτρου των μυϊκών ινών και της μικρότερης ΤΑ και (β) της μεγαλύτερης διαμέτρου και της μεγαλύτερης ΤΑ, συσχετίσεις οι οποίες όμως είναι πάντα ανάλογες της μυασθένειας (Blijham, et al., 2006). Χαρακτηριστικό παράδειγμα της σχέσης αυτής είναι η αναφορά των Blijham και συν. (Blijham, et al., 2006) ότι ασθενείς με μυϊκές ίνες με διάμετρο πάνω από $292\ \mu\text{m}$ είχαν μέγιστη ΤΑ πάνω από $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, υποδηλώνοντας έτσι την συμβολή των υπερτροφικών μυϊκών ινών στην μέγιστη ΤΑ. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν έχει εξεταστεί η σχέση μεταξύ του μεγέθους των μυϊκών ινών και της ΤΑ που υπάρχει σε υγιή άτομα που πραγματοποιούν συστηματική άσκηση για υπερτροφία. Παράλληλα, αδιευκρίνιστο παραμένει ακόμα εάν και οι άλλες παράμετροι της ΤΑ (π.χ. η μεγαλύτερη τιμή και ο λόγος F/S) σχετίζονται με το μέγεθος των μυϊκών ινών.

Λόγω των παραπάνω σχέσεων, στην βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διάφορες εξισώσεις πρόβλεψης της ΤΑ από την διάμετρο των μυϊκών ινών τόσο σε υγιή αθλητικά άτομα (1) $TA=0,05\cdot\text{διάμετρο}+0,95$ (Nandedkar & Stålberg, 1983b), (2) $TA=2,2+0,05\cdot[\text{διάμετρο}+25]$ (Nandedkar & Stålberg, 1983a), όσο και σε άτομα με μυασθένειες (3) $TA=0,043\cdot\text{διάμετρο}+0,83$ (Blijham, et al., 2006). Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν έχει παρουσιαστεί κάποια εξίσωση ανεύρεσης της ΤΑ από παράγοντες της κατανομής των μυϊκών ινών, οι οποίοι είναι πιο

γνωστοί στην αθλητική επιστήμη, όπως το ποσοστό (%), η εγκάρσια επιφάνεια (CSA) και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας του μυός από τους διάφορους τύπους των μυϊκών ινών, ούτε εξίσωση για την αντίθετη πορεία, όπως επίσης δεν έχει παρουσιαστεί εξίσωση εκτίμησης των παραπάνω παραγόντων της κατανομής των μυϊκών ινών από την ΤΑ.



Σχήμα 2.14. Συσχετίσεις μεταξύ ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες και (A) διαμέτρου μυϊκών ινών (Blijham et al., 2006) και (B) ποσοστό της βαριάς αλυσίδας της μυοσίνης τύπου II (Taylor et al., 1997), σε ασθενείς με μυασθένειες.

Ο βασικός λόγος για τον οποίο το μέγεθος των μυϊκών ινών επηρεάζει την ΤΑ είναι ο τρόπος μετάδοσης του νευρικού σήματος κατά μήκος της μυϊκής ίνας, ο οποίος εξαρτάται από την R_m και την R_i (Blaustein & Lederer, 1999; Broman, et al., 1985b; Buchthal, et al., 1955a, 1955b; Clausen, 1986, 2003b; Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hakansson, 1956; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Morimoto, 1986; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Zhang, et al., 2006). Το ηλεκτρικό ρεύμα του δυναμικού ενέργειας κατά την μετάδοσή του στις μυϊκές ίνες ακολουθεί πάντα την πορεία με την λιγότερη αντίσταση (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Στις μυϊκές ίνες η R_m είναι πολύ μεγαλύτερη από την R_i , με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της μετάδοσης των νευρικών ώσεων να πραγματοποιείται μέσω του σαρκοπλάσματος. Επομένως, το μέγεθος των μυϊκών ινών φαίνεται να είναι ένας σημαντικός ρυθμιστής του τρόπου αλλά κυρίως της ταχύτητας της μετάδοσης αυτών των ώσεων (Stålberg, 1966, 1979, 1980). Όσο μεγαλύτερη είναι μια μυϊκή ίνα, τόσο περισσότερους ιοντικούς διαύλους φέρει στην περιφέρειά της, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η διαπερατότητα και η αγωγιμότητά της, διαδικασία η οποία οδηγεί στην σημαντική μείωση της R_m και στην πιο γρήγορη και έντονη εκπόλωσή της (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hodgkin & Nakajima, 1972; Kandel, et al., 2000). Παράλληλα, η R_i εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από το μέγεθος της μυϊκής ίνας, διότι επηρεάζεται από τον βαθμό των «συγκρούσεων» μεταξύ των ιόντων του νευρικού ρεύματος που προωθείται μέσω της ίνας και των ιόντων που υπάρχουν ήδη στο σαρκόπλασμα, καθώς και από το γεγονός ότι μέσα από τις μεγάλες διατομές μπορούν να μεταφερθούν

μεγαλύτερα φορτία, με αποτέλεσμα την γρηγορότερη μετάδοση του νευρικού σήματος (Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα των παραπάνω τροποποιήσεων της R_m και R_i είναι ότι οι μεγάλες μυϊκές ίνες έχουν μεγαλύτερη σταθερά μήκους (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

Εκτός από το μέγεθος των μυϊκών ινών, η TA φαίνεται ότι επηρεάζεται σημαντικά από τον τύπο των μυϊκών ινών. Οι Kura και συν., για πρώτη φορά ανέφεραν ότι η TA ποντικών σχετίζεται αρνητικά με το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου I, και θετικά με τις τύπου II (Kura, et al., 1995), διαπιστώσεις οι οποίες αργότερα φανερώθηκαν και σε ασθενείς με μυασθένειες, δηλ. ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό τύπου I ή το ποσοστό της βαριάς αλυσίδας της μυοσίνης τύπου I (%MCH I), τόσο μικρότερη είναι η TA κατά την ηρεμία (Blijham, et al., 2006; Linssen et al., 1991). Σε υγιή αγύμναστα ή γυμνασμένα άτομα οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην ανίχνευση των σχέσεων μεταξύ της TA κατά την διάρκεια της σύσπασης ή άσκησης και του ποσοστού των μυϊκών ινών. Μέτρια συσχέτιση φαίνεται να υπάρχει μεταξύ της TA κατά την διάρκεια ισομετρικής υπομέγιστης άσκησης και του %MCH II, σε μέτρια γυμνασμένους άνδρες (A. D. Taylor, et al., 1997), η οποία συμβαδίζει με τη μέτρια συσχέτιση μεταξύ της TA και του κατωφλιού επιστράτευσης των μυϊκών ινών, με τις ίνες με υψηλότερο κατώφλι, όπως αυτές του τύπου II, να παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές της TA (T. Masuda & De Luca, 1991). Ωστόσο, οι Sadoyama και συν. (Sadoyama, et al., 1988) δεν μπόρεσαν να ανιχνεύσουν κάποια σχέση μεταξύ του ποσοστού των ινών τύπου II και της TA κατά την ισομετρική άσκηση σε δρομείς ταχύτητας και αντοχής. Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι ακόμα δεν έχει εξεταστεί η σχέση μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών και της TA σε υγιή ή/και αγύμναστα άτομα, ή το πώς τροποποιείται αυτή η πιθανή σχέση μέσα από τα διάφορα είδη της συστηματικής προπόνησης.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην βιβλιογραφία υπάρχει και μια αναφορά για την ύπαρξη υψηλής συσχέτισης μεταξύ του %CSA των ινών τύπου II και της μέσης TA ($r=0,840$, $p= 0,001$), σε δρομείς ταχύτητας και αντοχής (Sadoyama, et al., 1988), η οποία όμως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με επιφύλαξη, διότι αναφέρει ότι το %CSA των ινών τύπου II στους δρομείς ταχύτητας κυμαινόταν μεταξύ 75%-93%, ενώ στους δρομείς αντοχής από 40% έως 75%, τιμές οι οποίες σήμερα θεωρούνται εξαιρετικά ακραίες και μεγάλες (Billeter et al., 2003; Crowther et al., 2002; Widrick et al., 2002), ενώ παράλληλα οι τιμές της TA (4,13 έως 5,20 $m \cdot s^{-1}$) ήταν εφάμιλλες με αυτές που παρατηρούνται σε αγύμναστα άτομα (A. D. Taylor, et al., 1997). Αποτέλεσμα αυτού είναι να παραμένει αδιευκρίνιστο εάν το %CSA των μυϊκών ινών συνδέεται με το μέγεθος της TA.

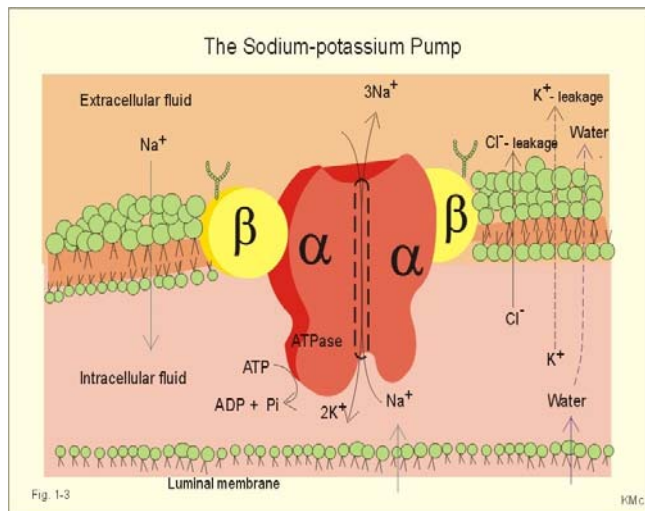
Πίνακας 2.8: Έρευνες που εξέτασαν την σχέση μεταξύ ποσοστού των μυϊκών ινών και της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες ανθρώπων.

Συγγραφείς	Δείγμα	Είδος Ηλεκτρομυογραφικής Αξιολόγησης	Εξεταζόμενος Μυς	Είδος Ανάλυσης Μυϊκού Ιστού	Αποτέλεσμα
Farina et al. (2007)	10 έμπειροι ποδηλάτες	Επιφανείας Στο αναερόβιο κατώφλι	Έξω πλατύς μηριαίος	Ηλεκτροφόρηση βαριών αλυσίδων μυοσίνης (MHC)	Συσχέτιση μεταξύ TA και %MHC I (r=0,916)
Taylor et al. (1997)	31 νεαροί μέτρια γυμνασμένοι άνδρες	Επιφανείας Κατά την διάρκεια ισομετρικής σύσπασης	Έξω πλατύς μηριαίος	Ηλεκτροφόρηση βαριών αλυσίδων μυοσίνης (MHC)	Συσχέτιση μεταξύ TA και %MHC II (r=0,670)
Linseen et al. (1991)	6 ασθενείς με μυασθένειες	Επιφανείας Κατά την διάρκεια ισομετρικής σύσπασης	Ορθός μηριαίος	Ιστοχημική Χρώση	Αρνητική συσχέτιση μεταξύ TA και %MHC I (r=0,648)
Sadoyama et al. (1998)	12 δρομείς ταχύτητας & 7 αντοχής	Επιφανείας Κατά την διάρκεια ισομετρικής σύσπασης	Έξω πλατύς μηριαίος	Ιστοχημική Χρώση	Καμία συσχέτιση μεταξύ TA και % ινών τύπου I και II

TA: Ταχύτητα αγωγής νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες; %MHC I: Ποσοστό βαριάς αλυσίδας της μυοσίνης τύπου I; %MHC II: Ποσοστό βαριάς αλυσίδας της μυοσίνης τύπου II.

Ο βασικός λόγος για την μεγαλύτερη TA των ινών τύπου II είναι ότι, καθώς οι ίνες αυτές είναι μεγάλες, διαπιστώνεται και μεγαλύτερη πυκνότητα ιοντικών διαύλων κατά μήκος τους, με αποτέλεσμα να μειώνεται η R_m και λόγω διαφοροποίησης της ηλεκτροχημικής κινητήριας δύναμης να μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου μεγαλύτερος αριθμός ιόντων και να προκαλείται πιο γρήγορα δυναμικό δράσης και αναπαραγωγή του έντονου δυναμικού ενέργειας (Kandel, et al., 2000; Rutkove, et al., 1997; Zhang, et al., 2006). Παράλληλα, τουλάχιστον σε πειραματόζωα, διαπιστώνεται διαφορά στην δομή των αντλιών $Na^+ - K^+ - ATPάσης$, με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της περιόδου ερεθιστικότητας της μεμβράνης (Clausen, 2003b; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006).

Ένας μικρός αριθμός ερευνών σε πειραματόζωα έχει αποδείξει ότι οι αντλίες $Na^+ - K^+ - ATPάσης$ αποτελούνται από 2 υποομάδες με πολλαπλές ισομορφές (Clausen, 2003b; Fowles et al., 2004; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006). Οι 2



Σχήμα 2.15. Δομή των υποομάδων της αντλίας $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$ (Clausen, 2003).

ισομορφές της α-υποομάδας φαίνεται να εκφράζονται το ίδιο και στους 2 τύπους των ινών.

Ωστόσο, διαφοροποίηση υπάρχει για τις 2 ισομορφές της β-υποομάδας, με την β1 να εκφράζεται στις τύπου I και την β2 στις τύπου II, ισομορφή η οποία φαίνεται να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διεγερσιμότητα του σαρκελλήματος, μειώνοντας τον χρόνο που χρειάζεται να δημιουργηθεί το δυναμικό ενέργειας (Clausen, 2003b; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Fowles, et al., 2004;

Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006). Τέλος, φαίνεται ότι υπάρχει διαφοροποίηση και στη πυκνότητα των ανταλλαγών $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ (Sodium/Calcium Exchange) μεταξύ των 2 τύπων των μυϊκών ινών (Blaustein & Lederer, 1999), με τις μυϊκές ίνες τύπου II να έχουν μικρότερη ποσότητα αυτών (Léoty, 1984). Επομένως, οι διαφοροποιήσεις αυτές ίσως να συνεισφέρουν στην γρηγορότερη μετάδοση των δυναμικών κατά μήκος των ινών τύπου II (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Clausen, 2003b; Kereshi et al., 1983; Zhang, et al., 2006), αν και αυτό δεν έχει αποδειχθεί ακόμα σε ανθρώπινες μυϊκές ίνες.

2.6. Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ώσεων στις μυϊκές ίνες και παραγωγή δύναμης και ισχύος

Δυστυχώς μέχρι σήμερα η πλειονότητα των ερευνών επικεντρώνεται κυρίως στην μεταβολή της TA κάτω από συνθήκες κόπωσης, είτε παθολογικής είτε ασκησιογενούς προέλευσης (Nishihara, et al., 2003; Sadoyama et al., 1983), δίνοντας σημαντικές πληροφορίες για την οξείδωση του μύος, τις μεταβολικές συνθήκες της μεμβράνης των μυϊκών ινών και το επίπεδο λειτουργίας του νευρικού συστήματος (Arendt-Nielsen & Mills, 1988; Brody et al., 1991; Eberstein & Beattie, 1985; Gray, et al., 2006; Hanayama, 1994; Houtman, et al., 2003; Katz, 1948; Klaver-Krol, et al., 2012; Krogh-Lund, 1993; Krogh-Lund & Jørgensen, 1991; Linssen, et al., 1991; Macdonald et al., 2008; K. Masuda et al., 1999; Naeije & Zorn, 1982; Naumann & Reiners, 1996a; M. C. Pereira et al., 2013; Piitulainen et al., 2011; Sangrey & B Levy, 2005; Schmitz et al., 2012; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Stewart, et al., 2011; Yaar & Niles, 1992; Zwarts et al., 1987). Μόνο ένας πολύ περιορισμένος αριθμός ερευνών επικεντρώνεται στην διερεύνηση της συμβολής ή των σχέσεων της TA στην ή με την σωματική απόδοση και λειτουργία.

Το μέγεθος της TA φαίνεται να είναι σε συνάρτηση με το μέγεθος της εξωτερικής αντίστασης ή την ένταση της άσκησης-δραστηριότητας. Αρκετές

έρευνες έχουν αποδείξει ότι όσο αυξάνεται η ένταση της άσκησης ή το μέγεθος της υπερνικούμενης εξωτερικής αντίστασης, είτε κατά την διάρκεια της αερόβιας είτε της αναερόβιας άσκησης, η TA αυξάνεται γραμμικά (Arendt-Nielsen, et al., 1992; Arendt-Nielsen, et al., 1989; Hanayama, 1994; Houtman, et al., 2003; Kilen, et al., 2012; Klaver-Król, et al., 2007; Klaver-Król, et al., 2010; Li & Sakamoto, 1996; T. Masuda & De Luca, 1991; T. Masuda, et al., 1996; Merlo, et al., 2005a; Nishihara, et al., 2003; Pozzo, et al., 2006; Pozzo, et al., 2004; Sadoyama & Masuda, 1987; Van der Hoeven & Lange, 1994), με έναν ρυθμό περίπου $0,018 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ για κάθε 1% της μέγιστης δύναμης αύξησης της εξωτερικής δύναμης (τουλάχιστον μέχρι το 50%-75%) (Arendt-Nielsen, et al., 1992; T. Masuda & De Luca, 1991). Σε ενίσχυση αυτών των παρατηρήσεων, διαπιστώνεται ότι οι μέγιστες τιμές επιτυγχάνονται κοντά στην μέγιστη αντίσταση, αύξηση η οποία κυμαίνεται από 18% έως 40% σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας (Arendt-Nielsen & Mills, 1985; Broman et al., 1985a; Klaver-Król, et al., 2007; Li & Sakamoto, 1996; T. Masuda, et al., 2001; T. Masuda & Sadoyama, 1986; T. Masuda, et al., 1996; Morimoto & Masuda, 1984; Pozzo, et al., 2004; Sadoyama & Masuda, 1987; Sadoyama, et al., 1983; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966), στην μέγιστη ροπή (T. Masuda, et al., 2001), στην μέγιστη επιβάρυνση κατά την ποδηλάτηση (Schmitz, et al., 2012), και στο αναερόβιο κατώφλι (Farina, et al., 2007; Lenti et al., 2010; M. C. Pereira, et al., 2013), ακόμα και σε προχωρημένους αθλητές δρόμων ταχύτητας και αντοχής (Klaver-Król, et al., 2010).

Πολλοί παράγοντες μεσολαβούν για αυτές τις παρατηρήσεις, αλλά ο κυριότερος είναι η αύξηση του αριθμού των επιστρατευμένων κινητικών μονάδων και του ρυθμού πυροδότησής τους, διαπίστωση η οποία αποδίδεται στην αρχή του μεγέθους και του φαινομένου της κλίμακας (Eberstein & Beattie, 1985; Felici, 2006; Hopf, et al., 1974; Houtman, et al., 2003; Krogh-Lund & Jørgensen, 1993; T. Masuda & De Luca, 1991; T. Masuda, et al., 2001; T. Masuda, et al., 1996; Morimoto & Masuda, 1984; Sadoyama & Masuda, 1987; Sadoyama, et al., 1983; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966). Μάλιστα οι Arendt-Nielsen και συν. αναφέρουν ότι η αύξηση της συχνότητας του νευρικού σήματος συσχετιζόταν πολύ υψηλά ($r = 0,970$, $p = 0,000$) με την αύξηση της TA, καθώς αυξανόταν η ένταση του εξωτερικού φορτίου (Arendt-Nielsen & Mills, 1985), στοιχείο που υποστηρίζεται από το γεγονός ότι η TA εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ επαναλαμβανόμενων ενεργοποιήσεων των ινών, λόγω της διαφοροποίησης της χρονικής διασποράς των δυναμικών δράσεων στις μυϊκές ίνες (Griffin et al., 2002; Mihelin et al., 1991; Stålberg, 1966; J. Trontelj et al., 1990; J. V. Trontelj & Stålberg, 1992; Z'graggen & Bostock, 2009). Η εξάρτηση αυτή είναι γνωστή ως λειτουργία ανάκτησης της ταχύτητας (velocity recovery function; VRF) (Griffin, et al., 2002; Hanson, 1974; Morimoto & Masuda, 1984). Ωστόσο, οι Kamavuako και Farina διαπίστωσαν ότι εάν αυτά τα διαστήματα είναι πολύ μικρά ($<20\text{ms}$), τότε υπάρχει σημαντική μείωση της TA, λόγω της μη σταθεροποίησης της μεμβράνης από την προηγούμενη ενεργοποίηση (Kamavuako & Farina, 2010). Παράλληλα, μείωση στην TA διαπιστώνεται όταν τα διαστήματα μεταξύ των ενεργοποιήσεων ξεπερνούν τα 100ms (Kamavuako & Farina, 2010). Σε ενίσχυση αυτών των συμπερασμάτων, έχει διαπιστωθεί ότι ο αριθμός, ο ρυθμός πυροδότησης, η ταχύτητα μετάδοσης των ώσεων των κινητικών μονάδων, καθώς

και ο ρυθμός μεταβολής τους, σχετίζονται υψηλά (r μεταξύ 0,650 έως 0,980) με την ΤΑ και την μεταβολή της καθώς αυξάνεται η εξωτερική επιβάρυνση, με τις μέγιστες τιμές να παρατηρούνται κοντά στο 100% της μέγιστης ισομετρικής (Eberstein & Beattie, 1985; Hedayatpour et al., 2007; T. Masuda & De Luca, 1991), ενώ παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και κατά την διάρκεια της μέγιστης δυναμικής προσπάθειας (Eberstein & Beattie, 1985; Klaver-Król, et al., 2007; Klaver-Król, et al., 2010), ακόμα και κατά την ποδηλάτηση έναντι προοδευτικά αυξανόμενης αντίστασης (Yaar, et al., 1984).

Περιορισμένος αριθμός ερευνών έχει ασχοληθεί με την σχέση της ΤΑ με την σωματική και αθλητική απόδοση. Φαίνεται ότι το μέγεθος της ΤΑ σχετίζεται με τη μέγιστη δύναμη (Arendt-Nielsen, et al., 1989; Houtman, et al., 2003; Kilen, et al., 2012; Li & Sakamoto, 1996; Mase, et al., 2006; T. Masuda, et al., 1996; Morimoto & Masuda, 1984; Sadoyama & Masuda, 1987; Stålberg, 1966; Van der Hoeven & Lange, 1994), τη μέγιστη ροπή (T. Masuda, et al., 2001), τη μέγιστη ισομετρική δύναμη (Broman, et al., 1985b) και τη μέγιστη ισχύ κατά την ποδηλάτηση, είτε έναντι προοδευτικά αυξανόμενης αντίστασης (T. A. McBride, et al., 2000), είτε κατά την δοκιμασία Wingate (Stewart, et al., 2011). Ωστόσο, υπάρχουν και αναφορές για την απουσία σχέσης μεταξύ της μέσης ΤΑ και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης του δικέφαλου βραχιόνιου σε δρομείς ταχύτητας και αντοχής (Klaver-Król, et al., 2010). Αυτή η αναφορά, όμως, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με προσοχή, διότι ο εξεταζόμενος μυς δεν είναι από τους σημαντικότερους στόχους της προπονητικής διαδικασίας αυτών των αθλητών. Παράλληλα, έχει αναφερθεί αρνητική σχέση μεταξύ της ΤΑ και του χρόνου επίτευξης της μέγιστης δύναμης (T. Masuda, et al., 2001; T. Masuda, et al., 1996; Hidetsugu Nishizono et al., 1990), καθώς και μεταξύ του λόγου F/S και της μέγιστης δύναμης σε άτομα με μυασθένειες (Van der Hoeven, 1995a, 1995d). Τέλος, οι Pozzo και συν. αναφέρουν την ύπαρξη υψηλής συσχέτισης μεταξύ της μεταβολής της ΤΑ σε διάφορα χρονικά σημεία μιας εκκριτικής δραστηριότητας και της παραγόμενης δύναμης στα εκάστοτε χρονικά σημεία (Pozzo, et al., 2004).

Οι περισσότερες από τις παραπάνω έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε ασθενείς με μυασθένειες ή σε κινήσεις και μύες που δεν έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο σε σημαντικές καθημερινές δραστηριότητες ή αθλητικές κινήσεις. Παράλληλα, στην πλειονότητα των παραπάνω ερευνών η αξιολόγηση της ΤΑ έγινε κατά την διάρκεια της προσπάθειας, με αποτέλεσμα η ΤΑ να αυξάνεται σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας (Arendt-Nielsen, et al., 1992; Arendt-Nielsen, et al., 1989; Hanayama, 1994; Houtman, et al., 2003; Kilen, et al., 2012; Klaver-Król, et al., 2007). Λόγω της αξιολόγησης της ΤΑ κατά την διάρκεια της άσκησης σε αυτές τις έρευνες, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση μέσω ηλεκτρομυογραφίας επιφανείας, η οποία αν και είναι πολύ χρήσιμη και εύκολη, δεν μπορεί να παραγάγει μια λεπτομερή αξιολόγηση όλων των παραμέτρων της ΤΑ (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham, et al., 2011; Daube & Rubin, 2009a; Gray, et al., 2006; T. Masuda & De Luca, 1991; T. Masuda, et al., 2001; Mitrovic, et al., 1999; Nandedkar & Stålberg, 1983a; Oetliker & Schümperli, 1982; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Troni, et al., 1991; J. V. Trontelj, 1993; Van der Hoeven, 1995a; Yaar & Niles, 1992).

Τέλος, από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία διαπιστώνεται σημαντικό κενό όσον αφορά την συμβολή ή τις σχέσεις της ΤΑ με την παραγωγή μυϊκής ισχύος και ο ΡΕΔ. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι να παραμένει αδιευκρίνιστη η συμβολή της ΤΑ, είτε κατά την ηρεμία είτε κατά την διάρκεια της δραστηριότητας, στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος και στο ΡΕΔ, κυρίως σε μύες ή αθλητικές δοκιμασίες που χρησιμοποιούνται συχνά στην καθημερινότητα ή τον αθλητισμό, καθώς και το εάν οι πιθανές αυτές σχέσεις μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος της συστηματικής προπόνησης.

2.7. Επίδραση της συστηματικής προπόνησης και του είδους της

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι η συστηματική άσκηση-προπόνηση, αλλά και το είδος της προκαλούν συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρικό και μυϊκό σύστημα (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen, et al., 2005; Cormie, et al., 2010; Duchateau, et al., 2006; Gibson, et al., 2001; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2001; A. Holtermann, et al., 2007; Sale, 1988; Semmler, 2002; Tillin & Folland, 2014). Συγκεκριμένα, οι κυριότερες νευρικές προσαρμογές που λαμβάνουν χώρα μέσα από την συστηματική προπόνηση είναι η αύξηση του αριθμού των επιστρατευμένων κινητικών μονάδων, ο συγχρονισμός των κινητικών μονάδων, η αύξηση της έντασης, της συχνότητας και του ρυθμού πυροδότησης των νευρικών ώσεων και ο ενδο- και μέσο-μυϊκός συντονισμός (Aagaard, 2003; Bandy & Hanten, 1993; Duchateau, et al., 2006; Enoka, 2008; Gruber & Gollhofer, 2004; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; Judge et al., 2003; Kyrolainen et al., 2005; Sale, 1988; Semmler, 2002). Ωστόσο, το μέγεθος της ποσοστιαίας αύξησης αυτών των παραγόντων φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από το είδος της συστηματικής προπόνησης, με την προπόνηση ισχύος να προκαλεί τις σημαντικότερες βελτιώσεις και να ακολουθείται από την προπόνηση δύναμης, υπερτροφίας και τελευταία την αερόβια (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; Cormie, et al., 2010, 2011a, 2011b; Duchateau, et al., 2006; Andreas Holtermann et al., 2007; Kyrolainen, et al., 2005; Sale, 1988; Schoenfeld et al., 2014; Tillin & Folland, 2014).

Το είδος όμως της συστηματικής προπόνησης επηρεάζει σημαντικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μυών. Συγκεκριμένα, όσον αφορά την κατανομή των μυϊκών ινών, η οποία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι ο βασικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ΤΑ, είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι ανάλογα με το είδος της συστηματικής προπόνησης διαφοροποιείται το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Ια και Ιχ, ενώ υπάρχει επιλεκτική υπερτροφία ή/και μεταβολικές προσαρμογές στις μυϊκές ίνες των ανθρώπων (Adams et al., 1993; Ahtiainen et al., 2003; J. L. Andersen & Aagaard, 2000; Bosquet et al., 2013; Cadefau et al., 1990; Campos et al., 2002; Cormie, et al., 2011b; Costill et al., 1979; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 1998; Kyrolainen, et al., 2005; Pazin et al., 2011).

Οι περισσότερες έρευνες που εξέτασαν την μεταβολή των μυϊκών ινών μέσα από την συστηματική προπόνηση ακολούθησαν είτε πρωτόκολλα προπόνησης δύναμης είτε υπερτροφίας. Είναι πλέον γνωστό ότι το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Ια αυξάνεται (από 8% έως 14%), ενώ εκείνο των ινών τύπου Ιχ μειώνεται (από 7% έως 10%) μέσα από την προπόνηση δύναμης και υπερτροφίας, διάρκειας 4 έως και 19 εβδομάδων (Aagaard et al., 2001; Adams, et al., 1993; J. L. Andersen

& Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Haddad & Adams, 2002; Harridge, 1996; Harridge et al., 1996; Terzis, Stratakos, et al., 2008; Vissing et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Αντίθετα, μέσα από την συστηματική προπόνηση ισχύος, δηλαδή την προπόνηση που περιλαμβάνει είτε μικρά φορτία της τάξεως του 30%-60% της μέγιστης δύναμης, είτε πλειομετρικές ασκήσεις, είτε συνδυασμό τους, φαίνεται ότι τα ποσοστά των μυϊκών ινών τύπου ΙΙα και ΙΙχ παραμένουν αμετάβλητα, όταν η διάρκεια της προπόνησης κυμαίνεται από 6 έως 15 εβδομάδες (Kyrolainen, et al., 2005; Winchester et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Τέλος, μέσα από την αερόβια συστηματική προπόνηση διαπιστώνεται και πάλι μείωση του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ και αύξηση των ΙΙα (Gavin et al., 2007; Green et al., 2012; Ingjer, 1979; Leblanc et al., 2004; Putman et al., 2004; Volvaard et al., 2009).

Εκτός από το ποσοστό των μυϊκών ινών, μέσα από το είδος της συστηματικής προπόνησης διαφοροποιείται και το μέγεθος των μυϊκών ινών. Μέσα από την συστηματική προπόνηση δύναμης, ισχύος και υπερτροφίας αυξάνεται το μέγεθος των μυϊκών ινών τύπου ΙΙα και ΙΙχ σε σημαντικό βαθμό, ενώ μικρότερη αύξηση του μεγέθους παρατηρείται στις τύπου Ι (Aagaard, et al., 2001; Adams, et al., 1993; Ahtiainen, et al., 2003; J. L. Andersen & Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen, et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Baar & Esser, 1999; Chilibeck et al., 1998; Erskine et al., 2014; Green, Goreham, et al., 1999; Haddad & Adams, 2002; K. Hakkinen, Aien, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; Harridge, 1996; Harridge, et al., 1996; Higbie et al., 1996; Holm et al., 2008; Lamas et al., 2010; D. L. Mayhew et al., 2009; Putman, et al., 2004; Rahbek et al., 2014; Seynnes et al., 2007; Staron et al., 1991; Terzis, Georgiadis, et al., 2008; Terzis, Spengos, et al., 2008; Terzis, Stratakos, et al., 2008; Vissing, et al., 2008; Volek et al., 1999; West et al., 2010; Widrick, et al., 2002; Zaras, et al., 2013). Αντίθετα, μέσα από την συστηματική αερόβια προπόνηση διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια πολύ μικρή αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών τύπου Ι και σχεδόν καμία αλλαγή στο μέγεθος των μυϊκών ινών τύπου ΙΙα και ΙΙχ (Baumann et al., 1987; Di Donato, 2012; Donges et al., 2012; Ferketich et al., 1998; Gavin, et al., 2007; Gibala & McGee, 2008; K. Hakkinen, et al., 2003; Harber, Crane, et al., 2009; Harber, Konopka, et al., 2009; Joyner, 1991; P. V. Komi & Karlsson, 1978; Kraemer et al., 1995; Mero et al., 1991; Putman, et al., 2004; Reed et al., 2013; Scribbans et al., 2014; A. Tesch, 2014; Wilson, Loenneke, et al., 2012).

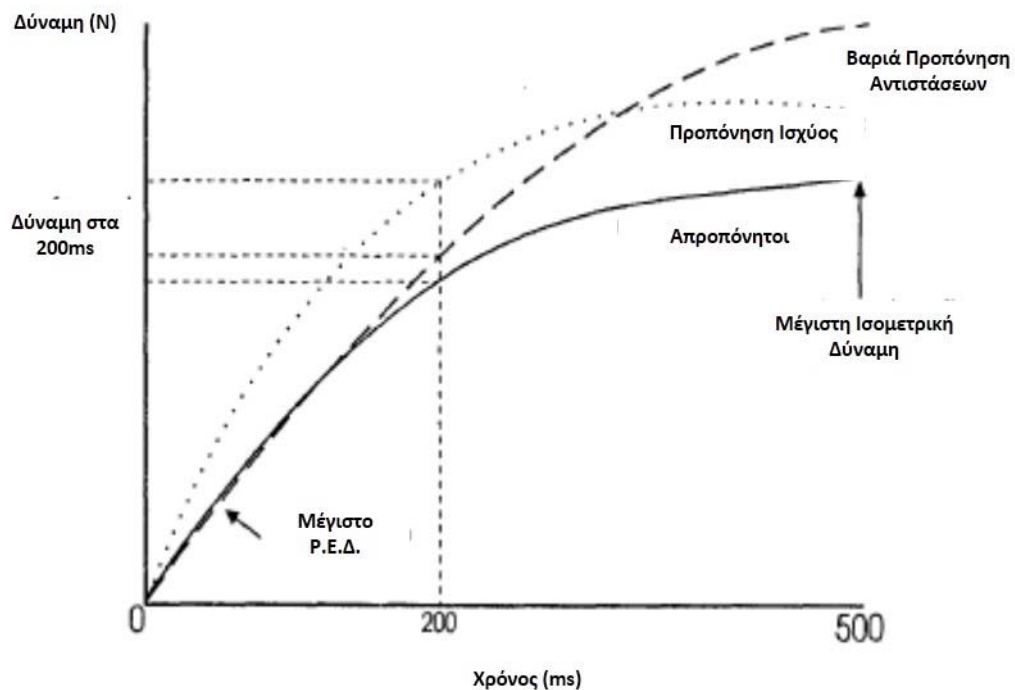
Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι λόγω των συγκεκριμένων προσαρμογών του κάθε είδους της συστηματικής προπόνησης στην κατανομή και το μέγεθος των μυϊκών ινών, επηρεάζεται σημαντικά και το %CSA που θα καταλαμβάνουν. Συγκεκριμένα, 14 εβδομάδες συστηματικής προπόνησης δύναμης προκαλούν σημαντική αύξηση του %CSA των ινών τύπου ΙΙα και μείωση του %CSA των ΙΙχ (Terzis, Stratakos, et al., 2008). Παρόμοια αποτελέσματα διαπιστώνονται και κατά την πραγματοποίηση 6 εβδομάδων προπόνησης δύναμης (Zaras, et al., 2013). Αντίθετα, 6 εβδομάδες προπόνησης ισχύος έχουν ως αποτέλεσμα την διατήρηση των ποσοστών των μυϊκών ινών τύπου ΙΙα και ΙΙχ, με την παράλληλη αύξηση της

εγκάρσιας επιφάνειας και του %CSA τους (Zaras, et al., 2013). Τέλος, η αερόβια προπόνηση, μικρής προς μεσαίας έντασης και μεγάλης διάρκειας, προκαλεί μια μικρή αύξηση του %CSA των ινών τύπου I (Gavin, et al., 2007; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979; Leblanc, et al., 2004; Putman, et al., 2004; Volvaard, et al., 2009).

Οι προπονητικές προσαρμογές χαρακτηρίζονται από τις αρχές της «Συγκεκριμενοποίησης» και της «Αλληλεπίδρασης των προπονητικών ερεθισμάτων» (Bompa & Haff, 2009; Cardinale et al., 2011; Dick, 2002; Hoffman, 2012). Με βάση αυτές τις δύο προπονητικές αρχές, κάθε είδος συστηματικής προπόνησης θα προκαλέσει μόνο συγκεκριμένες προσαρμογές, οι οποίες όμως θα μετριάζονται όταν συνδυάζονται τα διάφορα είδη, διότι το κάθε είδος ρυθμίζει διαφορετικά τα επιμέρους τμήματα της μυϊκής πρωτεϊνοσύνθεσης (Berent et al., 2011; Coffey et al., 2009; Dolezal & Potteiger, 1998; Dongs, et al., 2012; Ferketich, et al., 1998; Gehlert et al., 2012; Hawley, 2009; Knuttgen, 2007; Kraemer, et al., 1995; Mandic et al., 2012; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Schumann, Walker, et al., 2014; Tipton et al., 1996; Wilkinson et al., 2008). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι ο συνδυασμός προπόνησης δύναμης και αερόβιας άσκησης προκαλεί μειωμένες αυξήσεις στην μέγιστη δύναμη και στο ΡΕΔ, ενώ ο συνδυασμός προπόνησης υπερτροφίας και αερόβιας προκαλεί την μετρίαση της μυϊκής υπερτροφίας, σε σχέση με το εάν θα πραγματοποιούνταν μόνο προπόνηση δύναμης ή υπερτροφίας (Dolezal & Potteiger, 1998; Dongs, et al., 2012; Fyfe et al., 2014; K. Hakkinen, et al., 2003; Hawley, 2009; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Verney et al., 2008). Παράλληλα, ακόμα και η χρονική στιγμή στην οποία το κάθε ερέθισμα θα τοποθετηθεί σε κάθε προπονητική μονάδα φαίνεται πως συμβάλλει στο μέγεθος της μετρίασης των προπονητικών προσαρμογών κατά τον συνδυασμό της προπόνησης δύναμης ή ισχύος ή υπερτροφίας με την αερόβια άσκηση (Baechle & Earle, 2008; Cardinale, et al., 2011; Dick, 2002; Kang & Ratamess, 2014; Ogasawara et al., 2013; Schumann, Kūismaa, et al., 2014; Taipale et al., 2014). Ωστόσο, μέχρι τώρα δεν έχει εξεταστεί ποτέ το πώς επηρεάζει ο συνδυασμός της προπόνησης αντιστάσεων για ισχύ και αερόβιας άσκησης την κατανομή και το μέγεθος των μυϊκών ινών. Παράλληλα, ποτέ δεν έχει εξεταστεί το πώς επηρεάζονται οι προπονητικές προσαρμογές της προπόνησης ισχύος στην κατανομή των μυϊκών ινών και στην παραγωγή μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι παραμένουν αναπάντητα καίρια ερωτήματα της αθλητικής επιστήμης, διότι ο συνδυασμός της προπόνησης αντιστάσεων, για βελτίωση της μυϊκής δύναμης και της ισχύος, και της αερόβιας άσκησης πραγματοποιείται συχνά, τόσο από αθλητές ισχύος όσο και από απλούς ασκούμενους.

Οι συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρομυϊκό σύστημα από το κάθε είδος της συστηματικής άσκησης αντικατοπτρίζονται χαρακτηριστικά και στην διαφοροποίηση του ΡΕΔ και της μέγιστης δύναμης. Όπως είναι αναμενόμενο, μέσα από την προπόνηση αντιστάσεων υπάρχουν σημαντικές προσαρμογές σε αυτούς τους δύο παράγοντες (Aagaard, et al., 2002a; K. Hakkinen, et al., 1988), γεγονός που δεν παρατηρείται κατά την πραγματοποίηση αερόβιας προπόνησης (Dolezal & Potteiger, 1998; Hawley, 2009; Nader, 2006; Putman, et al., 2004), ενώ ο συνδυασμός αερόβιας και άσκησης αντιστάσεων προκαλεί μια μετρίαση των προσαρμογών της άσκησης αντιστάσεων (K. Hakkinen, et al., 2003; Schumann,

Küüsmaa, et al., 2014). Ωστόσο, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 2.9, τα άτομα που πραγματοποιούν συστηματική προπόνηση δύναμης αυξάνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την μέγιστη δύναμή τους. Αντίθετα, η προπόνηση ισχύος δεν αυξάνει την μέγιστη δύναμη σε πολύ υψηλό βαθμό, αλλά βελτιώνει σε μεγαλύτερο βαθμό ο ΡΕΔ, ιδιαίτερα στα κρίσιμα χρονικά διαστήματα μέχρι τα 250ms, σε σχέση με την προπόνηση δύναμης, κάνοντας πιο ταχυδυναμικούς τους ασκούμενους-αθλητές (Newton & Kraemer, 1994). Μάλιστα, η διαφοροποίηση αυτή αποδίδεται στις πολύ ειδικές και σημαντικές νευρικές προσαρμογές που προκαλεί η προπόνηση ισχύος, αφού συμβαδίζουν στενά με την βελτίωση του ΡΕΔ και οι οποίες δεν φαίνεται να είναι του ίδιου βαθμού μέσα από την προπόνηση δύναμης (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen et al., 2010; P. Andersen & Henriksson, 1977; Newton & Kraemer, 1994).



Σχήμα 2.16. Γραφική απεικόνιση της διαφοροποίησης του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της μέγιστης δύναμης μεταξύ ασκούμενων που πραγματοποιούν προπόνηση ισχύος και δύναμης (Newton & Kraemer, 1994).

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η συστηματική προπόνηση, αλλά και το είδος της έχουν σημαντικό ρόλο στις ειδικές προσαρμογές που παρουσιάζονται στο νευρομυϊκό σύστημα. Ωστόσο, αν και υπάρχουν αρκετές έρευνες οι οποίες εξετάζαν τις προσαρμογές των διαφόρων ειδών της συστηματικής προπόνησης πάνω στο νευρομυϊκό σύστημα και το πώς αυτές αντικατοπτρίζονται μέσα από την μεταβολή της μέγιστης δύναμης, ισχύος και του ΡΕΔ, η μέχρι τώρα βιβλιογραφία παρουσιάζει σημαντικά κενά και ελλείψεις σχετικά με τις πιθανές μεταβολές της ΤΑ και τους μηχανισμούς που συντελούν σε αυτές, μέσα από την συστηματική προπόνηση.

Μέσα από έναν σημαντικά περιορισμένο αριθμό ερευνών διαπιστώθηκε ότι οι δρομείς ταχύτητας έχουν υψηλότερες τιμές της ΤΑ κατά την ηρεμία και έναντι

εξωτερικής αντίστασης, σε σχέση με τους δρομείς αντοχής, πιθανότατα λόγω διαφοροποίησης, σύμφωνα με εικασίες των συγγραφέων, στη κατανομή των μυϊκών ινών και στις προπονητικές προσαρμογές στο νευρικό σύστημα των ατόμων αυτών, αν και τίποτα από αυτά δεν διερευνήθηκε από τους συγγραφείς (Klaver-Król, et al., 2010). Παράλληλα, οι συγγραφείς αυτοί δεν κατάφεραν να ανιχνεύσουν σχέση μεταξύ της έντασης της προπόνησης που εκτελούσαν δρομείς αντοχής και ταχύτητας με την ΤΑ, είτε κατά την ηρεμία είτε έναντι εξωτερικής αντίστασης. Ωστόσο, σε αυτή την έρευνα η ένταση της προπόνησης και γενικά όλα τα χαρακτηριστικά της συλλέχθηκαν μέσα από ερωτηματολόγιο (Klaver-Król, et al., 2010).

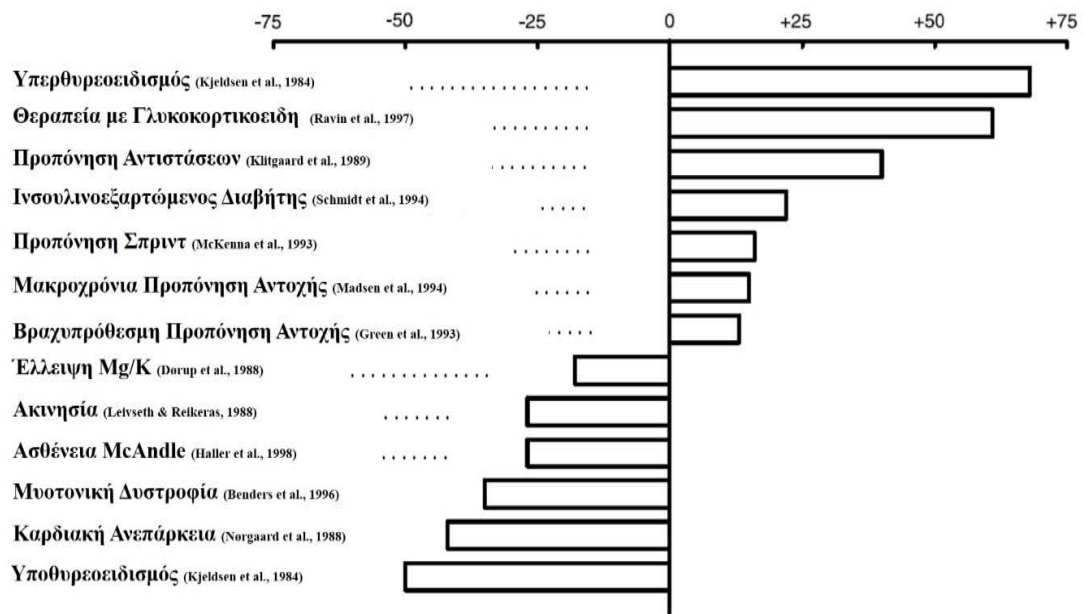
Σε μεταγενέστερη έρευνα διαπιστώθηκε ότι το είδος της συστηματικής αερόβιας άσκησης προκαλεί διαφοροποιήσεις στην ΤΑ, με τους δρομείς αντοχής να έχουν υψηλότερες τιμές (τόσο κατά την ηρεμία όσο και την αυξανόμενης έντασης άσκηση) σε σχέση με τους κολυμβητές (Kilen, et al., 2012). Τα αποτελέσματα και των 2 ερευνών όμως διαπιστώθηκαν στον δικέφαλο βραχιόνιο μυ, ο οποίος δεν είναι από τους πρωταγωνιστές σε αυτούς τους αθλητές, με αποτέλεσμα να μην αποτελούν σημαντικό στόχο βελτίωσης κατά την προπονητική τους διαδικασία. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι δημιουργούνται ερωτηματικά σχετικά με την πιθανή ή όχι διαφοροποίηση των παραπάνω μεταξύ αθλητών που πραγματοποιούν διαφορετικά είδη προπόνησης (π.χ. προπόνηση για μαραθώνιο, δύναμης, ισχύος), καθώς και το γιατί, εάν εξεταστεί ένας πρωταγωνιστής μυς σε αυτά τα αθλήματα, όπως ο τετρακέφαλος.

Μόνο 2 έρευνες μέχρι τώρα έχουν εξετάσει την επίδραση κάποιων πρωτοκόλλων συστηματικής προπόνησης στην ΤΑ. Φαίνεται ότι 6 εβδομάδες προπόνησης είτε με σύγκεντρη είτε με έκκεντρη άσκηση αυξάνουν σημαντικά την ΤΑ (κατά την ηρεμία και κατά την άσκηση), χωρίς όμως να υπάρχει διαφορά μεταξύ των 2 ειδών προπόνησης, σε αντίθεση με τους παράγοντες επίδοσης όπου διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις (Cadore et al., 2014). Παράλληλα, πρόσφατη έρευνα παρουσίασε ότι 6 εβδομάδες αερόβιας άσκησης μέτριας έντασης προκάλεσαν αύξηση της ΤΑ (Hassanlouei, et al., 2014).

Πιθανοί μηχανισμοί που συνάγουν στην αύξηση της ΤΑ μέσα από την συστηματική προπόνηση, ίσως είναι η αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών (Baumann, et al., 1987; Di Donato, 2012; Donges, et al., 2012; Ferketich, et al., 1998; Gavin, et al., 2007; Gibala & McGee, 2008; K. Hakkinen, et al., 2003; Harber, Crane, et al., 2009; Harber, Konopka, et al., 2009; Joyner, 1991; P. V. Komi & Karlsson, 1978; Kraemer, et al., 1995; Mero, et al., 1991; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Scribbans, et al., 2014; A. Tesch, 2014; Wilson, Loenneke, et al., 2012), καθώς και η αύξηση του αριθμού και της πυκνότητας των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$ (Aughey et al., 2007a, 2007b; Bangsbo et al., 2009; Clausen, 1986, 2003a, 2003b; Dela et al., 2004; Green et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen et al., 1994; Klitgaard & Clausen, 1989; Madsen et al., 1994; McCutcheon et al., 1999; McKenna et al., 2003; McKenna et al., 1993; Medbø et al., 2001; Murphy et al., 2007), σε αντίθεση με το τι συμβαίνει σε καταστάσεις έλλειψης φυσικής δραστηριότητας ή/και ακινησίας (Clausen, 1986, 2003b; Ditor et al., 2004; Jebens et al., 1995; Leivseth & Reikerås, 1994), ασθενειών ή/και παθήσεων (Benders et al., 1996; Clausen, 1986, 2003b; Dørup et al., 1988; Haller

et al., 1998; Kjeldsen et al., 1984; Nørgaard et al., 1988; Ravn & Dørup, 1997; Schmidt et al., 1994) και σε μυοσκελετικά προβλήματα (Ditor, et al., 2004; Perry et al., 2013), όπου ο αριθμός τους τις περισσότερες φορές μειώνεται.

Παράλληλα, φαίνεται ότι, όχι μόνο η άσκηση αυξάνει τον αριθμό και την πυκνότητα των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$, αλλά η αύξηση αυτή έχει να κάνει και με το είδος της συστηματικής προπόνησης, με την άσκηση αντιστάσεων/αναερόβια άσκηση να αυξάνει σε μεγαλύτερο βαθμό τον αριθμό και την πυκνότητα τους (Aughey, et al., 2007b; Dela, et al., 2004; Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1984; Kjeldsen, et al., 1994; Klitgaard & Clausen, 1989; McKenna, et al., 2003; McKenna, et al., 1993; Medbø, et al., 2001), σε σχέση με την αερόβια (Aughey, et al., 2007a; Bangsbo, et al., 2009; Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1994; Madsen, et al., 1994; McCutcheon, et al., 1999; Murphy, et al., 2007; Rankinen et al., 2000), αν και οι περισσότερες από αυτές τις έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε πειραματόζωα. Μέσα από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία, πάνω στο θέμα της ρύθμισης του αριθμού και της πυκνότητας των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$, διαπιστώθηκε ότι στον ανθρώπινο μυϊκό ιστό του έξω πλατύ μηριαίου μυός, η αναερόβια άσκηση προκαλεί μια αύξηση που κυμαίνεται από 25 έως 40% (Klitgaard & Clausen, 1989; McKenna, et al., 1993), ενώ η αερόβια μεταξύ 10-20% (Klitgaard & Clausen, 1989; Madsen, et al., 1994) σε σχέση με τα αρχικά επίπεδα. Ωστόσο, το θέμα αυτό χρίζει περισσότερης έρευνας. Παράλληλα, η αύξηση των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$ μέσα από την συστηματική προπόνηση καθώς και από το είδος της, φαίνεται ότι έχει και μια επιλεκτική διαφοροποίηση της αύξησης των ισομορφών της β-υποομάδας, με την αερόβια άσκηση να προκαλεί αύξηση της β1 ισομορφής, ενώ η άσκηση αντιστάσεων της β2 (Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Wyckelsma et al., 2015). Ωστόσο, αυτοί οι πιθανοί μηχανισμοί δεν έχουν τεκμηριωθεί επαρκώς.



Σχήμα 2.17. Η μεταβολή του αριθμού των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$ μέσα από διάφορες φυσιολογικές και παθολογικές καταστάσεις (Clausen, 2003).

Από την ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με το θέμα δεν είναι δυνατόν να απαντηθούν σημαντικά ερωτήματα σχετικά με το πώς μεταβάλλεται η ΤΑ μέσα από την προπόνηση και ειδικότερα μέσα από την προπόνηση ισχύος, που προκαλεί πολύ σημαντικές και συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρομυϊκό σύστημα (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2010; P. Andersen & Henriksson, 1977; Newton & Kraemer, 1994). Παράλληλα, σε καμία από τις παραπάνω έρευνες δεν διερευνήθηκε ο μηχανισμός που προκάλεσε αυτές τις διαφοροποιήσεις στην ΤΑ, καθώς και σε καμία δεν ελέγχθηκε εάν αυτές οι τροποποιήσεις συμβαδίζουν με τις ανάλογες στην κατανομή των μυϊκών ινών ή/και στην μέγιστη δύναμη, ισχύ και στο ΡΕΔ. Τέλος, καμία έρευνα μέχρι τώρα δεν συνέκρινε τις τυχόν προσαρμογές της ΤΑ μεταξύ των διαφόρων ειδών προπόνησης. Αποτέλεσμα, λοιπόν, της περιορισμένης βιβλιογραφίας πάνω στο θέμα αυτό είναι να παραμένει αναπάντητο το ερώτημα, εάν οι τεκμηριωμένες μέχρι σήμερα προσαρμογές του κάθε είδους προπόνησης στο μυϊκό σύστημα προκαλούν τροποποίηση στην ΤΑ, καθώς και αν τόσο οι μεταβολές ή/και τροποποιήσεις του μυϊκού συστήματος όσο και οι πιθανές της ΤΑ συμβαδίζουν. Ένα ακόμα ερώτημα το οποίο δεν έχει διερευνηθεί καθόλου από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία είναι εάν η διαφοροποίηση του ΡΕΔ συμβαδίζει με την πιθανή διαφοροποίηση της ΤΑ σε άτομα που πραγματοποιούν είτε αερόβια, είτε δύναμης είτε ισχύος προπόνηση. Τέλος, αδιερεύνητο παραμένει το εάν, το πόσο και το γιατί μεταβάλλεται η ΤΑ μέσα από την σύντομη προπόνηση ισχύος, καθώς και εάν αυτή η πιθανή τροποποίησή της επηρεάζεται αν πραγματοποιηθεί παράλληλα με την προπόνηση ισχύος και αερόβια προπόνηση μέτριας έντασης και μεγάλης διάρκειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την ανεύρεση των δοκιμαζομένων των 3 ερευνών, έγινε δημοσίευση της έναρξης κάθε έρευνας, μέσω προφορικής ανακοίνωσης, στη Σχολή Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, αλλά ειδικότερα η έναρξη της 2^{ης} έρευνας ανακοινώθηκε και σε αθλητικούς συλλόγους κλασικού αθλητισμού της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Στις ανακοινώσεις αυτές αναφέρονταν οι τίτλοι των εργασιών, οι σκοποί και οι στόχοι, τα οφέλη από την συμμετοχή και τα κριτήρια που θα έπρεπε να πληρούνται ανά έρευνα. Όσοι ανταποκρίθηκαν στις ανακοινώσεις αυτές ενημερώθηκαν τηλεφωνικά, ενώ ορίστηκε κατ' ιδίαν συνάντηση για λεπτομερέστερη συνέντευξη. Αναλυτικά, σε αυτές τις συνεντεύξεις έγινε προφορική και γραπτή ενημέρωση για τη διαδικασία που θα ακολουθούνταν σε κάθε έρευνα, καθώς και για τα τυχόν προβλήματα που μπορεί να προέκυπταν κατά τη συμμετοχή τους. Έπειτα, υπέγραφαν το έντυπο συγκατάθεσης που ανέφερε ότι έλαβαν πληροφορίες σχετικά με το σκοπό της έρευνας και όλες τις διαδικασίες που θα πραγματοποιούνταν. Επίσης, ενημερώνονταν ότι είχαν την ελευθερία να αποχωρήσουν από την έρευνα, όποτε το επιθυμούσαν. Μετά από τη συμπλήρωση και την υπογραφή του εντύπου αυτού, οι δοκιμαζόμενοι εξετάζονταν από εξειδικευμένο γιατρό για την τεκμηρίωση της απουσίας παθολογικών και μυοσκελετικών προβλημάτων και αξιολογούνταν τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους (μάζα, ανάστημα, δείκτης μάζας σώματος). Σε κάθε έρευνα όλες οι διαδικασίες ήταν σύμφωνες με τη «Διακήρυξη του Ελσίνκι» και την αναθεώρησή της, σχετικά με τις ηθικές αρχές για την έρευνα στην οποία συμμετέχουν άνθρωποι (Salako, 2006).

Έπειτα από τη συμπλήρωση του εντύπου συγκατάθεσης, συλλέγονταν οι απαραίτητες πληροφορίες, σε ατομική καρτέλα. Η ατομική καρτέλα αποτελείτο από 3 μέρη. Το πρώτο μέρος περιλάμβανε τα προσωπικά-δημογραφικά στοιχεία κάθε ατόμου, π.χ. όνομα, ηλικία κτλ. Το δεύτερο μέρος της καρτέλας περιλάμβανε ερωτήσεις που εξέταζαν την φυσική κατάσταση του ατόμου, την κατάσταση της υγείας του, τυχόν φαρμακευτική αγωγή και τέλος αν υπήρχαν προβλήματα στους μύες και στις αρθρώσεις των κάτω άκρων ειδικότερα (ιατρικό ιστορικό). Τέλος, το 3^ο μέρος περιλάμβανε ερωτήσεις που εξέταζαν τυχόν ενασχόληση του δοκιμαζόμενου με κάποιο άθλημα ή το εάν γυμνάζεται συστηματικά. Παράλληλα, στα άτομα τα οποία απαντούσαν θετικά στην προηγούμενη ερώτηση ζητούνταν να αναφέρουν το είδος της φυσικής δραστηριότητας που πραγματοποιούν, το διάστημα ενασχόλησής τους και την συχνότητα, καθώς και να καταγράψουν τον εβδομαδιαίο όγκο προπόνησής τους, μέσα από εβδομαδιαίο αναδρομικό ερωτηματολόγιο.

Τα γενικά κριτήρια για τη συμμετοχή ενός δοκιμαζομένου στις 3 έρευνες που αποτελούν την παρούσα διδακτορική διατριβή ήταν:

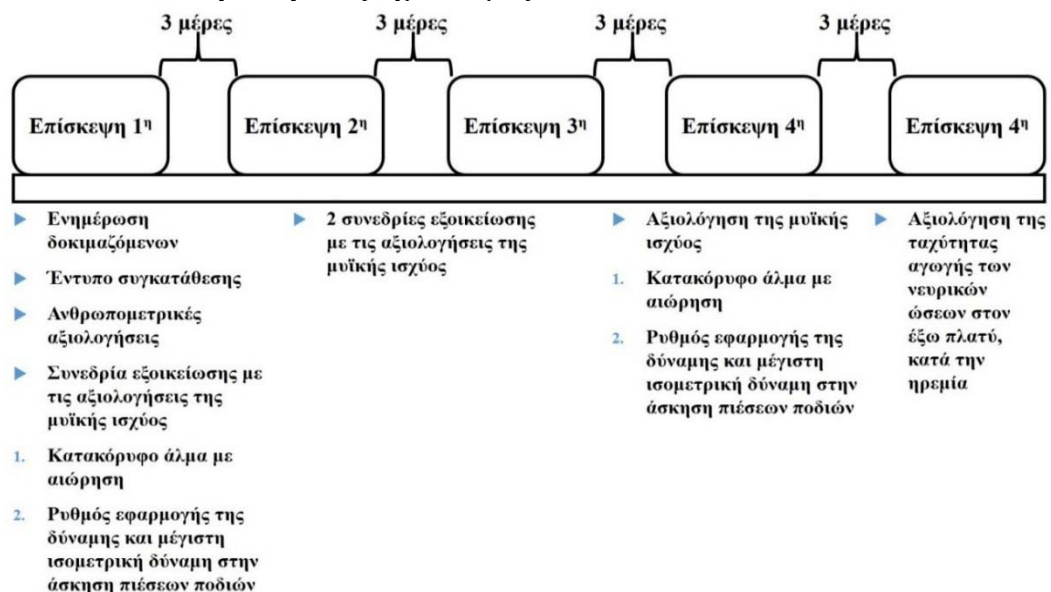
1. Οι δοκιμαζόμενοι δεν πρέπει να πάσχουν από ορθοπεδικές και νευρομυϊκές παθήσεις-ασθένειες.
2. Η αρτηριακή πίεση ηρεμίας των δοκιμαζομένων να μην ξεπερνά 140/100 mmHg.
3. Να μην έχουν ή να μην παρουσιάζουν κάποιο καρδιοαναπνευστικό πρόβλημα.

4. Ο Δείκτης Μάζας Σώματος να είναι μικρότερος του 30.
5. Να μην είναι διαβητικοί.
6. Να μην λαμβάνουν φαρμακευτική αγωγή.
7. Να έχουν μια συνηθισμένη διατροφή.

Για την ανεύρεση του απαραίτητου αριθμού συμμετεχόντων για κάθε έρευνα πραγματοποιήθηκε η Ανάλυση Ισχύος (Power Analysis), μέσω του στατιστικού προγράμματος G*Power έκδοση 3.1 (Frank Faul, Universitat Kiel, Germany). Η ανεύρεση του απαραίτητου αριθμού συμμετεχόντων διαπιστώθηκε με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό κάθε έρευνας, καθώς και τον εκάστοτε δείκτη Μεγέθους Επίδρασης (Effect Size) ή τις μέχρι τώρα αναφορές των συσχετίσεων για παρόμοιες μεταβλητές, όπως πηγάζουν μέσα από την ανασκόπηση των σχετικών ερευνών της βιβλιογραφίας και των πιλοτικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν πριν την έναρξη κάθε έρευνας (Cohen, 1988; Faul, et al., 2007). Με βάση τους πειραματικούς σχεδιασμούς καθώς και τον αριθμό των συμμετεχόντων των 3 ερευνών, μπορεί να υπολογιστεί η πραγματική ισχύς (actual power) των αποτελεσμάτων της κάθε έρευνας (T. W Beck, 2013). Τιμές αυτού του παράγοντα πάνω από 0,800 θεωρούνται υψηλές, αποδίδοντας σημαντικό αντίκτυπο στα αποτελέσματα της έρευνας (T. W Beck, 2013).

3.1. Μεθοδολογία πρώτης εργασίας

3.1.1. Ερευνητικός σχεδιασμός



Σχήμα 3.1. Πειραματικός σχεδιασμός της 1^{ης} έρευνας.

Ο σχεδιασμός της πρώτης έρευνας αποτελούταν από 5 στάδια και κάθε στάδιο από 1 επίσκεψη του κάθε δοκιμαζόμενου στο εργαστήριο. Κατά την πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε η ενημέρωση και η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Έπειτα κάθε δοκιμαζόμενος πραγματοποιούσε και μια συνεδρία εξοικείωσης με τις αξιολογήσεις της μυϊκής ισχύος που περιλαμβάνονταν στην έρευνα, δηλαδή το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση και την αξιολόγηση του ΡΕΔ και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης (ΜΙΔ) των κάτω άκρων στην άσκηση πιέσεων

ποδιών. Ακόμη 2 συνεδρίες (επισκέψεις 2 και 3) εξοικείωσης με τις παραπάνω αξιολογήσεις πραγματοποιήθηκαν. Σε κάθε περίπτωση ανάμεσα στις επισκέψεις 1 έως 3 μεσολαβούσαν 3 μέρες. Τρεις μέρες μετά την 3^η επίσκεψη πραγματοποιήθηκε η συνεδρία των αξιολογήσεων της μυϊκής ισχύος (4^η επίσκεψη). Σε κάθε αξιολόγηση δόθηκαν 3 ευκαιρίες ανά δοκιμαζόμενο, με 3 λεπτά ξεκούρασης ανάμεσά τους και 10 λεπτά ανάμεσα στις 2 αξιολογήσεις. Κατά την 5^η επίσκεψη, η οποία πραγματοποιήθηκε 3 μέρες μετά την 4^η, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση, μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων, της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίου μυός κατά την ηρεμία, με τα άτομα σε ύπτια θέση. Σε κάθε περίπτωση, δόθηκαν ρητές οδηγίες για την αποφυγή οποιασδήποτε έντονης φυσικής δραστηριότητας κατά τη χρονική περίοδο που πραγματοποιούνταν η παρούσα μελέτη.

3.1.2. Περιγραφή δοκιμαζομένων πρώτης έρευνας

Μέσα από τον ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ και της μέγιστης δύναμης, καθώς και από την πραγματοποίηση πιλοτικής έρευνας κατά την οποία εξετάστηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ και της παραγωγής μυϊκής ισχύος, διαπιστώθηκε ότι το επίπεδο των συσχετίσεων κυμαίνεται από 0,650 έως 0,890. Λαμβάνοντας υπόψη την μικρότερη τιμή που διαπιστώθηκε (0,650) και σύμφωνα με την κατάταξη των συσχετίσεων κατά Hopkins, μια τιμή του δείκτη συσχέτισης του Pearson από 0,510 έως 0,700 θεωρείται μεγάλη, υποδεικνύοντας ισχυρή σχέση μεταξύ των 2 μεταβλητών (Hopkins, 2000). Με δεδομένα τα παραπάνω, και τον πειραματικό σχεδιασμό της παρούσας έρευνας, η ανάλυση ισχύος της εν λόγω έρευνας φανέρωσε την ανάγκη συμμετοχής το λιγότερο 15 ατόμων, ώστε η πραγματική ισχύς (actual power) των αποτελεσμάτων της να είναι της τάξεως του 0,958.

Επομένως, στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν 15 γυναίκες, φοιτήτριες της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ηλικία: $21,1 \pm 0,4$ έτη, Σωματικό ανάστημα: $165 \pm 4,5$ cm, Σωματική μάζα: $56,7 \pm 6$ kg, ΔΜΣ: $20,8 \pm 1,7$ kg·m⁻²). Η απόφαση για συμμετοχή γυναικών σε αυτή την εργασία, λήφθηκε με αφορμή του ότι οι αρχάριες γυναίκες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιογένεια στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος σε σχέση με τους άνδρες (Jozsi et al., 1999; Kanehisa et al., 1994; J. L. Mayhew & Salm, 1990; Perez-Gomez, et al., 2008), οι άνδρες και οι γυναίκες έχουν ίδιο σχεδόν λόγο F/S (λεπτομέρειες στον πίνακα 2.2), ενώ υπάρχουν ακόμα λιγότερα δεδομένα πάνω σε αυτόν τον τομέα στις γυναίκες. Για την συμμετοχή στην προκείμενη έρευνα οι υποψήφιες δοκιμαζόμενες έπρεπε να πληρούν και τα παρακάτω κριτήρια:

1. Να μην έχουν πραγματοποιήσει κάποιο είδος συστηματικής προπόνησης για τουλάχιστον 2 χρόνια πριν την συμμετοχή τους στην έρευνα.
2. Να είναι μεταξύ 18 έως 25 ετών.
3. Να μην έχουν περίοδο κατά την διάρκεια των μετρήσεων, για την αποφυγή της διακύμανσης της δύναμης και της μυϊκής ισχύος.

3.1.3. Αξιολόγηση σωματομετρικών χαρακτηριστικών

Η αξιολόγηση των σωματομετρικών χαρακτηριστικών πραγματοποιούνταν κάθε φορά κατά την πρώτη επίσκεψη των δοκιμαζομένων στο εργαστήριο Κλασικού

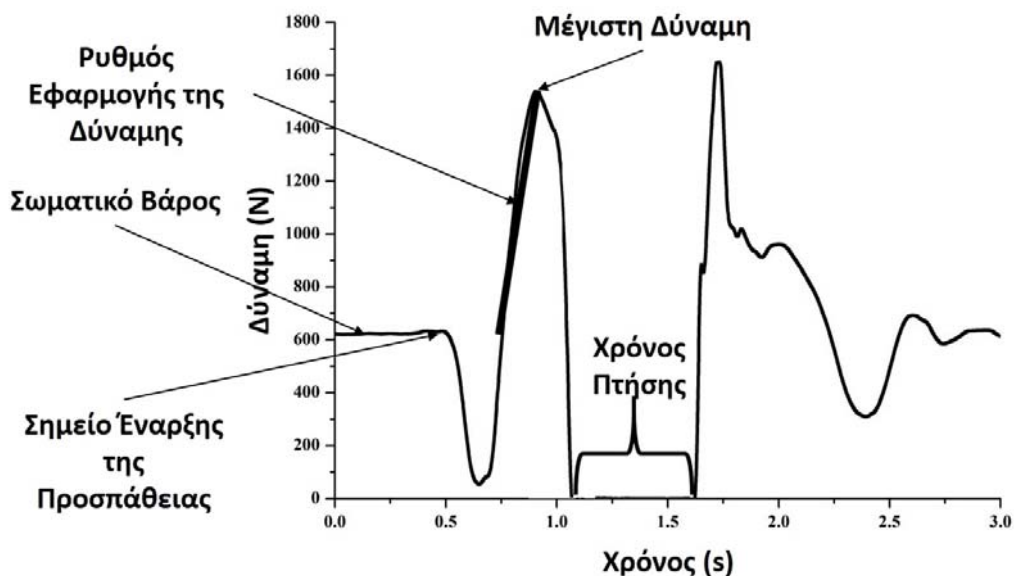
Αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι σωματομετρικές αξιολογήσεις περιλάμβαναν την καταγραφή της σωματικής μάζας και του αναστήματος των δοκιμαζομένων. Για την αξιολόγηση του σωματικού βάρους χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας (Seca 700 Ergogenic Advanced Medical Technology; ICC=1). Για την αξιολόγηση του αναστήματος των δοκιμαζομένων χρησιμοποιήθηκε μετροταινία, με ακρίβεια 1mm, η οποία είχε τοποθετηθεί προηγουμένως σε τοίχο του εργαστηρίου. Οι αξιολογήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν και στις 3 έρευνες.

3.1.4. Αξιολόγηση της ισχύος, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης

Οι αξιολογήσεις της μυϊκής ισχύος και της δύναμης πραγματοποιήθηκαν, σε όλες τις έρευνες, στο εργαστήριο Κλασικού Αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Πριν την έναρξη αυτών των αξιολογήσεων πραγματοποιούνταν μία ήπιας έντασης (40-50% της μέγιστης προβλεπόμενης καρδιακής συχνότητας) προθέρμανση, διάρκειας 10 λεπτών, σε στατικό ποδήλατο. Οι δύο αξιολογήσεις της μυϊκής ισχύος, δηλαδή το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση και η αξιολόγηση του ΡΕΔ και της ΜΙΔ των κάτω άκρων στην άσκηση πιέσεων ποδιών (πρέσα), πραγματοποιήθηκαν την ίδια μέρα σε κάθε έρευνα, με την προαναφερθείσα σειρά. Σε κάθε αξιολόγηση της μυϊκής ισχύος δόθηκαν 3 ευκαιρίες ανά δοκιμαζόμενο, με 3 λεπτά ξεκούρασης ανάμεσά τους και 10 λεπτά ανάμεσα στις 2 αξιολογήσεις.

Αξιολόγηση κατακόρυφου άλματος με αιώρηση (CMJ): Η αξιολόγηση της αλτικής ικανότητας πραγματοποιήθηκε σε δυναμοπλατφόρμα (Applied Measurements Ltd Co. UK, WP800- 1000kg weighting platform, s/n:40245, με μέγεθος 80X80εκ.), με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz και φίλτρα ρυθμισμένα στα 20Hz (Davies et al., 1984; G. D. Harris, 2009; Miller, 2012). Οι δοκιμαζόμενοι στέκονταν έξω από την δυναμοπλατφόρμα, ενώ με το παράγγελλο του ερευνητή τοποθετούνταν πάνω της. Πριν την έναρξη της προσπάθειας, οι δοκιμαζόμενοι τοποθετούσαν τα χέρια τους σε μεσολαβή και εκτελούσαν το επιτόπιο άλμα, όσο πιο ψηλά και γρήγορα μπορούσαν (Bosco, et al., 1982; Bosco & Komi, 1979, 1980; Davies, et al., 1984; G. D. Harris, 2009; Linthorne, 2001; Miller, 2012). Όλοι οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποιούσαν 2 δοκιμαστικές προσπάθειες. 5 λεπτά μετά το τέλος των δοκιμαστικών, κάθε δοκιμαζόμενος πραγματοποιούσε 3 μέγιστες και εκρηκτικές προσπάθειες, με 3 λεπτά ξεκούρασης ανάμεσά τους (Bosco, Komi, et al., 1983; Bosco, Luhtanen, et al., 1983). Όλες οι προσπάθειες καταγράφονταν σε επιτραπέζιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, αφού πρώτα το σήμα από την πλατφόρμα ψηφιοποιούνταν μέσα από αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα (A/D-converter; Kyowa sensor interface PCD-320A, Kyowa Electronic Instruments Ltd Co. Japan). Η ανάλυση των δεδομένων των αλμάτων έγινε μέσω του συνοδευτικού προγράμματος της δυναμοπλατφόρμας DCS-100A έκδοση 1.14 (Kyowa Electronic Instruments Ltd Co. Japan), σύμφωνα με προηγούμενες αναφορές και οδηγίες (Bosco, Luhtanen, et al., 1983; Sayers, et al., 1999). Για τον υπολογισμό του ύψους τους άλματος χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση: $\text{Ύψος (cm)} = (0,5 \cdot \text{Χρόνο Πτήσης} \cdot 9,81)^2 \cdot (2 \cdot 9,81)^{-1}$, για την μέγιστη μυϊκή ισχύ: $\text{Ισχύς (W)} = (\text{Σωματικό Βάρος} +$

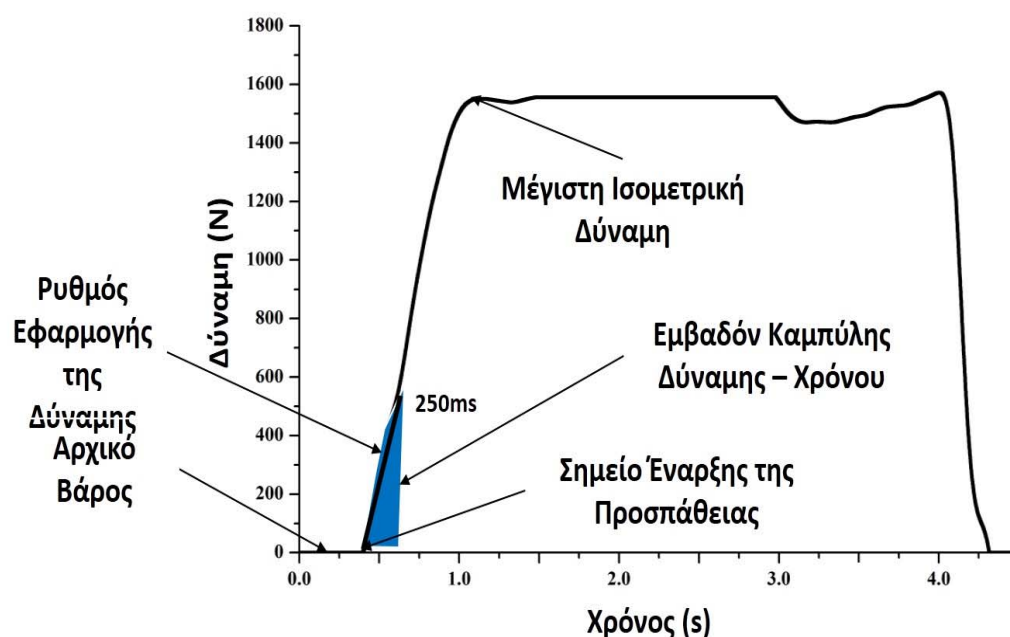
Μέγιστη Δύναμη) $\cdot 9,81 \cdot$ Χρόνο Πτήσης (Linthorne, 2001; Sayers, et al., 1999), ενώ για ο ΡΕΔ κατά το άλμα: $\text{ΡΕΔ (N}\cdot\text{s}^{-1}) = (\text{Μέγιστη Δύναμη} - \text{Σωματικό Βάρος}) \cdot (\text{Χρόνος Μέγιστης Δύναμης} - \text{Χρόνος όπου οι Δυνάμεις έφτασαν ξανά το Σωματικό Βάρος})^{-1}$, η ταχύτητα απογείωσης: $\text{Ταχύτητα (m}\cdot\text{s}^{-1}) = (9,81 \cdot \text{Χρόνος Πτήσης}) \cdot 2^{-1}$ και τέλος το εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση: $\text{Εμβαδόν Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου (Impulse; N}\cdot\text{s)} = \text{Σωματικό Βάρος} \cdot \text{Ταχύτητα απογείωσης}$ (G. D. Harris, 2009). Ο δείκτης αξιοπιστίας για το ύψος του άλματος, την μέγιστη ισχύ και του εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου ελέγχθηκαν σε πρόσφατη δημοσίευση του εργαστηρίου μας και ανερχόταν στο 0,910, 0,878 και 0,899 αντίστοιχα (Zaras et al., In Press). Ο δείκτης αξιοπιστίας για ο ΡΕΔ ελέγχθηκε μέσα από την πραγματοποίηση πιλοτικού με 8 άνδρες και βρέθηκε ότι ήταν της τάξεως του 0,899. Η συγκεκριμένη αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε και στις 3 έρευνες.



Σχήμα 3.2. Διάγραμμα δυνάμεων-χρόνου κατά την πραγματοποίηση του κατακόρυφου άλματος με αιώρηση και τα κρίσιμα σημεία για τον υπολογισμό των παραμέτρων (Bosco, Luhtanen, et al., 1983; Sayers, et al., 1999).

Μέγιστη ισομετρική δύναμη και ρυθμός εφαρμογής της δύναμης: Η δοκιμασία αυτή πραγματοποιήθηκε και στις 3 έρευνες, δέκα λεπτά μετά τα άλματα. Η μέγιστη ισομετρική δύναμη και ο ΡΕΔ αξιολογήθηκαν στην άσκηση πίεσεων ποδιών. Οι δοκιμαζόμενοι τοποθετούνταν σε χειροποίητο κάθισμα και τοποθετούσαν τα πόδια τους πάνω σε δυναμοπλατφόρμα (Applied Measurements Ltd Co. UK, WP800- 1000kg weighting platform, s/n:40245, με μέγεθος 80X80εκ.), με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz και φίλτρα ρυθμισμένα στα 20Hz (Davies, et al., 1984; G. D. Harris, 2009; Miller, 2012). Το κάθισμα έχει την δυνατότητα να μετακινείται, ώστε να τοποθετούνται οι δοκιμαζόμενοι στην κατάλληλη απόσταση και να υπάρχει μια κάμψη γόνατος της τάξεως των 120° και της ποδοκνημικής της τάξεως των 100° (Marcora & Miller, 2000; Zaras, et al., In Press). Στους δοκιμαζομένους δόθηκε η οδηγία να «σπρώξουν» όσο πιο δυνατά και

γρήγορα μπορούν. Πριν την πραγματοποίηση των 3 προσπαθειών που καταγράφονταν, όλοι οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν 2 δοκιμαστικές προσπάθειες. 5 λεπτά μετά το τέλος των δοκιμαστικών, κάθε δοκιμαζόμενος εκτελούσε 3 μέγιστες και εκρηκτικές προσπάθειες, με 3 λεπτά ξεκούρασης ανάμεσά τους. Όλες οι προσπάθειες καταγράφονταν σε επιτραπέζιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, αφού πρώτα το σήμα από την πλατφόρμα ψηφιοποιούνταν μέσα από αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα (A/D-converter; Kyowa sensor interface PCD-320A, Kyowa Electronic Instruments Ltd Co. Japan). Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με βάση την καμπύλη δύναμης-χρόνου, μέσω του συνοδευτικού προγράμματος της δυναμοπλατφόρμας DCS-100A έκδοση 1.14 (Kyowa Electronic Instruments Ltd Co. Japan), σύμφωνα με προηγούμενες αναφορές και οδηγίες (Aagaard, et al., 2002a). Η μέγιστη ισομετρική δύναμη υπολογίστηκε ως η μέγιστη τιμή της καμπύλης δύναμης-χρόνου (Aagaard & Andersen, 1998; Aagaard, et al., 2002a; Zaras, et al., In Press). Ο ΡΕΔ και το εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου (impulse) υπολογίστηκαν για τα χρονικά σημεία από την έναρξη της προσπάθειας (0ms) έως τα 40ms, 60ms, 80ms, 100ms, 120ms, 150ms, 200ms και 250ms, με βάση τις εξισώσεις (1) $PE\Delta = \Delta F \cdot \Delta T^{-1}$, όπου ΔF η διαφορά της δύναμης μεταξύ X χρονικού σημείου και έναρξης της προσπάθειας, ενώ ΔT η διαφορά χρόνου μεταξύ αυτών των δύο σημείων και (2) $Impulse = \Sigma F \cdot \Delta T$, όπου ΣF το άθροισμα των δυνάμεων που ασκήθηκαν από την έναρξη της προσπάθειας μέχρι το X χρονικό σημείο και ΔT η διαφορά χρόνου μεταξύ αυτών των δύο σημείων (Aagaard, et al., 2002a). Η καλύτερη από τις 3 προσπάθειες, έτσι όπως εκτιμήθηκε με βάση ο ΡΕΔ μέχρι τα 120ms, χρησιμοποιήθηκε περαιτέρω για την στατιστική ανάλυση. Ο δείκτης ICC της εν λόγω μέτρησης ελέγχθηκε σε μια ομάδα 8 ατόμων και διαπιστώθηκε ότι ανέρχεται στο 0,940.



Σχήμα 3.3. Διάγραμμα δυνάμεων-χρόνου μέγιστης ισομετρικής προσπάθειας (Aagaard et al., 2002a).

3.1.5. Αξιολόγηση της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

3.1.5.1. Μεθοδολογία της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας ώσεων στις μυϊκές ίνες

Η αξιολόγηση της ΤΑ πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ηλεκτρομυογραφίας της πανεπιστημιακής κλινικής της Ιατρικής σχολής των Αθηνών, στο Αιγινήτειο Νοσοκομείο, και στις 3 έρευνες. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι προσέρχονταν ύστερα από ραντεβού στον χώρο, όπου πριν την έναρξη της αξιολόγησης κάθονταν για 30 λεπτά (Van der Hoeven & Lange, 1994), σε θερμοκρασία δωματίου (24° C), ώστε να επανέλθουν σε κατάσταση ηρεμίας (Connes, et al., 2010), καθώς και να μειωθεί η θερμοκρασία των μυών τους στα φυσιολογικά επίπεδα (30° C), ώστε να αποφευχθούν οι επιδράσεις της αυξημένης θερμοκρασίας των μυών στην ΤΑ (Farina, et al., 2005a; Gray, et al., 2006; Stålberg, 1966; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven & Lange, 1994). Η ίδια θερμοκρασία δωματίου διατηρούταν καθ' όλη την διάρκεια των αξιολογήσεων. Παράλληλα, τους είχε δοθεί η οδηγία για την αποφυγή οποιασδήποτε έντονης φυσικής δραστηριότητας για 2 μέρες πριν την πραγματοποίηση αυτής της αξιολόγησης (Van der Hoeven & Lange, 1994).

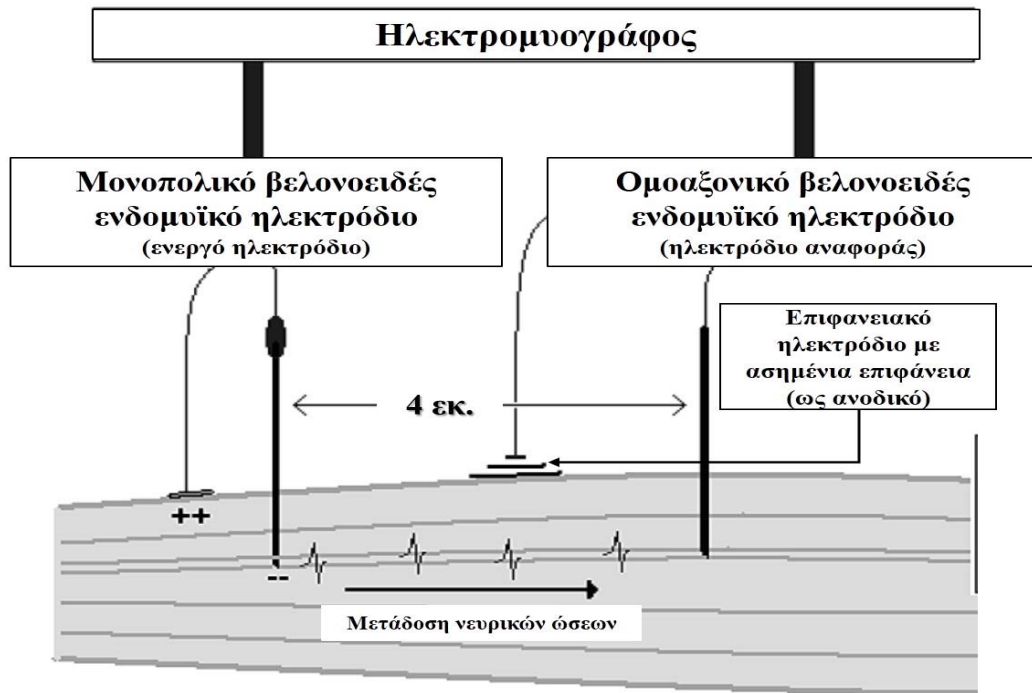
Έπειτα από το πέρας των 30 λεπτών ανάπαυσης, οι δοκιμαζόμενοι τοποθετούνταν σε πρηνή θέση πάνω στο εξεταστικό κρεβάτι, με τα δύο γόνατα σε ελαφριά (5°) κάμψη, για την αποφυγή των αρνητικών επιπτώσεων της επιμήκυνσης των μυϊκών ινών στην ΤΑ (Arendt-Nielsen, et al., 1992; T. Brown, et al., 1996; Gray, et al., 2006; Hakansson, 1957; Houtman, et al., 2003; Katz, 1948; Kossev, et al., 1992; A. Martin, 1954; Mitrovic, et al., 1999; Oetliker & Schümperli, 1982; Sakamoto & Li, 1997; Stålberg, 1966, 1980; Troni, et al., 1991; J. V. Trontelj, 1993; Van der Hoeven, 1995a). Η αξιολόγηση της ΤΑ πραγματοποιούνταν στο μέσο του έξω πλατύ μηριαίου μυός του κυρίαρχου άκρου, 20 εκατοστά από την επιγονατίδα, μέσω ενδομυϊκού ηλεκτρομυογράφου (Medtronic Functional Diagnostics, Keypoint 31A02, Skovlunde, Denmark) και συνοδευτικού προγράμματος ανάλυσης (Medtronic Keypoint®, NET, version 4.3.505.0). Αρχικά, πραγματοποιούνταν μια επιφανειακή διέγερση του μυός (έντασης σήματος 1-2mA και διάρκειας 0,2msec), $\pm 5\epsilon\kappa.$ από το σημείο που σημειώθηκε προηγουμένως, ώστε να βρεθεί μια περιοχή, μεγέθους 5X5εκ., του έξω πλατύ μηριαίου μυός όπου υπήρχαν οι λιγότεροι κινητικοί νευρώνες, καθώς και η κατεύθυνση των μυϊκών ινών (Stålberg, 1966, 1979, 1980). Αυτό το βήμα κρίνεται ιδιαίτερα κρίσιμο, διότι ο έξω πλατύς μηριαίος μυς ως περοειδής μυς έχει διάσπαρτους τους κινητικούς νευρώνες κατά μήκος του (Deshpande et al., 2006; Lieber & Fridén, 2000; Netter & Hansen, 2002), ενώ η αξιολόγηση της ΤΑ θα πρέπει να γίνει σε ένα τμήμα όπου δεν υπάρχουν αρκετοί κινητικοί νευρώνες (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; M. Nielsen, Graven-Nielsen, et al., 2008; Stålberg, 1966, 1979, 1980). Η περιοχή αυτή σημειωνόταν, ώστε να εντοπιστεί ξανά κατά την δειγματοληψία του μυϊκού ιστού στην 2^η και 3^η έρευνα.

Ύστερα από το παραπάνω βήμα και τον επιδερμικό καθαρισμό της περιοχής με αλκοόλη, ένα μονοπολικό βελονοειδές ενδομυϊκό ηλεκτρόδιο (μήκος: 20mm, διάμετρος 0,45mm, καταγραφική επιφάνεια: 0,30mm²; Alpine Biomed, Aps, Skovlunde, Denmark, τύπος DCNTM25) εισερχόταν 5-10mm μέσα από την περιτονία (ενεργό ηλεκτρόδιο), ενώ ένα επιφανειακό ηλεκτρόδιο με ασημένια

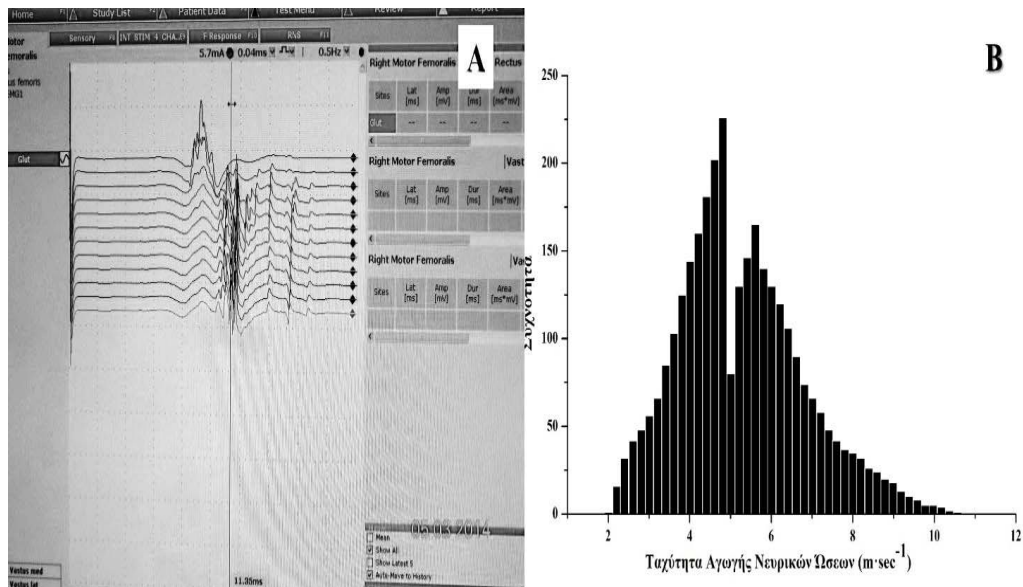
επιφάνεια (ως ανοδικό) τοποθετούταν 10-15mm πιο μακριά (Troni, et al., 1983). Με οδηγό την κατεύθυνση των μυϊκών ινών, που τεκμηριωνόταν όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ως ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετούταν 4εκ. μακρύτερα από το ενεργό ηλεκτρόδιο ένα ομοαξονικό βελονοειδές ενδομυϊκό ηλεκτρόδιο (μήκος: 20mm, διάμετρος: 0,45mm, καταγραφική επιφάνεια: 0,07mm²; Alpine Biomed, Aps, Skovlunde, Denmark, τύπου DCNTM25).

Τα καταγραφικά στοιχεία των προκλητών ερεθισμάτων-δυναμικών ρυθμίζονταν σε 0,05ms διάρκεια σήματος, 1Hz συχνότητα σήματος, 2 - 15mA ένταση σήματος, ενώ τα φίλτρα μεταξύ 2kHz και 20kHz (Mitrovic, et al., 1999). Καθ' όλη την διάρκεια της αξιολόγησης, το μονοπολικό ηλεκτρόδιο παρέμενε αμετακίνητο, σε αντίθεση με το ομόκεντρο, το οποίο μετακινούνταν ελαφρώς ενδομυϊκά, με βήματα των 1mm, μέχρι να διαπιστωθεί νέα απάντηση στο προκλητό δυναμικό, η οποία θα υπερβαίνει τα 20μV σε ύψος (amplitude) και θα φανερώνει την ύπαρξη ομάδας μυϊκών ινών (Daube & Rubin, 2009b; Mitrovic, et al., 1999). Όταν διαπιστώνονταν αυτές οι απαντήσεις, τότε το ομόκεντρο ηλεκτρόδιο σταθεροποιούνταν και το διεγερτικό σήμα επαναλαμβανόταν μέχρι να βρεθούν και να καταγραφούν τουλάχιστον 5 ολίδιες και συνεχόμενες απαντήσεις από τις μυϊκές ίνες της ομάδας, σε μια προσπάθεια τεκμηρίωσης της επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας των απαντήσεων καθώς και της αποφυγής των τυχόν μεταβολών που προκαλούνται από εκούσια συστολή των μυών (Blijham, et al., 2006; Daube & Rubin, 2009b). Δύο μέχρι και δεκαπέντε καταγραφές της ταχύτητας διαφορετικών μυϊκών ινών ανά περίπτωση, οι οποίες πληρούσαν το κριτήριο του 20μV σε ύψος, καταγράφονταν στην θετική τους κορύφωση. Έπειτα, το καταγραφικό ηλεκτρόδιο μετακινούνταν ενδομυϊκά με βήματα των 1mm προς όλες τις κατευθύνσεις, μέχρι να διαπιστωθεί νέα απάντηση στο ερέθισμα από μια νέα ομάδα μυϊκών ινών (Daube & Rubin, 2009b; Mitrovic, et al., 1999). Η TA υπολογιζόταν με βάση τον τύπο (Stålberg, 1966, 1979, 1980): $TA (m \cdot s^{-1}) = S \cdot \Delta T^{-1}$, όπου το ΔT εκφράζει τον χρόνο που απαιτήθηκε ώστε το σήμα να μετακινηθεί από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, μέσα από την εκάστοτε μυϊκή ίνα, ενώ το S εκφράζει την απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων.

Όλα τα αρχικά δεδομένα από την αξιολόγηση της TA του κάθε δοκιμαζομένου αναλύονταν στατιστικά, μέσω περιγραφικής στατιστικής, όπου όλες οι ακραίες τιμές, καθώς και αυτές που απείχαν πέραν των ± 2 τυπικών αποκλίσεων από τον μέσο όρο, διαγράφονταν (Blijham, et al., 2007). Εκτός από τον μέσο όρο της TA (TA_{total}) κάθε ατόμου, μέσω της κατανομής των συχνοτήτων των τιμών της TA (Daube & Rubin, 2009a; Stålberg, 1979) αξιολογούνταν η μικρότερη (TA_{min}) και η μεγαλύτερη (TA_{max}) ταχύτητα, ο λόγος (F/S ratio) μεταξύ της μεγαλύτερης προς την μικρότερη τιμή (Blijham, et al., 2004c; Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Lange, et al., 2002; Troni, et al., 1983), και τέλος ο μέσος όρος των μυϊκών ινών τύπου I ($TA_{type I}$) και II ($TA_{type II}$).



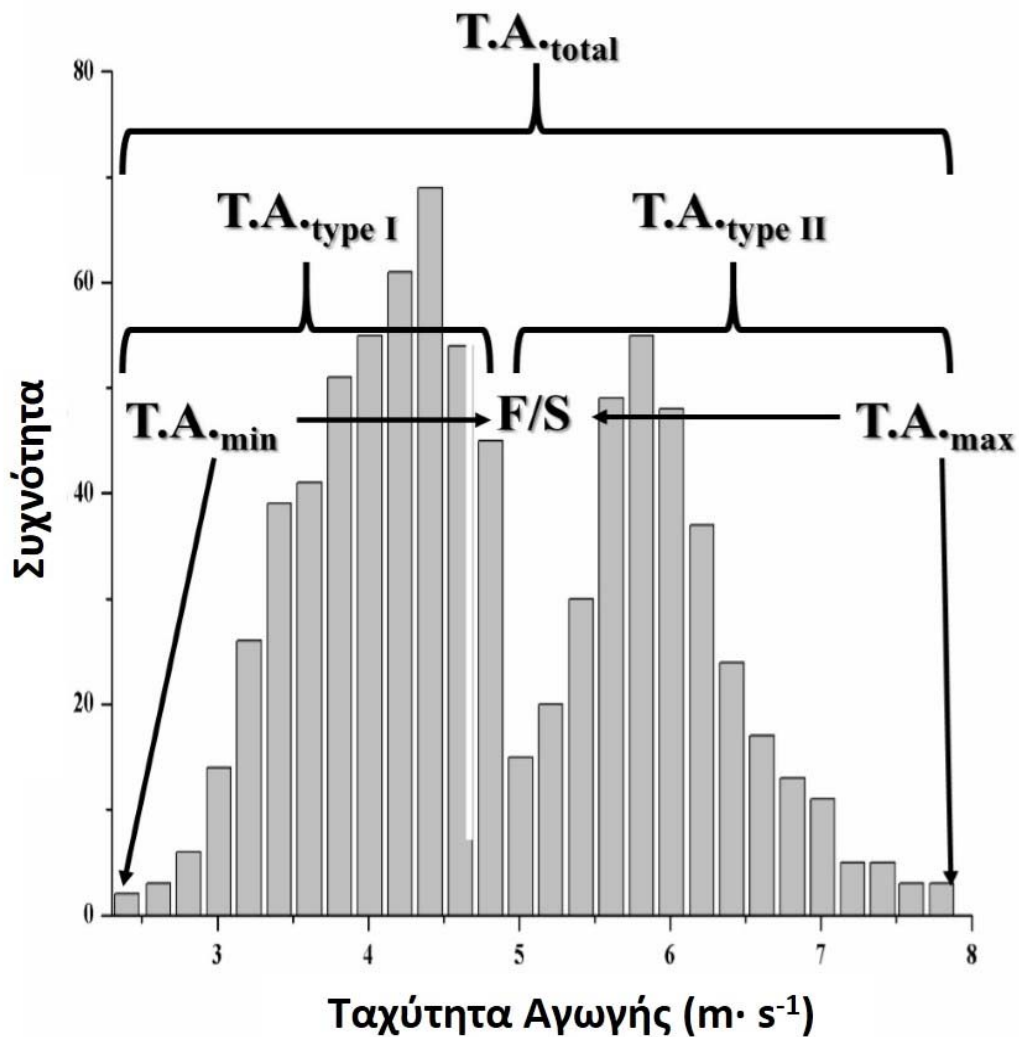
Σχήμα 3.4. Δομή της τροποποιημένης τεχνικής της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων κατά Troni (Blijham, 2007; Troni, et al., 1983).



Σχήμα 3.5. (A) Καταγραφή των ταυτόσημων και επαναλαμβανόμενων απαντήσεων στα προκλητά δυναμικά και (B) Κατανομή συχνότητων των τιμών της TA.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι μυϊκές ίνες τύπου II έχουν μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης των νευρικών ώσεων από τις μυϊκές ίνες τύπου I (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Keresi, et al., 1983). Παράλληλα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα

κατανομής των συχνοτήτων των τιμών της TA (Σχήμα 3.5B), το δικόρυφο σχήμα της κατανομής παρουσιάζει την ύπαρξη δύο ομάδων ταχυτήτων, φανερώνοντας την διαφοροποίηση των μυϊκών ινών τύπου I και II (Blijham, 2007; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Farina, et al., 2007; Linssen, et al., 1991; Nandedkar & Stålberg, 1983b; Naumann & Reiners, 1996b; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995c). Επομένως, οι μυϊκές ίνες τύπου I και τύπου II διαχωρίζονται ανάλογα με την ταχύτητά τους, με σημείο αναφοράς τα $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (τύπου I: $<4,99\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; Τύπου II: $>5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), που είναι και η μέση τιμή (median) μιας κατανομής τιμών της TA.



Σχήμα 3.6. Αξιολόγηση των παραμέτρων της TA, βάση της κατανομής των συχνοτήτων κάθε δοκιμαζόμενου.

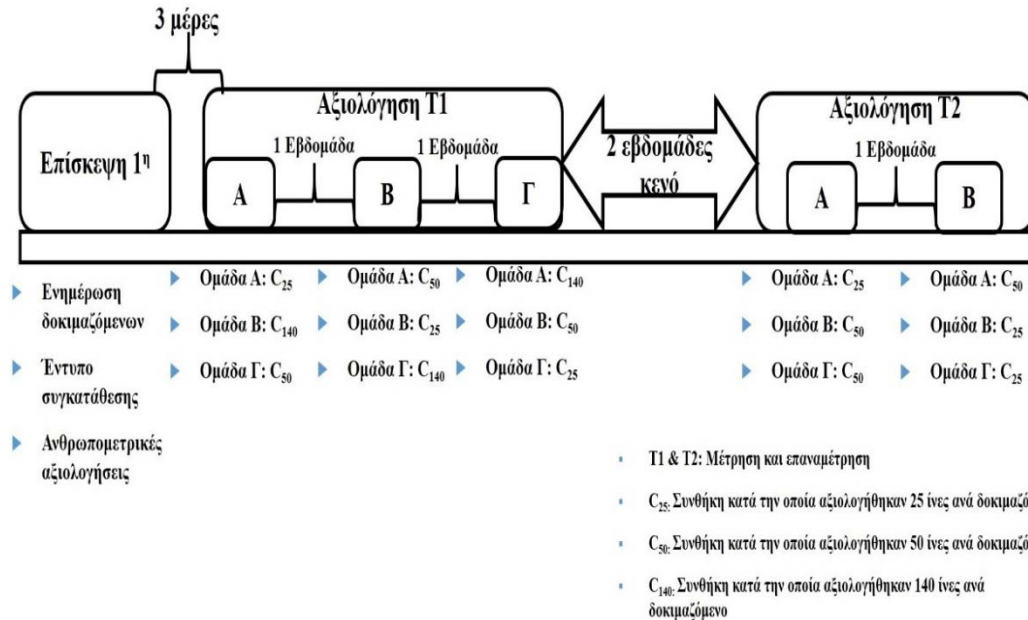
3.1.5.2. Απαραίτητος αριθμός καταμετρημένων μυϊκών ινών και αξιοπιστία-επαναληψιμότητα της αξιολόγησης της ταχύτητας δυναμικών ενέργειας ώσεων στις μυϊκές ίνες

Όπως αναφέρθηκε και στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, υπάρχει ασυμφωνία σχετικά με τον απαραίτητο αριθμό των μυϊκών ινών που πρέπει να μετρηθούν κατά την αξιολόγηση, με ένα μεγάλο εύρος ως προς τον αριθμό των μυϊκών ινών που μετρήθηκαν κατά την αξιολόγηση της ΤΑ, από 25 έως 140 διαφορετικές ίνες, με τις περισσότερες έρευνες να χρησιμοποιούν 40 έως 60 διαφορετικές ίνες ανά εξεταζόμενο (Blijham, et al., 2007; Blijham, et al., 2006; Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Lange, et al., 2002; M. Nielsen, et al., 2008; Sadoyama, et al., 1988; Schulte, et al., 2005; Troni, et al., 1983; Troni, et al., 1991; J. V. Trontelj, 1993; Vila-Cha, et al., 2012; Yaar & Niles, 1992). Παράλληλα, μέχρι τώρα μόνο 3 έρευνες έχουν εξετάσει την αξιοπιστία της αξιολόγησης της ΤΑ, μάλιστα μόνο μέσω της χρήσης επιφανειακών ηλεκτροδίων και μόνο για τον μέσο όρο της ΤΑ, οι οποίες ανέφεραν ότι η αξιοπιστία της μέτρησης κυμαινόταν από 0,11 έως 0,83 (Farina, Zagari, et al., 2004; McIntosh & Gabriel, 2012; Merletti, et al., 1995). Τέλος, σημαντικό πρόβλημα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία αποτελεί το γεγονός ότι ποτέ δεν έχει αξιολογηθεί η αξιοπιστία της εκτίμησης και των υπόλοιπων παραμέτρων της ΤΑ, όπως αυτών των μέσων όρων των ινών τύπου Ι και ΙΙ, της μικρότερης και της μεγαλύτερης τιμής καθώς και του λόγου F/S, αν και αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την γνωμάτευση διαφόρων μυασθενειών. Λόγω των παραπάνω προβλημάτων που παρουσιάζονται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και για να διευκρινιστεί ο απαραίτητος αριθμός των μυϊκών ινών που πρέπει να μετρηθούν ανά δοκιμαζόμενο καθώς και η αξιοπιστία της μέτρησης, πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή έρευνα, στα πλαίσια της διδακτορικής αυτής διατριβής.

Στην έρευνα αυτή συμμετείχαν 21 νεαροί μέτρια γυμνασμένοι άνδρες (ηλικία: $22,1 \pm 2,4$ έτη, σωματικό ύψος: $180,0 \pm 4,5$ εκ., σωματικό βάρος: $79,55 \pm 7,72$ kg, δείκτης μάζας σώματος: 23.57 ± 1.7 kg·m⁻²). Η ανάλυση ισχύος (Power Analysis), μέσω του στατιστικού προγράμματος G*Power έκδοση 3.1 (Frank Faul, Universitat Kiel, Germany), φανέρωσε ότι με βάση τον αριθμό των δοκιμαζομένων και τον πειραματικό σχεδιασμό της έρευνας αυτής (1 ομάδα x 5 επαναλαμβανόμενες μετρήσεις; δείκτης μεγέθους επίδρασης: 0,30), η πραγματική ισχύς (actual power) των αποτελεσμάτων της ανέρχεται στο 0,950.

Σε αυτή την έρευνα όλοι οι δοκιμαζόμενοι αξιολογήθηκαν αρχικά (T1) με βάση τρεις διαφορετικές συνθήκες, όπου άλλαξε ο αριθμός των καταμετρημένων μυϊκών ινών κατά την αξιολόγηση της ΤΑ. Επομένως, ανάλογα με την συνθήκη, η ΤΑ αξιολογήθηκε είτε καταγράφοντας 25 (C₂₅), είτε 50 (C₅₀), είτε 140 (C₁₄₀) διαφορετικές μυϊκές ίνες, σε ηρεμία, στον έξω πλατύ μηριαίο μυ του κυρίαρχου ποδιού του κάθε δοκιμαζομένου (WFQ-R, ICC = 0.92; Elias et al., 1998) και σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε 3 ομάδες και πραγματοποίησαν με διαφορετική σειρά τις 3 συνθήκες, 1 ανά εβδομάδα (ομάδα Α: C₂₅→C₅₀→C₁₄₀, ομάδα Β: C₁₄₀→C₂₅→C₅₀ και ομάδα Γ: C₅₀→C₁₄₀→C₂₅). Έπειτα από την ολοκλήρωση των αξιολογήσεων των 3 συνθηκών, όλα τα αρχικά δεδομένα αναλύθηκαν μέσω περιγραφικής στατιστικής, όπου τελικά καταγράφηκαν $24,10 \pm 2,83$ (συνολικά 506) διαφορετικές

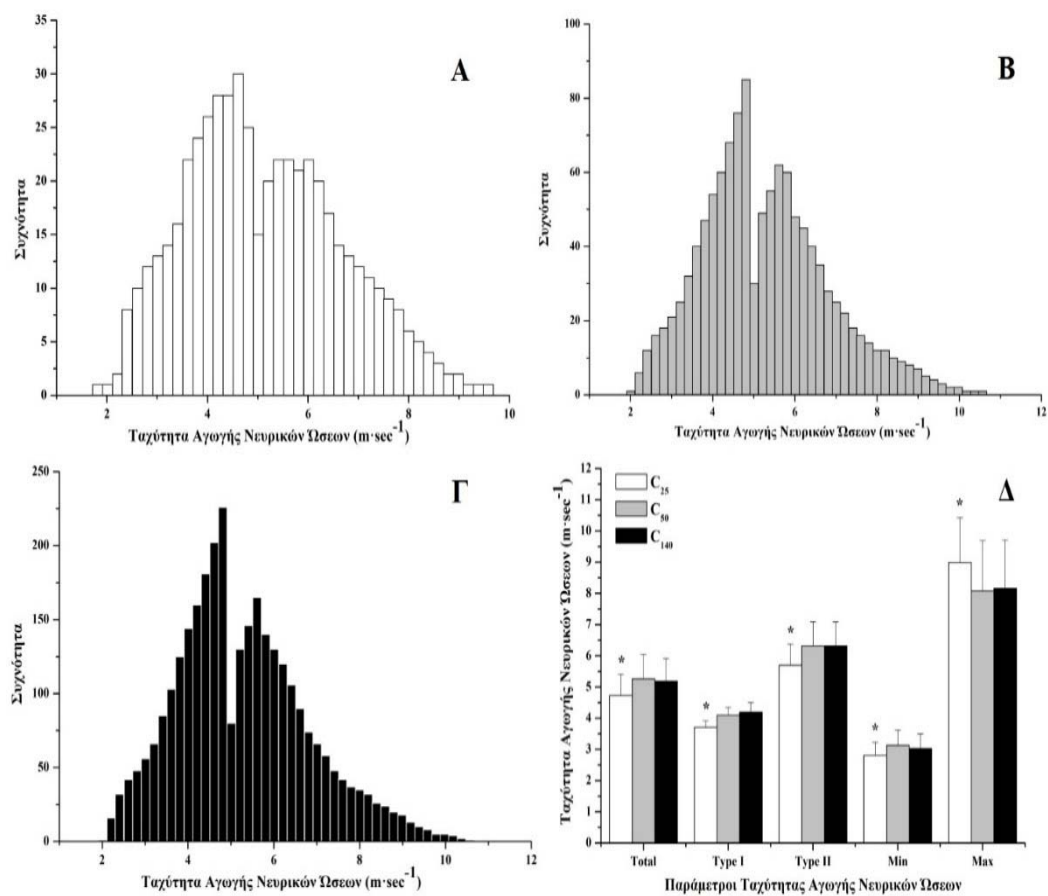
μυϊκές ίνες στην συνθήκη C₂₅, 50,43±1,53 (συνολικά 1185) στην συνθήκη C₅₀ και 140,70±2,13 (συνολικά 3122) στην συνθήκη C₁₄₀. Ως τύπου I και II ταξινομήθηκαν 260 και 246 αντίστοιχα στην C₂₅, 561 και 624 στην C₅₀ και 1487 και 1635 στην C₁₄₀.



Σχήμα 3.7. Πειραματικός σχεδιασμός της έρευνας για την διερεύνηση της αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας της αξιολόγησης της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων.

Έπειτα ακολούθησε η στατιστική ανάλυση των δεδομένων αυτών που περιελάμβανε την ανάλυση Chi-Square Goodness of Fit Test, για την διερεύνηση των πιθανών διαφοροποιήσεων στις κατανομές των συχνοτήτων των τιμών της TA, και ανάλυση διασποράς επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (One-Way Repeated ANOVA) με το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Sidak, για την διερεύνηση των διαφορών στους μέσους όρους όλων των παραγόντων της TA μεταξύ των 3 συνθηκών. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν και οι αναλύσεις για την αξιοπιστία, εγκυρότητα και επαναληψιμότητα των μετρήσεων, ως μέτρο σύγκρισης μεταξύ των 3 συνθηκών. Σε αυτές τις αναλύσεις συμπεριλήφθηκαν (1) ο δείκτης ICC και (2) ο δείκτης συσχέτισης του Pearson (Watkins & Portney, 2009), καθώς και στατιστικοί δείκτες: (3) τυπικό σφάλμα των μετρήσεων (standard error of measurements; $SEM = SD \cdot \sqrt{1 - ICC}$), (4) ο συντελεστής διακύμανσης της διασποράς variation ($CV = \sqrt{Mean Square Error \cdot Grand mean^{-1}} \cdot 100$), (5) ο δείκτης Bland & Altman για το 95% των ορίων των συμφωνιών (LOA), (6) τυπικό σφάλμα των ορίων ($SEL = \sqrt{3 \cdot Standard Deviation of Difference^2 \cdot n^{-1}}$), (7) το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας ($CILOA = 95\% LOA \pm (1.96 \cdot SEL)$) και (8) ο συντελεστής επαναληψιμότητας ($RC = 1.96 \cdot \sqrt{2 \cdot Standard Deviation of Difference^2}$), όπως έχουν προηγουμένως προταθεί για την πραγματοποίηση τέτοιου είδους ερευνών (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986; Bruton et al., 2000). Είναι γενικά αποδεκτό πως τιμές ICC πάνω από 0,800, CV μικρότερο του 10%, μέσου όρου διαφοράς κοντά στο 0,

μικρές τιμές ή/και εύρη τιμών για τις αναλύσεις του LOA, μικρό τυπικό σφάλμα και συντελεστής επαναληψιμότητας είναι δείκτες υψηλής αξιοπιστίας, εγκυρότητας και επαναληψιμότητας των μετρήσεων (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986). Έπειτα από την ανάλυση των δεδομένων της T1 μέτρησης, οι δοκιμαζόμενοι προσήλθαν ξανά (2 εβδομάδες μετά) στο εργαστήριο για άλλες 2 φορές (T2), με 1 εβδομάδα κενό μεταξύ, όπου και επαναξιολογήθηκε η TA με βάση τις συνθήκες C₂₅ και C₅₀, με τυχαία και πάλι σειρά, με σκοπό την διερεύνηση της αξιοπιστίας και της επαναληψιμότητας των δεδομένων που παρέχονται μέσα από κάθε μία από αυτές τις 2 συνθήκες. Έπειτα από την ολοκλήρωση και των μετρήσεων αυτών, τα δεδομένα από κάθε άτομο, όπως και γενικά για κάθε συνθήκη, αναλύθηκαν ξανά, όπως περιγράφηκαν και παραπάνω.

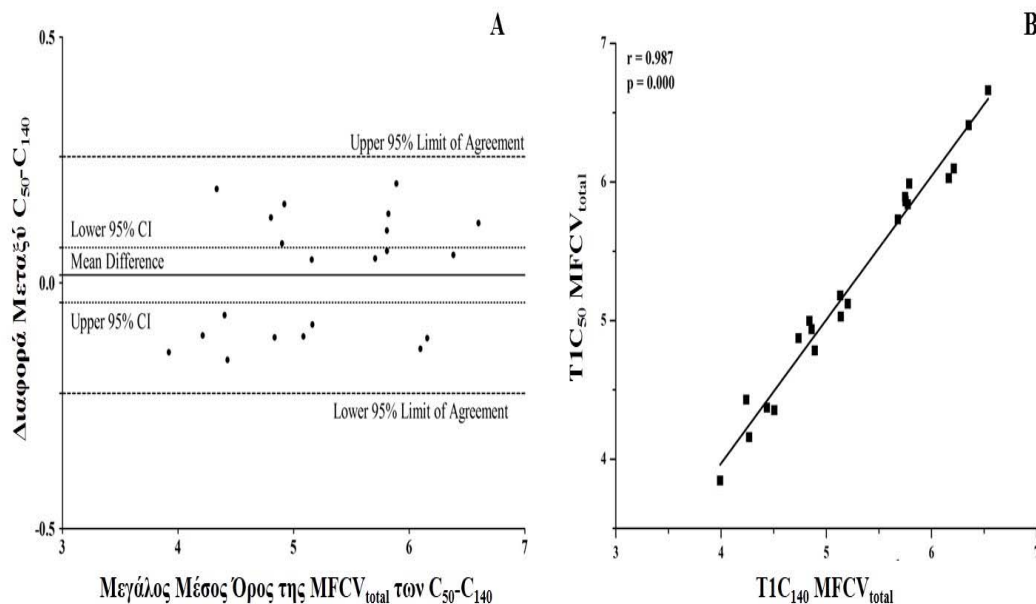


Σχήμα 3.8. Κατανομή συχνοτήτων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες για την συνθήκη (Α) C₂₅, (Β) C₅₀ και (Γ) C₁₄₀, όπου αξιολογήθηκαν 25, 50 και 140 διαφορετικές ίνες ανά δοκιμαζόμενο αντίστοιχα, και (Δ) μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για κάθε μία παράμετρο της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων ανάλογα με την συνθήκη. Σημαντικές διαφορές ($P < 0,001$) διαπιστώθηκαν μόνο για την C₂₅ συνθήκη (*).

Η ανάλυση των δεδομένων των μετρήσεων της T1 φανέρωσε ότι η TA_{total} του έξω πλατύ μηριαίου μυός ήταν $4,73 \pm 0,69 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, $5,26 \pm 0,79 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ και $5,25 \pm 0,65 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ για τις συνθήκες C₂₅, C₅₀ και C₁₄₀ αντιστοίχως (σχήμα 3.8Δ). Ο μέσος όρος της TA_{type I} ήταν $3,71 \pm 0,22 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ για την C₂₅, $4,11 \pm 0,25 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ για

την C₅₀ και $4,13 \pm 0,23 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ για την C₁₄₀. Ο μέσος όρος της TA_{type II} ήταν $5,70 \pm 0,67 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, $6,32 \pm 0,77 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ και $6,34 \pm 0,72 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ αντίστοιχα. Ο μέσος όρος της TA_{min} ήταν $2,81 \pm 0,42 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ (C₂₅), $3,13 \pm 0,48 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ (C₅₀) και $3,12 \pm 0,42 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ (C₁₄₀). Ο μέσος όρος της TA_{max} ήταν $8,96 \pm 1,44 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, $8,08 \pm 1,61 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ και $8,13 \pm 1,59 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ για τη C₂₅, C₅₀ και C₁₄₀ αντίστοιχα (σχήμα 3.8Δ). Τέλος ο λόγος F/S ήταν $3,25 \pm 0,64$ για την C₂₅, $2,63 \pm 0,65$ για την C₅₀ και $2,65 \pm 0,67$ για την C₁₄₀ συνθήκη. Η κατανομή των συχνοτήτων για κάθε συνθήκη παρουσιάζεται στα σχήματα 3.8Α έως 3.8Γ. Η ανάλυση Chi-Square Goodness of Fit Test φανέρωσε την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των συνθηκών C₂₅-C₅₀ ($\chi^2=1472,00$, df=792, p=0,000) και C₂₅-C₁₄₀ ($\chi^2=954.83$, df=888, p<0.05), αλλά όχι μεταξύ των συνθηκών C₅₀ και C₁₄₀ ($\chi^2=662.50$, df=1221, p>0.05).

Σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν μεταξύ των τιμών της συνθήκης C₂₅ και των άλλων δύο, όπου η C₂₅ υποεκτίμησε την TA_{total} περίπου 10% / 9,86%, την TA_{type I} 9,94% / 10,05%, την TA_{type II} 9,85% / 10,14% και την TA_{min} 10,10% / 9,98%, ενώ υπερεκτίμησε τον λόγο F/S και την TA_{max} κατά 11,34% / 10,58% and 23,80% / 22,64% σε σχέση με τις συνθήκες C₅₀ και C₁₄₀. Δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνθηκών C₅₀ και C₁₄₀ (p>0,05; Σχήμα 3.8Δ). Παράλληλα, ο δείκτης συσχέτισης του Pearson φανέρωσε μικρές ή μη στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών της C₂₅ και των αντίστοιχων των C₅₀ και C₁₄₀ (πίνακας 3.1). Αντίθετα, υψηλές συσχετίσεις παρουσιάστηκαν μεταξύ των τιμών των συνθηκών C₅₀ και C₁₄₀ (πίνακας 3.1).

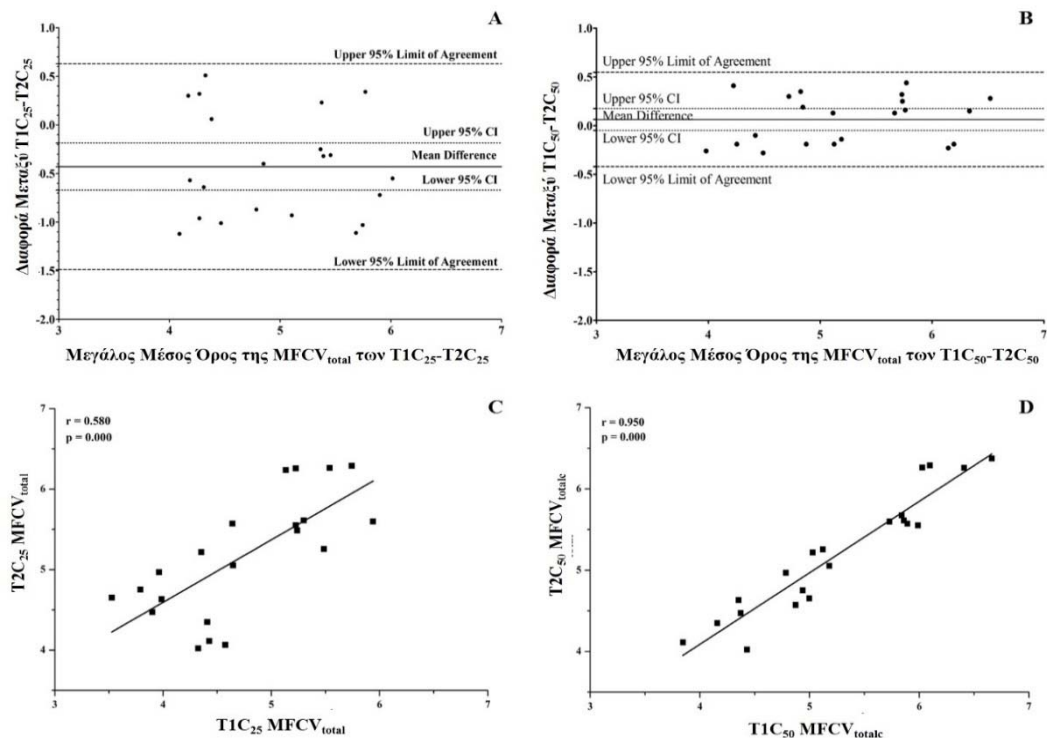


Σχήμα 3.9. (Α) διάγραμμα διασποράς των διαφορών των τιμών της TA_{total} για την σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της C₅₀ και C₁₄₀ συνθήκης και (Β) διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της TA_{total} μεταξύ της C₅₀ και C₁₄₀ συνθήκης.

Πίνακας 3.1. Τιμές του συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson μεταξύ των τιμών των παραμέτρων της TA ανάμεσα στις 3 συνθήκες κατά την T1 αξιολόγηση.

Παράμετροι	TA _{total}		TA _{type I}	
Συνθήκες (C)	50	140	50	140
25	0,612*	0,631*	0,288	0,337
50		0,988**		0,884**
Παράμετροι	TA _{type II}		TA _{min}	
Συνθήκες (C)	50	140	50	140
25	0,376	0,363	0,140	0,062
50		0,988**		0,961**
Παράμετροι	TA _{max}		F/S	
Συνθήκες (C)	50	140	50	140
25	0,284	0,292	0,051	0,071
50		0,955**		0,983**

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I και Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I και II μυϊκές ίνες αντίστοιχα; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S: Λόγος μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής της TA; C₂₅, C₅₀ και C₁₄₀ συνθήκες όπου αξιολογήθηκαν 25, 50 και 140 διαφορετικές ίνες ανά δοκιμαζόμενο αντίστοιχα. (*):p<0,05, (**): p=0,000.



Σχήμα 3.10. Διάγραμμα διασποράς των διαφορών των τιμών της TA_{total} για την σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της (Α) T1C₂₅-T2C₂₅ και (Β) T1C₅₀-T2C₅₀. Διάγραμμα συσχέτισης των τιμών της TA_{total} μεταξύ των (Γ) T1C₂₅-T2C₂₅ και (Δ) T1C₅₀-T2C₅₀ μετρήσεων και επαναμετρήσεων.

Στον πίνακα 3.2 και στο σχήμα 3.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας των τιμών μεταξύ των συνθηκών C₅₀ και C₁₄₀. Αν και διαπιστώνονται υψηλές τιμές συσχέτισης και επαναληψιμότητας μεταξύ των 2 αυτών συνθηκών, υπήρχε σημαντική διαφοροποίηση στον απαιτούμενο χρόνο ολοκλήρωσης της κάθε αξιολόγησης (C₅₀: 38,22±10,6λεπτά και C₁₄₀: 65,10±15,2λεπτά; $p < 0.001$), καθώς και του υποκειμενικού πόνου που αισθάνθηκαν οι δοκιμαζόμενοι μεταξύ των 2 συνθηκών. Τέλος, μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων της T1, ελέγχθηκαν εκ νέου οι δείκτες αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας των συνθηκών C₂₅ (T2C₂₅) και C₅₀ (T2C₅₀). Δεν ελέγχθηκε ξανά η συνθήκη C₁₄₀, διότι η συνθήκη C₅₀, όπως διαπιστώθηκε, παρέχει ταυτόσημα αποτελέσματα με αυτά της C₁₄₀, σε λιγότερο χρόνο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των συνθηκών T2C₂₅ και T2C₅₀ παρουσιάζονται στους πίνακες 3.3 και 3.4. Σημαντικές διαφορές και χαμηλοί δείκτες αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας διαπιστώθηκαν μεταξύ της μέτρησης και επαναμέτρησης της συνθήκης C₂₅ (T1C₂₅-T2C₂₅; Πίνακας 3.3 και σχήμα 3.10Α και 3.10Γ), σε αντίθεση με την σύγκριση μεταξύ της T1C₅₀ και T2C₅₀ (Πίνακας 3.4 και σχήμα 3.10Β και 3.10Δ), όπου δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές, ενώ υπήρχαν υψηλοί δείκτες αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας.

Από τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής διαπιστώνεται ότι θα πρέπει να καταγράφονται κατά μέσο όρο περίπου 50 διαφορετικές μυϊκές ίνες ανά δοκιμαζόμενο κατά την αξιολόγηση της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίου μυός, ώστε να υπάρχει μια γρήγορη, όσο το δυνατόν πιο ανώδυνη για τον δοκιμαζόμενο διαδικασία, η οποία όμως θα προσφέρει και πολύ καλή αξιοπιστία, εγκυρότητα και επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων της. Η καταμέτρηση περισσότερων μυϊκών ινών δεν πρόκειται να αποδώσει μεγαλύτερη αξιοπιστία, εγκυρότητα και επαναληψιμότητα στην αξιολόγηση αυτή, αλλά θα αυξήσει τον χρόνο ολοκλήρωσης της κάθε αξιολόγησης, διαδικασία η οποία θα προκαλεί την δυσανασχέτιση, λόγω πόνου, των δοκιμαζομένων. Επομένως, και στις 3 έρευνες που θα πραγματοποιηθούν στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής θα οριστούν ως σημείο αναφοράς οι 50 διαφορετικές μυϊκές ίνες κατά μέσο όρο.

Πίνακας 3.2. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας για όλες τις τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες μεταξύ των συνθηκών C₅₀ και C₁₄₀.

Παράμετροι	Total		Type I		Type II		Min		Max		F/S ratio	
	C ₅₀	C ₁₄₀	C ₅₀	C ₁₄₀	C ₅₀	C ₁₄₀	C ₅₀	C ₁₄₀ 0	C ₅₀	C ₁₄₀	C ₅₀	C ₁₄₀
Μέσος όρος ± TA (m·sec ⁻¹)	5,26±0,79	5,25±0,65	4,11±0,25	4,13±0,23	6,32±0,77	6,34±0,72	3,13±0,48	3,12±0,42	8,08±1,61	8,13±1,59	2,63±0,65	2,65±0,67
Μεγάλος μέσος όρος ± TA (m·sec ⁻¹)	5,26 ± 0,76		4,13 ± 0,25		6,34 ± 0,74		3,13 ± 0,47		8,11 ± 1,59		2,64 ± 0,65	
ICC (F; p<0,05)	0,35		0,04		0,57		0,06		2,52		0,85	
R (p=0,000)	0,987		0,884		0,986		0,960		0,995		0,983	
95% CI	0,969 - 0,995		0,837 - 0,951		0,966 - 0,994		0,904 - 0,983		0,988 - 0,998		0,959 - 0,993	
SEM (m·sec ⁻¹)	0,08		0,08		0,08		0,09		0,11		0,08	
CV (%)	3,70		4,16		2,41		5,02		3,40		5,16	
Mean _{Diff} ± SD _{Diff}	0,01 ± 0,12		0 ± 0,13		-0,02 ± 0,12		0 ± 0,13		-0,05 ± 0,16		-0,02 ± 0,12	
95% CI _{Diff}	-0,04 – 0,07		-0,06 – 0,05		-0,07 – 0,03		-0,05 – 0,06		-0,12 – 0,01		-0,08 – 0,03	
Υψηλό 95% LOA (95% CILOA)	0,25 (0,23 – 0,27)		0,23 (0,21 – 0,25)		0,22 (0,20 – 0,24)		0,27 (0,24 – 0,29)		0,25 (0,23 – 0,28)		0,21 (0,19 – 0,23)	
Χαμηλό 95% LOA (95% CILOA)	-0,22 (-0,24 – -0,20)		-0,23 (-0,26 – -0,22)		-0,26 (-0,28 – -0,24)		-0,25 (-0,27 – -0,24)		-0,36 (-0,39 – -0,34)		-0,26 (-0,28 – -0,24)	
Εύρος LOA 95%	0,48		0,48		0,49		0,52		0,62		0,47	
SEL	0,01		0,01		0,01		0,01		0,01		0,01	
RC	0,34		0,34		0,35		0,37		0,44		0,33	

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S: Λόγος μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής της TA; TA: Τυπική απόκλιση; ICC: Εσωτερικός συντελεστής αξιοπιστίας; SEM Τυπικό σφάλμα μετρήσεων; CV Συντελεστής διακύμανσης της διασποράς; LOA: Δείκτης Bland & Altman για το 95 % των ορίων των συμφωνιών; Mean_{Diff}: μέσος όρος της διαφοράς των τιμών μεταξύ της C₅₀ και C₁₄₀ συνθήκης; SD_{Diff}: τυπική της διαφοράς των τιμών μεταξύ της C₅₀ και C₁₄₀ συνθήκης; CI: Διάστημα εμπιστοσύνης; CI_{Diff}: Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς των τιμών μεταξύ της C₅₀ και C₁₄₀ συνθήκης; 95% CILOA: 95 % διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας; SEL Τυπικό σφάλμα των ορίων; RC Δείκτης επαναληψιμότητας; C₅₀ και C₁₄₀: συνθήκες όπου αξιολογήθηκαν 50 και 140 διαφορετικές ίνες ανά δοκιμαζόμενο αντίστοιχα.

Πίνακας 3.3. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας για όλες τις τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες μεταξύ των συνθηκών T1C₂₅ και T2C₂₅.

Παράμετροι	Total		Type I		Type II		Min		Max		F/S ratio	
	T1C ₂₅	T2C ₂₅	T1C ₂₅	T2C ₂₅	T1C ₂₅	T2C ₂₅	T1C ₂₅	T2C ₂₅	T1C ₂₅	T2C ₂₅	T1C ₂₅	T2C ₂₅
Μέσος όρος ± TA (m·sec ⁻¹)	4,73±0,69	5,16±0,75	3,71±0,22	4,05±0,33	5,70±0,67	6,25±0,72	2,81±0,42	3.08±0.44	8.96±1.44	8.12±1.69	3.25±0.64	2.89±0.69
Μεγάλος μέσος όρος ± TA (m·sec ⁻¹)	4,95 ± 0,75		3,88 ± 0,33		5,98 ± 0,74		2,95 ± 0,45		8,54 ± 1,46		2,97 ± 0,72	
Anova (F; p<0,05)	13,38		21,15		10,23		7,03		5,02		7,17	
R (p=0,000)	0,580 (0,000)		0,298 (0,089)		0,370 (0,065)		0,023 (0,459)		0,283 (0,101)		-0,054 (0,5944)	
95% CI	0,428 – 0,676		-0,142 – 0,460		-0,062 – 0,589		-0,404 – 0,441		-0,159 – 0,530		-0,466 – 0,377	
SEM (m·sec ⁻¹)	0,27		0,27		0,58		0,44		1,23		0,70	
CV (%)	13,02		13,02		14,55		14,41		14,04		22,51	
Mean _{Diff} ± SD _{Diff}	-0,43 ± 0,53		-0,33 ± 0,33		-0,54 ± 0,78		-0,26 ± 0,60		-3,65 ± 1,68		0,56 ± 0,97	
95% CI _{Diff}	-0,67 – -0,18		-0,48 – -0,18		-0,90 – -0,19		-0,53 – 0,01		-4,42 – -0,28		0,12 – 1,01	
Υψηλό 95% LOA (95% CILOA)	0,62 (0,53 – 0,71)		0,31 (0,26 – 0,37)		0,98 (0,86 – 1,11)		0,91 (0,81 – 1,01)		-0,3 (-0,63 – -0,08)		2,47 (2,31 – 2,63)	
Χαμηλό 95% LOA (95% CILOA)	-1,48 (-1,57 – -1,40)		-0,98 (-0,93 – -1,04)		-2,07 (-2,20 – -1,95)		-1,44 (-1,54 – -1,34)		-6,95 (-7,22 – -6,67)		-1,33 (-1,49 – -1,18)	
Εύρος LOA 95%	2,11		1,30		3,06		2,36		6,59		3,81	
SEL	0,04		0,02		0,06		0,04		0,13		0,08	
RC	1,49		0,92		2,16		1,66		4,66		2,69	

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S: Λόγος μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής της TA; TA: Τυπική απόκλιση; ICC: Εσωτερικός συντελεστής αξιοπιστίας; SEM Τυπικό σφάλμα μετρήσεων; CV Συντελεστής διακύμανσης της διασποράς; LOA: Δείκτης Bland & Altman για το 95 % των ορίων των συμφωνιών; Mean_{Diff}: μέσος όρος της διαφοράς των τιμών μεταξύ της T1C₂₅ και T2C₂₅ συνθήκης; SD_{Diff}: τυπική της διαφοράς των τιμών μεταξύ της T1C₂₅ και T2C₂₅ συνθήκης; CI: Διάστημα εμπιστοσύνης; CI_{Diff}: Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς των τιμών μεταξύ της T1C₂₅ και T2C₂₅ συνθήκης; 95% CILOA: 95 % διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας; SEL Τυπικό σφάλμα των ορίων; RC Δείκτης επαναληψιμότητας T1C₂₅ και T2C₂₅: συνθήκες όπου αξιολογήθηκαν 25 διαφορετικές ίνες ανά δοκιμαζόμενο αντίστοιχα κατά την μέτρηση και επαναμέτρηση.

Πίνακας 3.4. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας για όλες τις τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες μεταξύ των συνθηκών T_1C_{50} και T_2C_{50}

Παράμετροι	Total		Type I		Type II		Min		Max		F/S ratio	
	T_1C_{50}	T_2C_{50}	T_1C_{50}	T_2C_{50}	T_1C_{50}	T_2C_{50}	T_1C_{50}	T_2C_{50}	T_1C_{50}	T_2C_{50}	T_1C_{50}	T_2C_{50}
Μέσος όρος $\pm$ TA ($m \cdot sec^{-1}$)	5,26 $\pm$ 0,79	5,19 $\pm$ 0,73	4,12 $\pm$ 0,25	4,20 $\pm$ 0,30	6,32 $\pm$ 0,77	6,33 $\pm$ 0,69	3,13 $\pm$ 0,48	3,03 $\pm$ 0,47	8,08 $\pm$ 1,55	8,16 $\pm$ 1,57	2,63 $\pm$ 0,65	2,59 $\pm$ 0,69
Μεγάλος μέσος όρος $\pm$ TA ($m \cdot sec^{-1}$)	5,23 $\pm$ 0,25		4,12 $\pm$ 0,20		6,33 $\pm$ 0,30		3,14 $\pm$ 0,29		8,06 $\pm$ 0,70		2,63 $\pm$ 0,40	
ICC Anova (F; p<0,05)	1,38		0,06		0,05		0,01		0,50		0,01	
R (p=0,000)	0,950		0,813		0,941		0,944		0,980		0,977	
95% CI	0,876 – 0,978		0,772 – 0,828		0,860 – 0,975		0,895 – 0,954		0,950 – 0,991		0,853 – 0,974	
SEM ($m \cdot sec^{-1}$)			0,08		0,07		0,06		0,09		0,06	
CV (%)			4,20		2,82		6,05		2,85		6,37	
Mean _{Diff} $\pm$ SD _{Diff}	0,06 $\pm$ 0,24		0,01 $\pm$ 0,24		0 $\pm$ 0,25		0 $\pm$ 0,26		0,05 $\pm$ 0,32		0 $\pm$ 0,23	
95% CI _{Diff}	-0,04 $\pm$ 0,17		-0,09 $\pm$ 0,12		-0,11 – 0,11		-0,12 – 0,12		-0,09 $\pm$ 0,19		-0,10 $\pm$ 0,11	
Υψηλό 95% LOA (95% CILOA)	0,54 (0,50 – 0,58)		0,49 (0,45 – 0,53)		0,49 (0,45 – 0,53)		0,52 (0,48 – 0,57)		0,68 (0,63 – 0,73)		0,47 (0,43 – 0,51)	
Χαμηλό 95% LOA (95% CILOA)	-0,42 (-0,46 – -0,38)		-0,46 (-0,50 – -0,42)		-0,50 (-0,54 – -0,46)		-0,52 (-0,54 – -0,48)		-0,58 (-0,63 – -0,53)		-0,46 (-0,50 – -0,42)	
Εύρος LOA 95%	0,96		0,96		0,99		1,05		1,27		0,93	
SEL	0,02		0,02		0,02		0,02		0,02		0,01	
RC	0,68		0,68		0,70		0,74		0,89		0,66	

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S: Λόγος μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής της TA; TA: Τυπική απόκλιση; ICC: Εσωτερικός συντελεστής αξιοπιστίας; SEM Τυπικό σφάλμα μετρήσεων; CV Συντελεστής διακύμανσης της διασποράς; LOA: Δείκτης Bland & Altman για το 95 % των ορίων των συμφωνιών; Mean_{Diff}: μέσος όρος της διαφοράς των τιμών μεταξύ της T_1C_{50} και T_2C_{50} συνθήκης; SD_{Diff}: τυπική της διαφοράς των τιμών μεταξύ της T_1C_{50} και T_2C_{50} συνθήκης; CI: Διάστημα εμπιστοσύνης; CI_{Diff}: Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς των τιμών μεταξύ της T_1C_{50} και T_2C_{50} συνθήκης; 95% CILOA: 95 % διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας; SEL Τυπικό σφάλμα των ορίων; RC Δείκτης επαναληψιμότητας T_1C_{50} και T_2C_{50} : συνθήκες όπου αξιολογήθηκαν 50 διαφορετικές ίνες ανά δοκιμαζόμενο αντίστοιχα κατά την μέτρηση και επαναμέτρηση.

3.1.6. Στατιστική ανάλυση

Αρχικά πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Ισχύος (Power Analysis), μέσω του στατιστικού προγράμματος G*Power έκδοση 3.1 (Frank Faul, Universitat Kiel, Germany), για την ανεύρεση του απαραίτητου αριθμού συμμετεχόντων, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

Η ανάλυση των αρχικών δεδομένων της αξιολόγησης της ΤΑ σε κάθε έρευνα περιελάμβανε περιγραφική στατιστική, όπου όλες οι ακραίες τιμές, καθώς και αυτές που απέχουν πέραν των ± 2 τυπικών αποκλίσεων από τον μέσο όρο, διαγράφονταν (Blijham, et al., 2007). Παράλληλα, μέσα από την κατανομή συχνοτήτων των τιμών κάθε δοκιμαζόμενου υπολογίζονταν όλες οι παράμετροι της ΤΑ, έτσι όπως περιεγράφηκε και παραπάνω (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham, 2007; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Farina, et al., 2007; Kereshi, et al., 1983; Linssen, et al., 1991; Nandedkar & Stålberg, 1983b; Naumann & Reiners, 1996b; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995c).

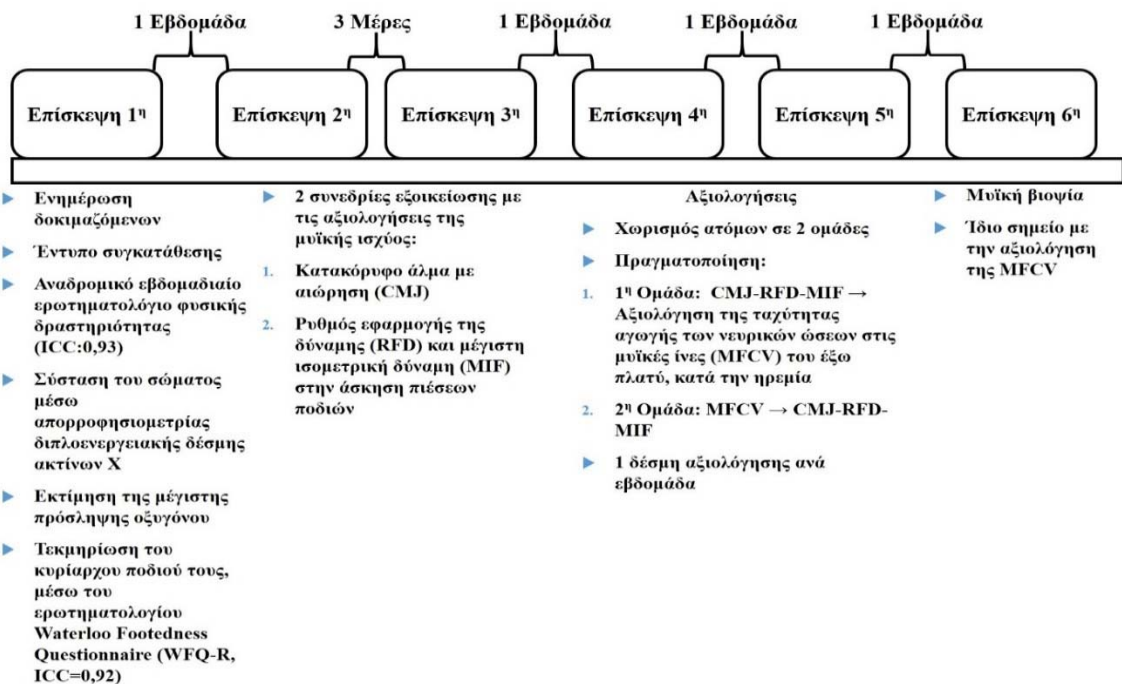
Η στατιστική ανάλυση της παρούσας έρευνας περιελάμβανε περιγραφική στατιστική με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, καθώς και τον δείκτη συσχέτισης του Pearson, για την διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και αυτών των ΡΕΔ, ΜΙΔ και της αλτικής απόδοσης κατά το CMJ. Παράλληλα, για την ερμηνεία και την σύγκριση των αποτελεσμάτων των συσχετίσεων, χρησιμοποιήθηκε η ταξινόμηση κατά Hopkins, όπου οι συσχετίσεις με r μεταξύ 0,300 και 0,500 κατατάσσονται στις μέτριες, από 0,510 έως 0,700 κατατάσσονται στις υψηλές, από 0,710 έως 0,900 στις πολύ υψηλές και τέλος οι συσχετίσεις πάνω από 0,910 κατατάσσονται στις σχεδόν τέλειες (Hopkins, 2000). Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων της εν λόγω έρευνας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικών εφαρμογών SPSS for Windows, Ver. 21 (IBM Corporation, USA). Σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις το επίπεδο σημαντικότητας (P) ορίστηκε το 0,05.

3.2. Μεθοδολογία δεύτερης εργασίας

3.2.1. Ερευνητικός σχεδιασμός δεύτερης έρευνας

Ο σχεδιασμός της έρευνας αποτελούταν από 6 στάδια και κάθε στάδιο από 1 επίσκεψη του κάθε δοκιμαζόμενου στο εργαστήριο. Κατά την πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε η ενημέρωση και η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Έπειτα, κάθε άτομο συμπλήρωνε ένα αναδρομικό εβδομαδιαίο ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας, στο οποίο καταγράφονταν η εβδομαδιαία συχνότητα των προπονήσεων, οι εντάσεις και οι όγκοι της αερόβιας και αναερόβιας και ο χρόνος της κάθε προπονητικής μονάδας των χρόνων της συστηματικής προπόνησής του. Ο δείκτης εγκυρότητας, αξιοπιστίας και επαναληψιμότητας (Intra-class correlation; ICC) του ερωτηματολογίου αξιολογήθηκε σε 10 διαφορετικά άτομα και βρέθηκε 0,95 (ICC = 0.95, 95% CI: Lower = 0.90, Upper = 0.98; $n = 10$). Παράλληλα, στην 1^η επίσκεψη αξιολογήθηκε η σύσταση του σώματος κάθε ασκούμενου μέσω της τεχνικής της απορροφησιομετρίας διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων Χ (DXA) και έγινε τεκμηρίωση του κυρίαρχου ποδιού του, μέσω του ερωτηματολογίου Waterloo Footedness Questionnaire (WFQ-R, ICC=0,92), όπως περιεγράφηκε προηγουμένως (Elias, et al., 1998). Μια εβδομάδα μετά όλοι οι δοκιμαζόμενοι

πραγματοποίησαν την 2^η και 3^η επίσκεψή τους στο εργαστήριο, με 3 μέρες κενό ανάμεσα, ώστε να γίνουν οι 2 συνεδρίες εξοικείωσης με τις αξιολογήσεις της μυϊκής ισχύος που περιλαμβάνονται στην έρευνα, δηλαδή το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση και την αξιολόγηση του ΡΕΔ και της ΜΙΔ των κάτω άκρων στην άσκηση πιέσεων ποδιών (πρέσα). Η μεθοδολογία των συγκεκριμένων αξιολογήσεων περιεγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 3.1.4. Μια εβδομάδα μετά, όλοι οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε 2 ομάδες με τυχαίο τρόπο, και πραγματοποίησαν τις 2 επόμενες επισκέψεις τους (4^η και 5^η), κατά τις οποίες τα μισά άτομα εκτελούσαν πρώτα τις αξιολογήσεις της μυϊκής ισχύος και έπειτα από 1 εβδομάδα την αξιολόγηση, μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων, της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίου μυός κατά την ηρεμία, σε ύπτια θέση, ενώ τα άλλα μισά άτομα εκτελούσαν τις ίδιες αξιολογήσεις αλλά με αντίθετη σειρά. Σε κάθε αξιολόγηση της μυϊκής ισχύος δίνονταν 3 ευκαιρίες ανά δοκιμαζόμενο, με 3 λεπτά ξεκούρασης ανάμεσα και 10 λεπτά ανάμεσα στις 2 αξιολογήσεις. Κατά την αξιολόγηση της ΤΑ (αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας έγινε στην ενότητα 3.1.5), καταγραφόταν σε ειδική καρτέλα το ακριβές σημείο, πάνω στον έξω πλατύ μηριαίο μυ, όπου πραγματοποιούνταν αυτή η εξέταση, σε σχέση με τον μείζονα τροχαντήρα, το γόνατο και την περιφέρεια του μηρού, ώστε να πραγματοποιηθεί στο ίδιο ακριβώς σημείο η δειγματοληψία του μυϊκού ιστού. Τέλος, 1 εβδομάδα μετά την 5^η συνεδρία, κατά την 6^η επίσκεψη, έγινε η δειγματοληψία μυϊκού ιστού, μέσω μυϊκής βιοψίας, από το ίδιο ακριβώς σημείο όπου πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της ΤΑ. Επειδή στην έρευνα αυτή θα συμμετάσχουν και έμπειροι αθλητές, η όλη πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε κατά τη μεταβατική περίοδο όπου δεν θα περιλαμβάνονται διάφορες αγωνιστικές υποχρεώσεις, αλλά ούτε και πολύ «βαριές» προπονήσεις, όπως αυτές κατά την περίοδο της προετοιμασίας τους.



Σχήμα 3.11. Πειραματικός σχεδιασμός της 2^{ης} έρευνας.

3.2.2. Περιγραφή δοκιμαζομένων δεύτερης έρευνας

Με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό της εν λόγω έρευνας (4 ομάδες Χ 1 μέτρηση) και τα αποτελέσματα των πιλοτικών μετρήσεων, η ανάλυση ισχύος της έρευνας φανέρωσε την ανάγκη συμμετοχής το λιγότερο 36 ατόμων, ισομερώς καταναμημένων σε κάθε ομάδα, ώστε η πραγματική ισχύς (actual power) των αποτελεσμάτων της να είναι της τάξεως του 0,936. Έστερα από αναρτημένη ανακοίνωση σε γυμναστήρια, στη Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού των Αθηνών και σε συλλόγους κλασικού αθλητισμού της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, τα άτομα που ανταποκρίθηκαν συμπλήρωσαν το αναδρομικό εβδομαδιαίο ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας. Από αυτούς τους ανταποκρινόμενους, 38 νέοι άνδρες που πληρούσαν τα κριτήρια συμμετοχής εντάχθηκαν στην έρευνα, και χωρίστηκαν σε τέσσερις ομάδες σύμφωνα με το είδος της συστηματικής προπόνησής τους. Επομένως, οι πειραματικές ομάδες της προκείμενης έρευνας ήταν: (1) Αρχάριοι (n=10), όπου συγκαταλέγονταν οι δοκιμαζόμενοι οι οποίοι δεν πραγματοποιούν κανένα είδος συστηματικής προπόνησης, ως ομάδα ελέγχου, (2) Μαραθωνοδρόμων (n=9), όπου συμμετείχαν αθλητές που πραγματοποιούσαν συστηματικά προπόνηση και συμμετείχαν σε αγώνες μαραθωνίου (μέσος όρος επίδοσης 2 ώρες και 52λεπτά $\pm$ 10.15 λεπτά), (3) Ισχύος (n=10) όπου συγκαταλέγονταν άτομα που πραγματοποιούσαν συστηματικά προπόνηση ισχύος, εκ των οποίων 5 ήταν δρομείς 100μ (μέσος όρος επίδοσης 10:80 $\pm$ 0:20δευτ), 3 δρομείς 200μ (μέσος όρος επίδοσης 21:39 $\pm$ 0:24 δευτ) και 2 άλτες μήκους (μέσος όρος επίδοσης 7,23 $\pm$ 0,40μ) κι τέλος (4) Δύναμης (n=9) με άτομα που συμμετείχαν συστηματικά σε βαριά προπόνηση δύναμης, και εκτελούσαν συστηματικά 3 έως 6 σειρές των 1 έως 6 ΜΑΕ, σε ασκήσεις ολυμπιακού τύπου και πολυαρθρικές ασκήσεις για τις μεγάλες μυϊκές ομάδες. Παράλληλα με τα λοιπά κριτήρια συμμετοχής στην έρευνα, οι συμμετέχοντες στις ομάδες Μαραθωνοδρόμων και Ισχύος, έπρεπε να συμμετέχουν στους πρόσφατους Πανελλήνιους Αγώνες. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες σε αυτές τις ομάδες κατατάχθηκαν μεταξύ της 2^{ης} και 15^{ης} θέσης στους τελευταίους Πανελλήνιους Αγώνες. Για την συμμετοχή στην έρευνα οι υποψήφιοι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να πληρούν και τα παρακάτω κριτήρια, εκτός αυτών που αναφέρονται στην σελίδα 75:

1. Τα άτομα που αποτελούσαν την ομάδα των Αρχαρίων θα έπρεπε να μην έχουν πραγματοποιήσει κάποιο είδος συστηματικής προπόνησης για τουλάχιστον 2 χρόνια πριν την συμμετοχή τους στην έρευνα.
2. Τα άτομα τα οποία αποτελούσαν τις υπόλοιπες 3 ομάδες θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον 5 χρόνια αποδεδειγμένης, συνεχόμενης συστηματικής προπόνησης στο είδος της ομάδας τους.
3. Τα άτομα της ομάδας Ισχύος, Δύναμης και Αερόβιας έπρεπε να μην βρίσκονται σε περίοδο προετοιμασίας ή αγωνιστικών υποχρεώσεων ή «βαρέων» προπονήσεων.
4. Σε περίπτωση προηγούμενης αλλεργικής αντίδρασης στην ξυλοκαΐνη αποκλείονταν από τη μελέτη.

3.2.3. Αξιολόγηση σύστασης σώματος

Η αξιολόγηση της σύστασης του σώματος κάθε δοκιμαζομένου της 2^{ης} έρευνας έγινε μέσω της τεχνική της απορροφησιμετρίας διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων X (DXA; μοντέλο DPX-L LUNAR Radiation, General Electrics, Madison, WI, USA). Κάθε μέρα, πριν αρχίσει η προσέλευση των δοκιμαζομένων, πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του μηχανήματος. Έπειτα από την βαθμονόμηση και τον ερχομό του κάθε δοκιμαζομένου, υπήρχε μια περίοδος ανάπαυσης 10 λεπτών. Στη συνέχεια, αφού τοποθετούταν σωστά ο εξεταζόμενος, σύμφωνα με προηγούμενες υποδείξεις (Kullberg, et al., 2009; Lantz et al., 1999; Miller, 2012) δινόταν η εντολή στον υπολογιστή να αρχίσει η διαδικασία της σάρωσης, η οποία διαρκούσε περίπου 15-30 λεπτά, ανάλογα με τη μάζα και το ανάστημα του κάθε ατόμου. Όταν ολοκληρωνόταν όλη η διαδικασία, θα σειρά είχε η ανάλυση των



Σχήμα 3.12. Το μηχάνημα της απορροφησιμετρίας διπλοενεργειακής δέσμης ακτίνων X (DXA) και η τοποθέτηση των δοκιμαζομένων.

δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις, μέσω του προγράμματος του DXA σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (Lunar Radiation Composition, General Electrics, Madison, WI, USA), από 2 διαφορετικούς αξιολογητές, σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του μηχανήματος και την σχετική βιβλιογραφία (Ball et al., 2004; Garlie et al., 2010; Lantz, et al., 1999; Pang & Eng, 2005). Ο δείκτης ICC της μέτρησης

ελέγχθηκε μέσα από την αξιολόγηση 13 ατόμων (Zaras, et al., 2014; Zaras et al., 2015) και ανερχόταν στο 0,98 για την άλιπη μάζα των ποδιών (95% CI: Lower = 0.95, Upper = 0.99), 0,93 για την συνολική άλιπη μάζα (95% CI: Lower = 0.89, Upper = 0.97), 0,90 για το ποσοστό του συνολικού λίπους (95% CI: Lower = 0.85, Upper = 0.96) και στο 0,94 για το ποσοστό λίπους των κάτω άκρων (95% CI: Lower = 0.88, Upper = 0.98), $p < 0.0001$; $n = 13$), τιμές οι οποίες είναι σχεδόν εφάμιλλες με αυτές που έχουν αναφερθεί στην διεθνή βιβλιογραφία (Ball, et al., 2004; Garlie, et al., 2010).

3.2.4. Αξιολόγηση της ισχύος, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της μέγιστης ισομετρική δύναμης και της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες

Η μεθοδολογία των αξιολογήσεων της μυϊκής ισχύος που περιλαμβάνονται στην έρευνα, δηλαδή το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση και την αξιολόγηση του ΡΕΔ και της ΜΙΔ των κάτω άκρων στην άσκηση πιέσεων ποδιών (πρέσα), περιεγράφηκαν αναλυτικά στην ενότητα 3.1.4. Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας της αξιολόγησης της ΤΑ έγινε στην ενότητα 3.1.5.

3.2.5. Εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας

Για την τεκμηρίωση της φυσικής κατάστασης και υγείας των αθλητών που συμμετείχαν σε αυτή την έρευνα, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της αερόβιας ικανότητας, μέσω ενός πρωτόκολλου προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης μέχρι εκούσιας εξάντλησης, για τον καθορισμό της μέγιστης αερόβιας ικανότητας, ο προσδιορισμός της οποίας έγινε μέσω μεταβολικής εξίσωσης (Uth et al., 2004). Το πρωτόκολλο που επιλέχτηκε ήταν μορφής συνεχούς επιβάρυνσης πολλαπλών σταδίων, η ένταση του οποίου αυξάνεται προοδευτικά και κλιμακωτά σε προκαθορισμένο χρόνο, χωρίς να υπάρχει διακοπή μεταξύ των επιμέρους σταδίων (Bosquet et al., 2002; G. D. Harris, 2009; Miller, 2012; Robergs, 2007). Συγκεκριμένα, έπειτα από την προθέρμανση, όλοι οι δοκιμαζόμενοι αναπαύονταν για 5 λεπτά. Έπειτα ξεκινούσαν το πρωτόκολλο, με την ταχύτητα να ορίζεται στα 10χλμ/ώρα με κλίση 2%.

Πίνακας 3.5. Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων 2^{ης} έρευνας.

	Αρχάριοι (n=10)	Μαραθωνοδρόμοι (n=9)	Ισχύος (n=10)	Δύναμης (n=9)
Ηλικία (έτη)	24,6 ± 3,9	29,6 ± 5,0**	25,1 ± 4,44	26,2 ± 2,2
Μήνες Συστηματικής Προπόνησης*	0**	56,8 ± 10,7	54,3 ± 5,5	51,6 ± 7,1
Συχνότητα Προπονήσεων/Εβδ.*	0**	5,8 ± 0,7	6,3 ± 0,5	5,7 ± 1,1
Όγκος Προπόνησης Αντιστάσεων/Εβδ.(Τ)*	0 [#]	20,2 ± 9,6 [#]	45,8 ± 11,1 [#]	100 ± 20,5 [#]
Όγκος Αερόβιας Προπόνησης /Εβδ.(Κm)*	0 [#]	230,5 ± 50,4 [#]	50,3 ± 13,9 [#]	44,9 ± 7,7 [#]
Διάρκεια Προπονητικής Μονάδας (min)*	0**	130,3 ± 20,9	114,5 ± 26,6	120,1 ± 10,2
Ύψος (cm)	177,8 ± 4,2	179,6 ± 3,4	180,2 ± 2,7	181,4 ± 3,6
Βάρος (Kg)	81,6 ± 12,0 [#]	76,4 ± 4,6 [#]	84,2 ± 10,5 [#]	87,1 ± 8,9 [#]
Ποσοστό Λίπους (%)	18,8 ± 6,6**	10,1 ± 2,9**	14,5 ± 6,5	14,8 ± 3,6
Συνολική Άλιπη Μάζα (Kg)	62,1 ± 6,1	61,7 ± 2,6	67,3 ± 5,6**	70,2 ± 3,9**
Άλιπη Μάζα Κάτω Άκρων (Kg)	22,1 ± 2,6 [#]	19,1 ± 1,38 [#]	24,5 ± 2,4 [#]	26,8 ± 3,3 [#]
Προβλεπόμενη VO _{2peak} (ml·Kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	45,1 ± 3,47**	68,9 ± 5,9**	53,4 ± 3,2	53,3 ± 2,9

Οι τιμές εκφράζονται ως μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση. (*) Δεδομένα από το εβδομαδιαίο αναδρομικό ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας. Με (**) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σηματομενών ομάδων και των υπόλοιπων, ενώ με (#) οι στατιστικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων μεταξύ τους. Τέλος με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων, εκτός από την σύγκριση των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων. p<0.05.

Κάθε λεπτό η ταχύτητα αυξανόταν κατά 1χλμ/ώρα, ενώ η κλίση παρέμενε σταθερή, μέχρι και την ολοκλήρωση του 10^{ου} λεπτού, όπου άρχιζε και η διαφοροποίηση της κατά 2% κάθε 2 λεπτά (Bosquet, et al., 2002; G. D. Harris, 2009; Miller, 2012; Robergs, 2007). Κάθε λεπτό της δοκιμασίας καταγράφονταν η καρδιακή συχνότητα, η συστολική και διαστολική πίεση και η υποκειμενική

αντίληψη της κόπωσης, μέσω της 20βάθμιας κλίμακας του Borg (Borg, 1982; Irving et al., 2006). Παράλληλα, κάθε λεπτό υπολογιζόταν η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) σε $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$, μέσω της εξίσωσης (Uth, et al., 2004): $\text{VO}_2 = 15 \cdot (\text{Καρδιακή συχνότητα λεπτού} \cdot \text{Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας}^{-1})$. Η συγκεκριμένη εξίσωση έχει ελεγχθεί αρκετές φορές για την αξιοπιστία της στη βιβλιογραφία, όπου διαπιστώνονται συσχετίσεις μεταξύ των τιμών που αποδίδει και αυτών που καταγράφονται από εργοσπιρόμετρο της τάξεως του 0,890 έως 0,920, δίνοντας μια απόκλιση από τις πραγματικές περίπου κατά $\pm 0,28 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (Bosquet, et al., 2002; Glass & Dwyer, 2007; G. D. Harris, 2009; Uth, et al., 2004). Η δοκιμασία τερματιζόταν όταν ο δοκιμαζόμενος έφτανε σε εξάντληση ή όταν μας ζητούσε να σταματήσει ή όταν πληρούνταν τα κριτήρια τερματισμού της δοκιμασίας (Glass & Dwyer, 2007; Gordon, 2009; Pescatello, 2014).

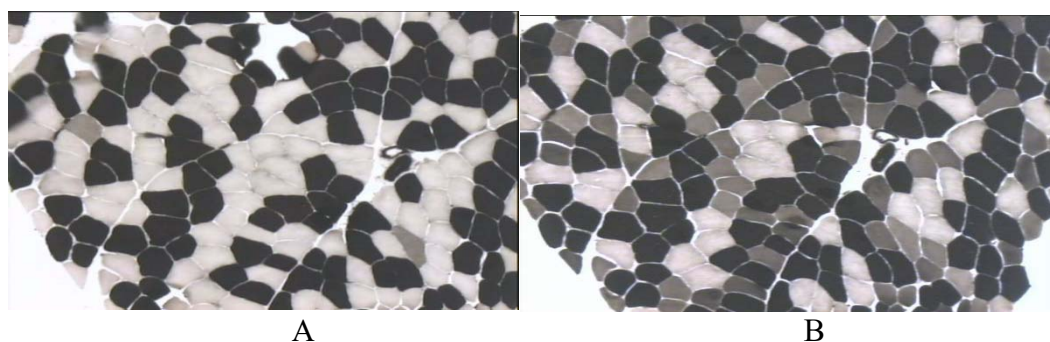
Όταν έστω ένα από τα κριτήρια παρουσιαζόταν η δοκιμασία ολοκληρωνόταν και καταγράφονταν η καρδιακή συχνότητα, η αρτηριακή πίεση και η υπολογισμένη κατανάλωση οξυγόνου του προηγούμενου ολοκληρωμένου λεπτού από τον τερματισμό της δοκιμασίας (Bosquet, et al., 2002; G. D. Harris, 2009; Miller, 2012; Robergs, 2007). Η καρδιακή συχνότητα (Κ.Σ.) και η υπολογισμένη κατανάλωση οξυγόνου του τελευταίου ολοκληρωμένου λεπτού τεκμηριώνονταν ως μέγιστη καρδιακή συχνότητα (Μ.Κ.Σ) και μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) αντίστοιχα. Μετά το τέλος της δοκιμασίας, πραγματοποιούνταν αποθεραπεία διάρκειας 10 λεπτών, με προοδευτικά επιβραδυνόμενη ταχύτητα, όπου και πάλι καταγράφονταν η καρδιακή συχνότητα, η συστολική και διαστολική πίεση και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης, μέσω της 20βάθμιας κλίμακας του Borg, ώστε να τεκμηριωθεί ο ρυθμός ανάκαμψης της καρδιακής συχνότητας [$\text{P.A.K.Σ} = (\text{ΜΚΣ} - \text{ΚΣ}_{1 \text{ λεπτό μετά το τέλος της δοκιμασίας}}) \cdot 10^{-1}$], ο οποίος αποδίδει το επίπεδο φυσικής κατάστασης του κάθε ασκούμενου (Glass & Dwyer, 2007; Gordon, 2009), καθώς και η ομαλή επαναφορά του στα φυσιολογικά, προ της δοκιμασίας, επίπεδα.

3.2.6. Δειγματοληψία και ανάλυση μυϊκού ιστού

Στην έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία μυϊκού ιστού από το ίδιο ακριβώς σημείο του έξω πλατύ μηριαίου μυ του κυριάρχου ποδίου, με αυτό που είχε πραγματοποιηθεί και η αξιολόγηση της ΤΑ. Όλες οι βιοψίες λήφθηκαν από γιατρό και σύμφωνα με την διαδικασία της βιοψίας με βελόνα, (Bergstrom, 1962), και μάλιστα με την χρήση της τεχνικής της αναρρόφησης, για την λήψη μεγαλύτερου δείγματος (Evans, et al., 1982), μετά από τοπική αναισθησία. Το δείγμα της βιοψίας αποθηκευόταν άμεσα σε υγρό άζωτο μέχρι την ώρα των αναλύσεων.

Όλα τα δείγματα των βιοψιών υποβλήθηκαν σε ιστοχημική χρώση της ΑΤΡάσης σε pH 4.3, 4.6 και 10.3, αφού είχαν κοπεί μέσα σε κρυοτόμο σε τομές των 8-10 μm και οι τομές είχαν τοποθετηθεί σε ειδικά εργαστηριακά πλακίδια δοκιμών, έτσι ώστε να γίνει διαχωρισμός των μυϊκών ινών τύπου I, Ια και Ιχ (Brooke & Engel, 1969; Brooke & Kaiser, 1970a, 1970b; Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007). Έπειτα από την πραγματοποίηση των παραπάνω χρώσεων, όλα τα δείγματα ψηφοποιούνταν μέσω της χρήσης μικροσκοπίου και ειδικού προγράμματος μορφομετρίας (ImagePro, Media Cybernetics Inc, Silver Spring, MD, USA).

Έπειτα ακολουθούσε η ανάλυση του ποσοστού, του CSA και του %CSA, αλλά και της μικρότερης διαμέτρου, και των παραγόντων υπερτροφίας (μόνο για την 2^η έρευνα) των μυϊκών ινών ανά τύπο, όπως έχει προηγουμένως περιγραφεί (Brooke & Engel, 1969; Brooke & Kaiser, 1970a, 1970b; Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007). Τέλος, στην 2^η έρευνα, αναλύθηκε και η μικρότερη διάμετρος των μυϊκών ινών καθώς και οι παράγοντες ατροφίας και υπερτροφίας, τόσο για το σύνολο των μυϊκών ινών, όσο και για τον κάθε τύπο των μυϊκών ινών ξεχωριστά, έτσι όπως έχουν προηγουμένως αναφερθεί (Dubowitz & Sewry, 2007). Ο δείκτης αξιοπιστίας της ποσοστιαίας κατανομής των μυϊκών ινών έχει εξεταστεί σε προηγούμενη μελέτη του εργαστηρίου μας και ανέρχεται σε 0,96, 0,95 και 0,93 για τις μυϊκές ίνες τύπου I, Ια και Ιχ αντίστοιχα (Terzis, et al., 2010).



Σχήμα 3.13: (Α) διαχωρισμός των ινών λόγω του διαλύματος με pH 4,3, στο οποίο οι μαύρες ίνες είναι τύπου I ενώ οι λευκές είναι τύπου II, και (Β) διαχωρισμός των ινών λόγω του διαλύματος με pH 4,6, στο οποίο οι μαύρες ίνες είναι τύπου I, οι γκριζες τύπου Ιχ, ενώ οι λευκές είναι τύπου Ια (Brooke & Engel, 1969; Brooke & Kaiser, 1970a, 1970b; Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007).

3.2.7. Στατιστική ανάλυση

Αρχικά πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Ισχύος (Power Analysis), μέσω του στατιστικού προγράμματος G*Power έκδοση 3.1 (Frank Faul, Universitat Kiel, Germany), για την ανεύρεση του απαραίτητου αριθμού συμμετεχόντων, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παραγράφο.

Η ανάλυση των αρχικών δεδομένων της αξιολόγησης της ΤΑ περιελάμβανε περιγραφική στατιστική, όπου όλες οι ακραίες τιμές, καθώς και αυτές που απέχουν πέραν των ± 2 τυπικών αποκλίσεων από τον μέσο όρο, διαγράφονταν (Blijham, et al., 2007). Παράλληλα, μέσα από την κατανομή συχνοτήτων των τιμών κάθε δοκιμαζομένου υπολογίζονταν όλες οι παράμετροι της ΤΑ, έτσι όπως περιγράφηκε και παραπάνω (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham, 2007; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Farina, et al., 2007; Kereshi, et al., 1983; Linssen, et al., 1991; Nandedkar & Stålberg, 1983b; Naumann & Reiners, 1996b; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995c).

Η στατιστική ανάλυση της έρευνας περιελάμβανε περιγραφική στατιστική με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, και την ανάλυση διασποράς για ανεξάρτητα δείγματα (One-Way Anova), για την διερεύνηση των διαφορών μεταξύ των 4 πειραματικών ομάδων της έρευνας αυτής, όπου όταν διαπιστωνόταν σημαντική διαφορά εφαρμοζόταν το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni. Παράλληλα,

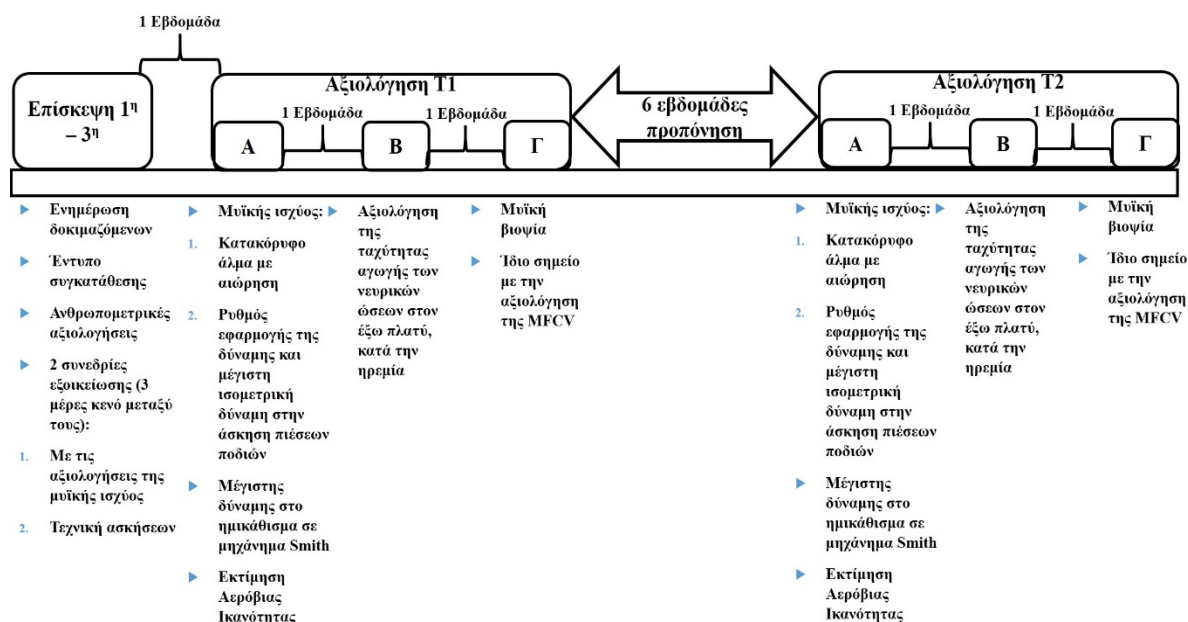
στην εν λόγω έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης συσχέτισης του Pearson και της μερικής συσχέτισης (Partial Correlations). Χρησιμοποιήθηκε επίσης η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης για την διερεύνηση εξισώσεων πρόβλεψης των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών από τις παραμέτρους της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος. Για την διερεύνηση της εγκυρότητας, της αξιοπιστίας και της επαναληψιμότητας των πιθανών εξισώσεων που παρήχθησαν χρησιμοποιήθηκαν: (1) ο δείκτης ICC (Watkins & Portney, 2009), (2) ο SEM, (3) ο CV, (4) ο δείκτης LOA, (5) ο SEL, (6) το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας (CILOA), (7) ο RC (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986; Bruton, et al., 2000) και (8) η ανάλυση Chi-Square Goodness of Fit Test (ανάλυση για το πώς υπολογίζεται ο κάθε συντελεστής παρουσιάζονται σε προηγούμενη ενότητα, στη μεθοδολογία της 1^{ης} έρευνας). Είναι γενικά αποδεκτό πως τιμές ICC πάνω από 0,800, CV μικρότερο του 10%, μέσου όρου διαφοράς κοντά στο 0, μικρές τιμές ή/και εύρη τιμών για τις αναλύσεις του LOA, μικρό τυπικό σφάλμα και συντελεστής επαναληψιμότητας είναι δείκτες υψηλής αξιοπιστίας, εγκυρότητας και επαναληψιμότητας των μετρήσεων (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986). Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων της εν λόγω έρευνας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικών εφαρμογών SPSS for Windows, Ver. 21 (IBM Corporation, USA). Σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις το επίπεδο σημαντικότητας (P) ορίστηκε το 0,05.

3.3. Μεθοδολογία τρίτης εργασίας

3.3.1. Ερευνητικός σχεδιασμός τρίτης έρευνας

Στην τρίτη έρευνα οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν με τυχαίο τρόπο σε δύο ομάδες, εκ των οποίων η μία πραγματοποιούσε το πρωτόκολλο της προπόνησης ισχύος μόνο, ενώ η άλλη πραγματοποιούσε το ίδιο πρωτόκολλο της προπόνησης ισχύος, με την προσθήκη στο τέλος της προπόνησης και αερόβιας άσκησης, διάρκειας 30 λεπτών στο 60% -70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας. Κατά την πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε η ενημέρωση και η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Η συνολική διάρκεια της παρέμβασης ήταν 6 εβδομάδες και κάθε δοκιμαζόμενος πραγματοποιούσε 3 προπονητικές μονάδες ανά εβδομάδα (σύνολο 18 προπονητικές μονάδες). Πριν (T1) και μετά (T2) το τέλος της παρέμβασης πραγματοποιήθηκαν οι αξιολογήσεις και επανααξιολογήσεις που περιλαμβάνονταν στην προκείμενη έρευνα. Επίσης, 1 εβδομάδα πριν την έναρξη των αρχικών αξιολογήσεων, πραγματοποιήθηκαν 2 συνεδρίες εξοικείωσης (3 μέρες κενό μεταξύ τους) με τις αξιολογήσεις της μυϊκής ισχύος, δηλαδή το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση, και την αξιολόγηση του ΡΕΔ και της ΜΙΔ των κάτω άκρων στην άσκηση πιέσεων ποδιών (η μεθοδολογία των συγκεκριμένων αξιολογήσεων περιεγράφηκε αναλυτικά στην ενότητα 3.1.4), της μέγιστης δύναμης στο ημικάθισμα σε μηχανήμα Smith, καθώς και της τεχνικής των ασκήσεων που θα χρησιμοποιηθούν στην εν λόγω έρευνα. Μία εβδομάδα μετά το τέλος των αξιολογήσεων της μυϊκής ισχύος, κατά τις T1 και T2 χρονικές στιγμές, πραγματοποιούνταν και η αξιολόγηση, μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων, της ΤΑ (αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας έγινε στην ενότητα 3.1.5) του έξω πλατύ μηριαίου μυός κατά την ηρεμία, με τα άτομα σε ύπτια θέση, ακολουθούμενη, έπειτα από μια εβδομάδα, από την δειγματοληψία του μυϊκού ιστού, μέσω μυϊκής

βιοψίας, από το ίδιο ακριβώς σημείο όπου πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της ΤΑ



Σχήμα 3.14. Πειραματικός σχεδιασμός της 3^{ης} έρευνας.

3.3.2. Περιγραφή δοκιμαζομένων τρίτης έρευνας

Για τη διερεύνηση του δείκτη Μεγέθους Επίδρασης (Effect Size) της προπόνησης ισχύος που ακολουθήθηκε στην τρίτη έρευνα στην ΤΑ, πραγματοποιήθηκε πιλοτική έρευνα 6 εβδομάδων στην οποία συμμετείχαν 8 νεαρές φοιτήτριες Φυσικής Αγωγής. Η ανάλυση των δεδομένων φανέρωσε ότι αυτό το πρωτόκολλο της προπόνησης ισχύος προκάλεσε αύξηση στην μέση ΤΑ, προσδίδοντας έναν δείκτη Μεγέθους Επίδρασης [ME = (Μέσος όρος της επαναμέτρησης - Μέσος όρος της αρχικής μέτρησης) · Τυπική απόκλιση της αρχικής μέτρησης⁻¹] της τάξεως του 1,595, που σύμφωνα με την Rhea θεωρείται για αυτά τα άτομα αρκετά μεγάλος (Rhea, 2004).

Με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό της εν λόγω έρευνας (2 ομάδες X 2 μετρήσεις) και τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας, η ανάλυση ισχύος της έρευνας φανέρωσε την ανάγκη συμμετοχής το λιγότερο 16 ατόμων, ισομερώς κατανεμημένων σε κάθε ομάδα, ώστε η πραγματική ισχύς (actual power) των αποτελεσμάτων της να είναι της τάξεως του 1.

Επομένως, στην εν λόγω έρευνα συμμετείχαν 17 και ολοκλήρωσαν τελικά 15 μέτρια γυμνασμένες γυναίκες, φοιτήτριες της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ($21,6 \pm 2,2$ ετών, $166,3 \pm 5,4$ εκ. ύψος και βάρος $57,6 \pm 6,8$ Kg), οι οποίες χωρίστηκαν στις 2 πειραματικές ομάδες: Ομάδα Ισχύος (Π.Ι.; αρχικά $n = 8$ και τελικά $n = 6$) και Ομάδα Ισχύος-Αερόβιας (Π.Ι.Α.; $n = 9$). Οι δύο κοπέλες που δεν ολοκλήρωσαν την έρευνα, η μία σταμάτησε λόγω φόρτου μαθημάτων και η άλλη λόγω του ότι δεν ήθελε να κάνει την 2^η βιοψία. Αποτέλεσμα αυτών των αποχωρήσεων η πραγματική ισχύς των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας έπεσε στο 0,954. Στην έρευνα αυτή προτιμήθηκαν γυναίκες, με αφορμή του ότι οι αρχάριες γυναίκες

παρουσιάζουν μεγάλη ομοιογένεια στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος σε σχέση με τους άνδρες (Jozsi, et al., 1999; Kanehisa, et al., 1994; J. L. Mayhew & Salm, 1990; Perez-Gomez, et al., 2008), οι άνδρες και οι γυναίκες έχουν ίδιο σχεδόν λόγο F/S (λεπτομέρειες στον πίνακα 2.2), ενώ υπάρχουν πολύ λίγα δεδομένα για τις προπονητικές προσαρμογές της προπόνησης ισχύος στην λειτουργία και μορφολογία των μυών. Παράλληλα, η υπερτροφία των μυών μέσα από την προπόνηση, φαίνεται ότι είναι η ίδια μεταξύ των δύο φύλων, τουλάχιστον τις πρώτες εβδομάδες εφαρμογής της, ενώ πιθανόν η μετατροπή των ινών ΙΙχ σε ΙΙα να είναι γρηγορότερη στις γυναίκες (Staron et al., 1994). Τέλος, είναι γνωστό ότι η ΤΑ, είναι ελαφρώς μικρότερη στις γυναίκες σε σχέση με τους άνδρες (Blijham, et al., 2011; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Martínez A Cruz, 1988; Hopf, et al., 1974; McIntosh & Gabriel, 2012; Mitrovic, et al., 1999; Naumann & Reiners, 1996a; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995a, 1995b; Vogt & Fritz, 2006). Επομένως, υπόθεση της παρούσας έρευνας ήταν ότι οι διάφορες προπονητικές προσαρμογές θα μπορούν να ανιχνευτούν πιο γρήγορα και ευκολότερα, εάν ελεγχθούν σε γυναίκες. Για την συμμετοχή στην έρευνα οι υποψήφιοι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να πληρούν και τα παρακάτω κριτήρια:

1. Να μην έχουν πραγματοποιήσει κάποιο είδος συστηματικής προπόνησης για τουλάχιστον 2 χρόνια πριν την συμμετοχή τους στην έρευνα.
2. Να είναι μεταξύ 18 έως 25 ετών.
3. Σε περίπτωση προηγούμενης αλλεργικής αντίδρασης στην ξυλοκαΐνη αποκλείονταν από τη μελέτη.

3.3.3. Αξιολόγηση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών, της ισχύος, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, της μέγιστης ισομετρική δύναμης, της αερόβιας ικανότητας, της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες και της κατανομής των μυϊκών ινών

Η μεθοδολογία για την αξιολόγηση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.1.3. Η μεθοδολογία των αξιολογήσεων της μυϊκής ισχύος που περιλαμβάνονται στην έρευνα, δηλαδή το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση και την αξιολόγηση του ΡΕΔ και της ΜΙΔ των κάτω άκρων στην άσκηση πιέσεων ποδιών (πρέσα), περιεγράφηκαν αναλυτικά στην ενότητα 3.1.4. Αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας της αξιολόγησης της ΤΑ έγινε στην ενότητα 3.1.5. Η αερόβια ικανότητα εκτιμήθηκε όπως ακριβώς περιεγράφηκε στην ενότητα 3.2.5. Η μεθοδολογία της αξιολογήσεως της κατανομής των μυϊκών ινών παρουσιάστηκε στη ενότητα 3.2.6.

3.3.4. Αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης (1ΜΑΕ)

Η αξιολόγηση της μέγιστης μυϊκής δύναμης πραγματοποιήθηκε στην 3^η έρευνα, στην άσκηση ημικάθισμα σε μηχάνημα Smith όπως έχει προηγουμένως οριστεί (Baechle & Earle, 2008). Έπειτα από την προθέρμανση, που αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα, δίνονταν προφορικές οδηγίες σε κάθε δοκιμαζόμενο για τον τρόπο τοποθέτησής του στο μηχάνημα, καθώς και για τον τρόπο εκτέλεσης της άσκησης (κίνηση, αναπνοές κατά την εκτέλεση των επαναλήψεων, ταχύτητα κίνησης, διαλείμματα). Στη συνέχεια η δοκιμαζόμενη τοποθετούταν στο μηχάνημα

και ρυθμιζόταν η θέση του. Για την σωστή διεξαγωγή της μέτρησης αυτής τοποθετούταν πίσω από τους ασκούμενους ένα ρυθμιζόμενο εμπόδιο που θα οριοθετεί την κατώτατη (τελική) γωνία που θα σχημάτιζαν τα γόνατά τους στις 90° (Baechle & Earle, 2008). Από την όρθια θέση οι δοκιμαζόμενοι δέχονταν το φορτίο στους τραπεζοειδείς και εκτελούσαν κάθισμα μέχρι να ακουμπήσουν στο εμπόδιο. Από εκεί επανέφεραν το φορτίο στην αρχική του θέση. Έπειτα από 5 λεπτά ξεκούρασης, κάθε δοκιμαζόμενος εκτελούσε ορισμένες επαναλήψεις στο μηχάνημα χωρίς αντίσταση, για εξοικείωση. Επόμενο στάδιο ήταν η διαδικασία του προσδιορισμού της ΙΜΑΕ. Η αντίσταση αυξανόταν προοδευτικά μέχρι να είναι αδύνατη η υπερνίκηση της εξωτερικής επιβάρυνσης (Baechle & Earle, 2008). Το διάλειμμα μεταξύ των σειρών ήταν 3 λεπτά. Σε κάθε εξεταζόμενο δινόταν προφορική ενθάρρυνση για την επίτευξη του καλύτερου αποτελέσματος. Η αντίσταση καταγραφόταν στην ατομική καρτέλα του ατόμου. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ο κάθε δοκιμαζόμενος ξεκουραζόταν περίπου 15 λεπτά, μέχρι την επόμενη αξιολόγηση. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες του εργαστηρίου μας, η αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης μέσω της δοκιμασίας αυτής έχει δείκτη αξιοπιστίας από 0,920 (Terzis, et al., 2010) έως 0,980 (Zaras, et al., In Press).

3.3.5. Προπονητικό πρωτόκολλο

Στην 3^η έρευνα πραγματοποιήθηκε ένα προπονητικό πρόγραμμα παρέμβασης διάρκειας 6 εβδομάδων, κατά το οποίο κάθε δοκιμαζόμενη εκτελούσε 3 προπονητικές μονάδες ανά εβδομάδα (σύνολο 18 προπονητικές μονάδες). Η μια πειραματική ομάδα πραγματοποιούσε προπόνηση ισχύος και η δεύτερη το ίδιο πρωτόκολλο προπόνησης ισχύος, με την προσθήκη, μετά το τέλος της προπόνησης ισχύος, και μιας μέτριας έντασης αερόβιας άσκησης διάρκειας 30 λεπτών στο 50%-70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (Μ.Κ.Σ.), η οποία είχε τεκμηριωθεί κατά την αξιολόγηση εκτίμησης της μέγιστης αερόβιας ικανότητας. Τις πρώτες 2 εβδομάδες οι δοκιμαζόμενες της ομάδας της αερόβιας προπόνησης πραγματοποιούσαν την άσκηση στο 60% της Μ.Κ.Σ., και τις 2 τελευταίες στο 70%. Το πρόγραμμα ισχύος περιελάμβανε, κατά την 1^η και 3^η προπονητική μονάδα, την πραγματοποίηση της άσκησης του ημικαθίσματος σε μηχάνημα Smith. Κατά την πραγματοποίηση αυτής της άσκησης, όλοι οι δοκιμαζόμενοι εκτελούν μόνο την έκκεντρη φάση της κίνησης, δηλαδή από όρθια θέση δέχονταν την επιβάρυνση, η οποία κυμαινόταν μεταξύ 40 % (τις πρώτες 2 εβδομάδες) έως 65% της ΙΜΑΕ (τις 2 τελευταίες εβδομάδες), και κατέβαιναν δυναμικά μέχρι τις 90° κάμψη γόνατος, όπου και σταματούσαν απότομα την κίνηση, με την πραγματοποίηση μιας μικρής ισομετρικής άσκησης διάρκειας 2-3 δευτερολέπτων. Στη συνέχεια το βάρος ανέβαινε με μηχανικό τρόπο, χωρίς την προσπάθεια του ασκούμενου, στην αρχική θέση, διαδικασία που κρατούσε 3 δευτερόλεπτα, ενώ αμέσως μετά από 10 δευτερόλεπτα πραγματοποιούσε την επόμενη προσπάθεια. Κάθε δοκιμαζόμενος εκτελούσε έξι (6) σειρές των δύο (2) επαναλήψεων με διάλειμμα 3 λεπτών μεταξύ των σειρών. Κατά την διάρκεια των διαλειμμάτων οι δοκιμαζόμενοι θα πραγματοποιούν κάθε 1 λεπτό 3 μέγιστα επιτόπια άλματα με αιώρηση (CMJ).

Στην 2^η κατά σειρά προπονητική μονάδα, όλοι οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποιούσαν 8 σειρές των 3 επαναλήψεων στην άσκηση CMJ και 8 σειρές

των 3 αλμάτων βάθους (20-40εκ. ύψος πλυνθίου; 20εκ τις πρώτες 2 εβδομάδες και τις τελευταίες 2 εβδομάδες έφτασαν προοδευτικά τα 40εκ.). Όλα τα άλματα εκτελούνταν με μέγιστη προσπάθεια-ένταση. Παράλληλα, όλα τα άλματα πραγματοποιούνταν πάνω σε τάπητα επαφής (contact mat; Tesys Suite Ergo System, Globus Sport & Health Technologies, Italy), ώστε να υπάρχει ανατροφοδότηση προς τους δοκιμαζόμενους για την μέγιστη δυνατή προσπάθεια τους καθ' όλη την διάρκεια των αλμάτων

3.3.6. Στατιστική ανάλυση

Αρχικά πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Ισχύος (Power Analysis), μέσω του στατιστικού προγράμματος G*Power έκδοση 3.1 (Frank Faul, Universitat Kiel, Germany), για την ανεύρεση του απαραίτητου αριθμού συμμετεχόντων, όπως περιεγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

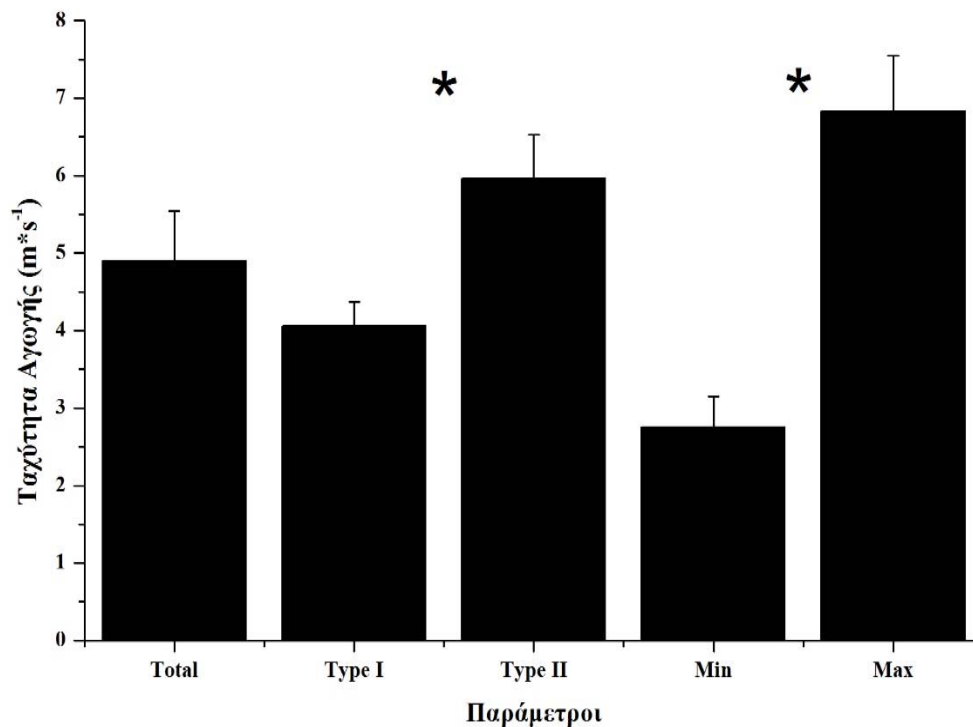
Η ανάλυση των αρχικών δεδομένων της αξιολόγησης της ΤΑ περιελάμβανε περιγραφική στατιστική, όπου όλες οι ακραίες τιμές, καθώς και αυτές που απέχουν πέραν των ± 2 τυπικών αποκλίσεων από τον μέσο όρο, διαγράφονταν (Blijham, et al., 2007). Παράλληλα, μέσα από την κατανομή συχνοτήτων των τιμών κάθε δοκιμαζομένου υπολογίζονταν όλες οι παράμετροι της ΤΑ, έτσι όπως περιεγράφηκε και παραπάνω (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Blijham, 2007; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Farina, et al., 2007; Kereshi, et al., 1983; Linssen, et al., 1991; Nandedkar & Stålberg, 1983b; Naumann & Reiners, 1996b; Sadoyama, et al., 1988; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995c).

Η στατιστική ανάλυση της έρευνας περιελάμβανε περιγραφική στατιστική με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, και την ανάλυση διασποράς για εξαρτημένα δείγματα ως προς δύο παράγοντες, εκ των οποίων ο ένας επαναλαμβανόμενος (Two-Way repeated ANOVA), όπου όταν διαπιστωνόταν σημαντική διαφορά εφαρμόζονταν το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων Bonferroni. Παράλληλα, εφαρμόστηκε ο έλεγχος t για εξαρτημένα δείγματα (Paired samples Student T-Test), για την διερεύνηση των διαφορών μεταξύ των 2 ομάδων στις αρχικές και τελικές μετρήσεις ξεχωριστά, καθώς και για την σύγκριση των ποσοστιαίων μεταβολών των μεταβλητών μεταξύ των 2 ομάδων. Υπολογίστηκε και ο παράγοντας επίδρασης (effect size) μέσω της ανάλυσης η^2 . Τέλος, στην εν λόγω έρευνα χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης συσχέτισης του Pearson. Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων της εν λόγω έρευνας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα στατιστικών εφαρμογών SPSS for Windows, Ver. 21 (IBM Corporation, USA). Σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις το επίπεδο σημαντικότητας (P) ορίστηκε το 0,05.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Αποτελέσματα πρώτης έρευνας

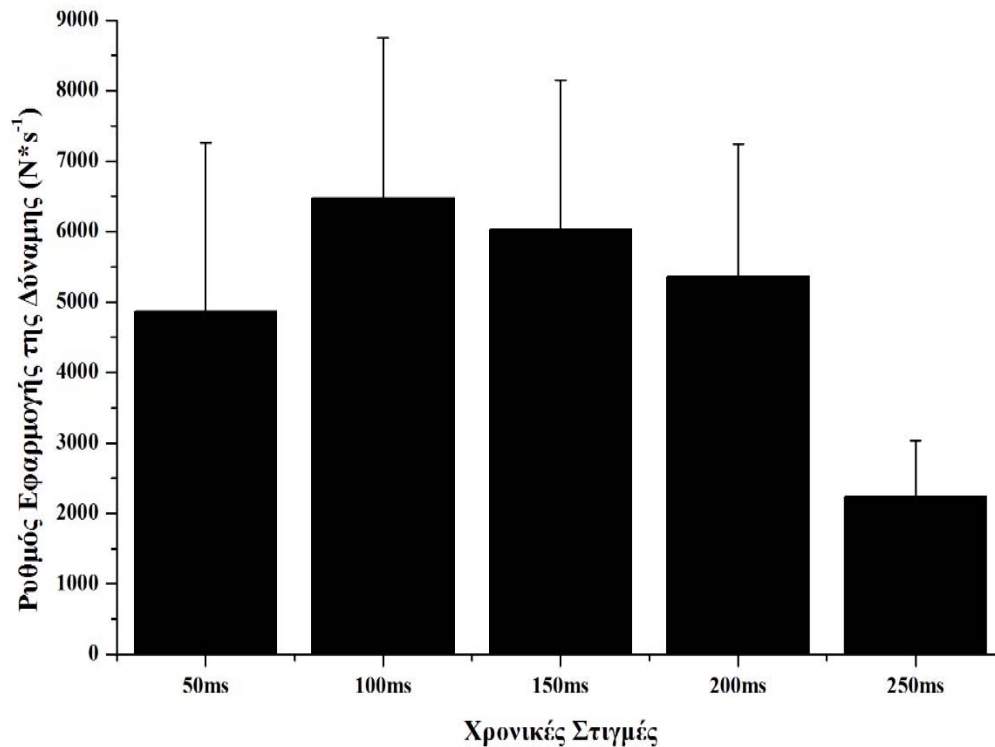
Στην παρούσα έρευνα, έπειτα από την περιγραφική στατιστική των αρχικών δεδομένων της αξιολόγησης της ΤΑ, αξιολογήθηκαν κατά μέσο όρο 53 ± 9 διαφορετικές μυϊκές ίνες ανά δοκιμαζόμενη (συνολικά 798 διαφορετικές ίνες). Από αυτές, και με βάση την δικόρυφη κατανομή των συχνοτήτων, 468 κατατάχθηκαν ως τύπου Ι ($TA_{Type\ I}$) και 330 ως τύπου ΙΙ ($TA_{Type\ II}$). Η μέση ΤΑ του έξω πλατύ ήταν $4,90 \pm 0,40 m \cdot sec^{-1}$. Η $TA_{Type\ I}$ και η $TA_{Type\ II}$ ήταν $4,06 \pm 0,21 m \cdot sec^{-1}$, and $5,96 \pm 0,39 m \cdot sec^{-1}$, αντίστοιχα, με στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ($p < 0,001$). Η TA_{min} ήταν $2,75 \pm 0,40 m \cdot sec^{-1}$, ενώ η TA_{max} ήταν $6,83 \pm 0,72 m \cdot sec^{-1}$ (σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις για τις παραμέτρους της ΤΑ του έξω πλατύ, 15 γυναικών της 1^{ης} έρευνας. Με (*) συμβολίζεται η στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των παραμέτρων.

Η μέγιστη ισομετρική δύναμη στην άσκηση πιέσεων ποδιών ήταν $1669,98 \pm 488,18 N$. Η δύναμη στα 50ms ήταν $243,26 \pm 120,06 N$, στα 100ms ήταν $647,20 \pm 228,07 N$, $904,66 \pm 317,55 N$ στα 150ms, $1072,53 \pm 376,87 N$ στα 200ms και $1180,86 \pm 414,57 N$ στα 250ms. Ο ΡΕΔ ήταν $4867,93 \pm 2399,99 N \cdot sec^{-1}$, $6471,73 \pm 2279,83 N \cdot sec^{-1}$, $6030,80 \pm 2116,89 N \cdot sec^{-1}$, $5363,20 \pm 1883,61 N \cdot sec^{-1}$ και $2235,40 \pm 801,46 N \cdot sec^{-1}$ στα 50, 100, 150, 200 και 250ms αντίστοιχα (Σχήμα 4.2). Παράλληλα, το εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου ήταν $20,46 \pm 9,86 N \cdot sec$, $265,33 \pm 105,24 N \cdot sec$, $993,80 \pm 351,00 N \cdot sec$, $2235,40 \pm 801,46 N \cdot sec$ και $4357,86$

$\pm 1496,04\text{N}\cdot\text{sec}$ στα 50, 100, 150, 200 και 250ms αντίστοιχα. Το ύψος άλματος κατά το CMJ ήταν $27,40 \pm 2,79\text{εκ.}$ ενώ η μέγιστη ισχύς ήταν $2179 \pm 276\text{Watt}$.



Σχήμα 4.2. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, στην άσκηση πιέσεων ποδιών, για τις χρονικές στιγμές από 0ms έως 250ms.

Σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ της μέγιστης ισχύος κατά το CMJ και την TA_{Total} ($r=0,656$, $p<0,01$), την $TA_{\text{Type II}}$ ($r=0,599$, $p<0,05$) και TA_{Max} ($r=0,625$, $p<0,05$; πίνακας 4.1), συσχετίσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται ως μεγάλες (Hopkins, 2000). Καμία σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε μεταξύ του ύψους άλματος κατά το CMJ και των παραμέτρων της TA ($p>0,05$). Μέτριες προς υψηλές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, της δύναμης στα 50ms (μικρότερες σε σχέση με τις άλλες χρονικές στιγμές) έως στα 250ms και της TA_{Total} , $TA_{\text{Type II}}$ και TA_{Max} (ο δείκτης r κυμαινόταν από 0,538 έως 0,924; $p<0,05$; Πίνακας 4.1). Καμία σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε για την $TA_{\text{Type I}}$.

Πίνακας 4.1. Συσχετίσεις μεταξύ δύναμης σε διάφορες χρονικές στιγμές κατά την ισομετρική αξιολόγηση της δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών, της ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση και παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής του έξω πλατύ.

	Ισομετρική Δύναμη						CMJ Ισχύ
	50 ms	100 ms	150 ms	200 ms	250 ms	Μέγιστη	
TA _{Total}	0,692**	0,795**	0,887**	0,868**	0,867**	0,764**	0,656**
TA _{Type II}	0,538*	0,765**	0,847**	0,859**	0,850**	0,593*	0,599*
TA _{max}	0,639*	0,859**	0,899**	0,918**	0,924**	0,668**	0,625*

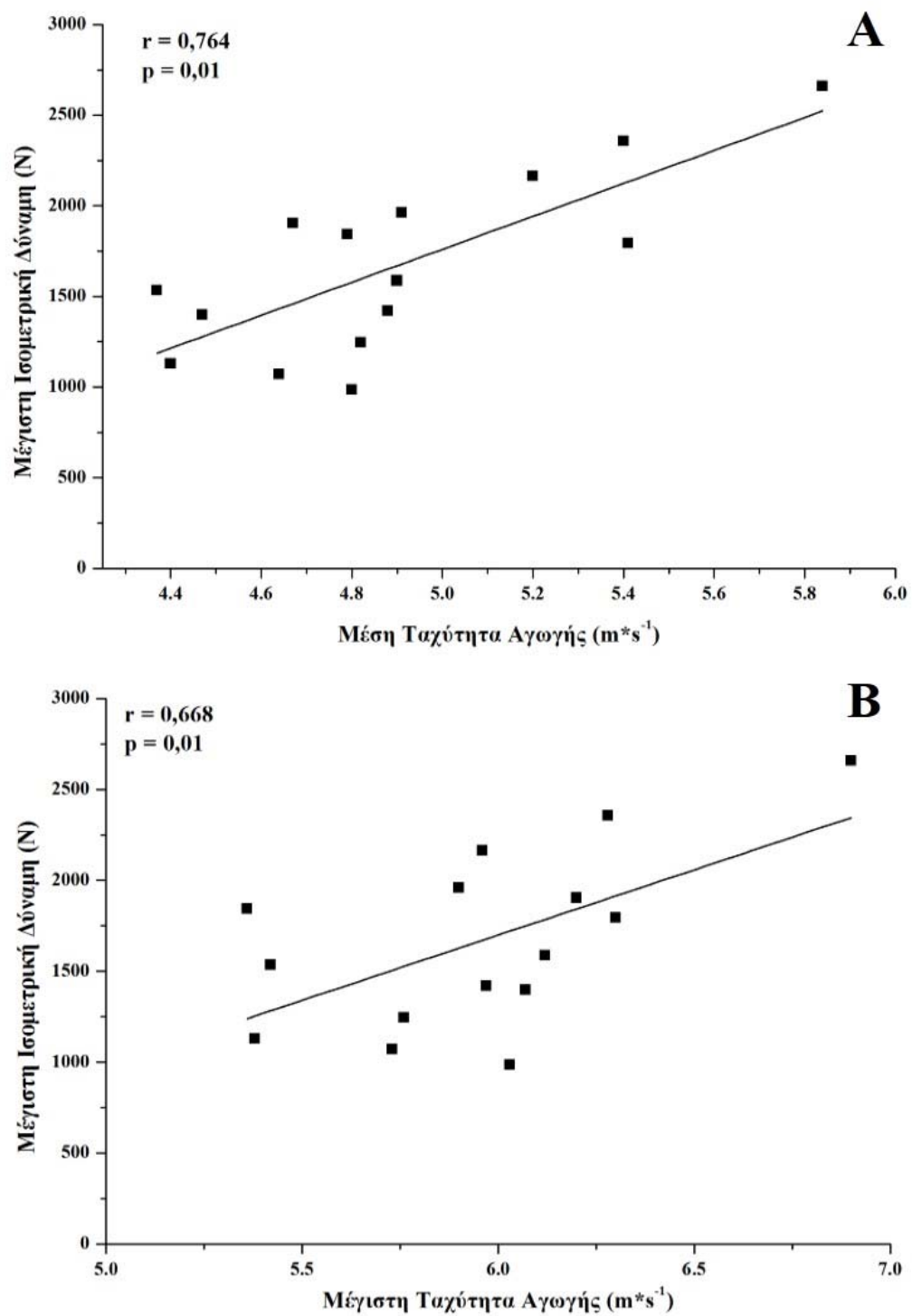
TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; CMJ: Επιτόπιο άλμα με αιώρηση. *p<0.05, **p<0.01.

Σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ του ΡΕΔ, του εμβαδού καμπύλης δύναμης-χρόνου από τα 50ms έως τα 250ms και της TA_{Total}, TA_{Type II} και TA_{Max} (ο δείκτης r κυμαινόταν από 0,538 έως 0,924; p<0,05; Πίνακας 4.2), με τις μεγαλύτερες να διαπιστώνονται και πάλι για τις TA_{Type II} και TA_{Max}, συσχετίσεις που χαρακτηρίζονται τουλάχιστον ως υψηλές. Ωστόσο, και πάλι οι μικρότερες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για τον ΡΕΔ στα 50ms, ενώ δεν διαπιστώθηκε καμία σημαντική συσχέτιση για την TA_{Type I}.

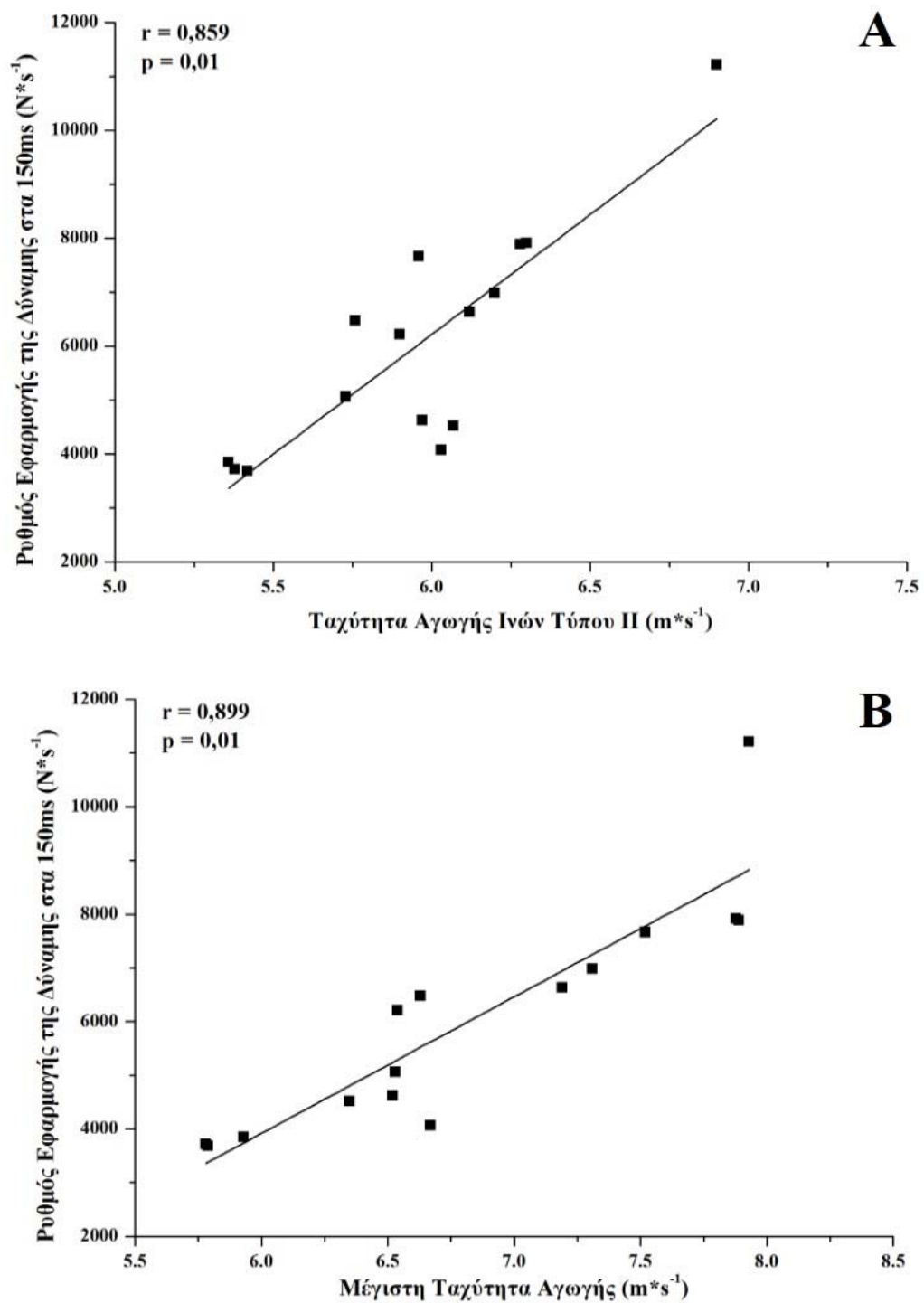
Πίνακας 4.2. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, του εμβαδού καμπύλης δύναμης-χρόνου σε διάφορες χρονικές στιγμές και παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής του έξω πλατύ.

Χρονικές Στιγμές (ms)	Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης					Εμβαδόν Καμπύλη Δύναμης-Χρόνου				
	50	100	150	200	250	50	100	150	200	250
TA _{Total}	0,693**	0,796**	0,887**	0,868**	0,867**	0,622*	0,771**	0,845**	0,878**	0,882**
TA _{Type II}	0,538*	0,765**	0,847**	0,859**	0,850**	N.S.	0,687**	0,790**	0,835**	0,851**
TA _{max}	0,640*	0,859**	0,899**	0,918**	0,924**	0,532*	0,779**	0,870**	0,906**	0,920**

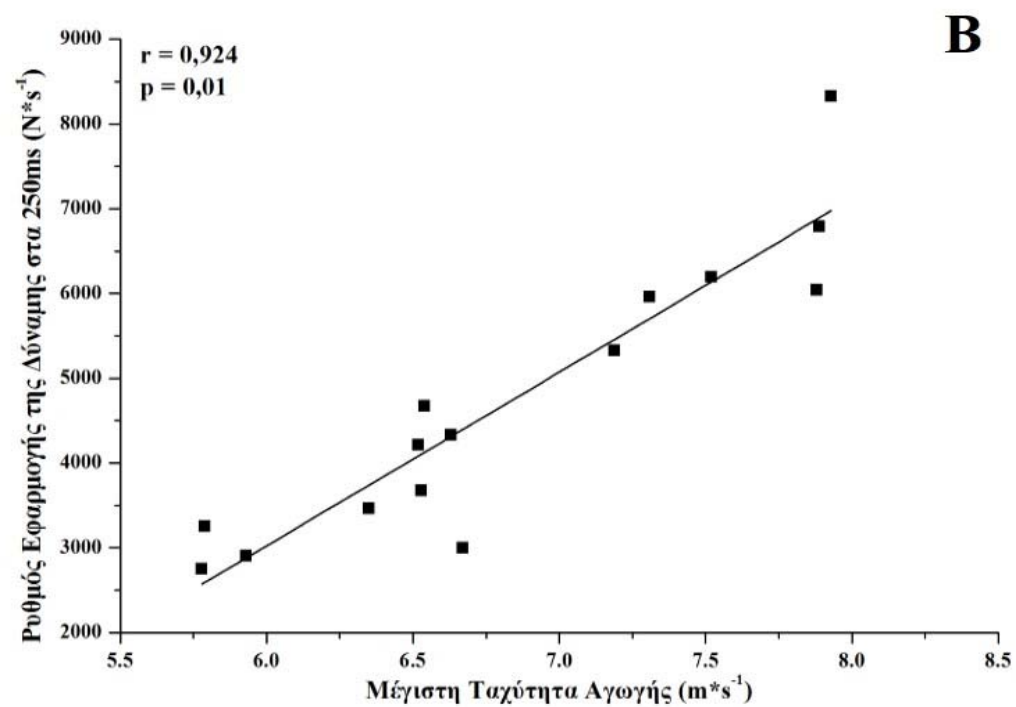
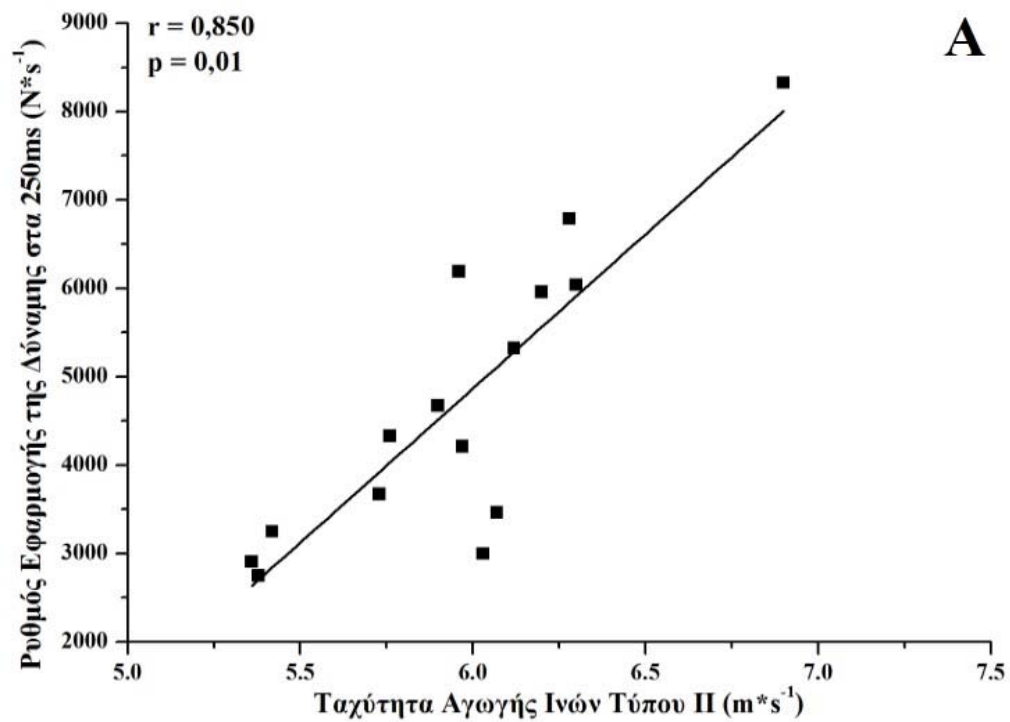
TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; N.S.: μη σημαντικό; *p<0.05, **p<0.01



Σχήμα 4.3. Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την άσκηση πίεσεων ποδιών και (Α) της μέσης και (Β) μέγιστης ταχύτητας αγωγής.



Σχήμα 4.4. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 150ms κατά την άσκηση πίεσεων ποδιών και (Α) των ινών τύπου II και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής.



Σχήμα 4.5. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 250ms κατά την άσκηση πιέσεων ποδιών και (A) των ινών τύπου II και (B) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής.

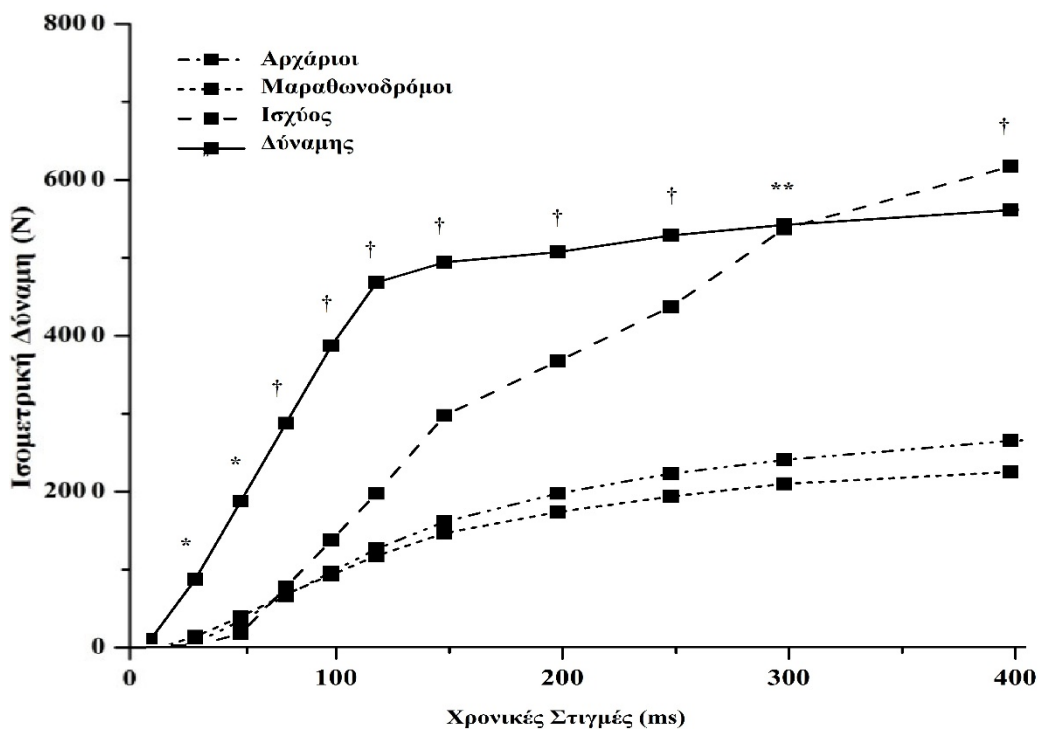
4.2. Αποτελέσματα δεύτερης έρευνας

Τα περιγραφικά στοιχεία των δοκιμαζόμενων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5. Τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων της επίδοσης καθώς και της στατιστικής ανάλυσης τους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3, ενώ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης παρουσιάζονται και γραφικά στα σχήματα 4.6 και 4.7.

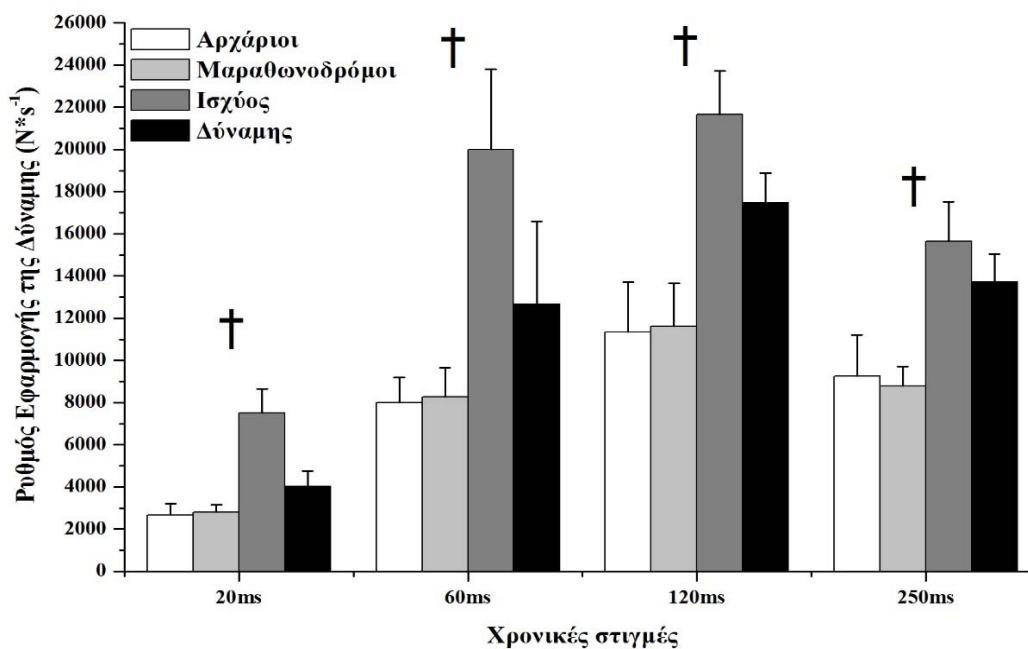
Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα αξιολογήσεων επιτόπιου άλματος με αιώρηση και μέγιστης δύναμης-ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών.

	Αρχάριοι (n=10)	Μαραθωνοδρόμοι (n=9)	Ισχύος (n=10)	Δύναμης (n=9)
Επιτόπιο Άλμα με Αιώρηση				
Μέγιστη Δύναμη (N)	1873,2 ± 242,4†	1588,1 ± 211,2†	2258,2 ± 262,1†	2019,3 ± 224,8†
Μέση Δύναμη (N)	644,7 ± 100,7†	605,1 ± 143,8†	1094,1 ± 202,9†	865,5 ± 200,7†
PEΔ (N·s-1)	107042 ± 25129†	108465 ± 39824†	266213 ± 25343†	169422 ± 54446†
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου (N·s)	208,8 ± 27,6 [#]	175,1 ± 8,8 [#]	292,4 ± 23,1 [#]	219,2 ± 22,9 [#]
Ισχύς(W)	1121,1 ± 137,9 [#]	812,8 ± 148,1 [#]	1985,4 ± 238,1 [#]	1346,9 ± 195,9 [#]
Σχετική Ισχύς (W·Kg ⁻¹)	13,8 ± 1,1 [#]	10,7 ± 2,3 [#]	23,9 ± 2,3 [#]	16,8 ± 1,6 [#]
Ύψος (εκ.)	33,7 ± 0,1 [#]	29,3 ± 0,4 [#]	47,7 ± 1,1 [#]	38,5 ± 0,3 [#]
Ισομετρική Πίεση Ποδιών				
Μέγιστη Ισομετρική Δύναμη (N)	3245,7 ± 584,1†	3111,7 ± 849,1†	4601,3 ± 745,6†	5150,2 ± 813,9†
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης (N·s ⁻¹)	20ms	2662,1 ± 540,2†	2800,9 ± 341,8†	7502,4 ± 1153,5†
	40ms	4545,3 ± 849,9†	4999,4 ± 1521,7†	16129,4 ± 3598,6†
	60ms	7997,7 ± 1200,2†	8254,6 ± 1400,9†	19990,8 ± 3809,9†
	100ms	10705,9 ± 2773,6†	10370,5 ± 2302,5†	21694,2 ± 2278,3†
	120ms	11352,4 ± 2384,1†	11614,1 ± 2045,3†	21647,1 ± 2077,7†
	150ms	11361,9 ± 2319,5†	10995,5 ± 1673,5†	20005,5 ± 2100,3†
	200ms	10299,9 ± 2237,6†	9940,9 ± 1160,1†	17777,7 ± 1616,5†
	250ms	9249,6 ± 1951†	8789,9 ± 921,8†	15639,6 ± 1883,1†

Οι τιμές εκφράζονται ως μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση. PEΔ: Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης. Με (**) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σηματομενών ομάδων και των υπόλοιπων, ενώ με (#) οι στατιστικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων μεταξύ τους. Τέλος με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων, εκτός από την σύγκριση των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων. p<0.05.



Σχήμα 4.6. Διάγραμμα εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών, για όλες τις πειραματικές ομάδες. Με (*) συμβολίζεται η στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της ομάδας Ισχύος και όλων των άλλων, με (†) εκτός της σύγκρισης των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων και με (**) η μη στατιστική διαφορά μεταξύ της ομάδας ισχύος και δύναμης, ($p < 0.05$).



Σχήμα 4.7. Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ των ομάδων για τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης από τα 0-20ms έως τα 0-250ms. Με (†) συμβολίζεται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων εκτός της σύγκρισης των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων ($p < 0.05$).

Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της ομάδας των αρχαρίων και των τριών υπόλοιπων, διαπιστώθηκαν για τους μήνες συστηματικής προπόνησης, την συχνότητα και τον χρόνο των προπονητικών μονάδων καθώς και για τους όγκους προπόνησης ($p < 0.05$; πίνακας 3.5). Σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων διαπιστώθηκαν για τον χρόνο των προπονητικών μονάδων καθώς και για τους όγκους προπόνησης ($p < 0.05$). Τα άτομα της ομάδας των μαραθωνοδρόμων, διέφεραν σημαντικά ως προς τον μέσο όρο της ηλικίας τους, δεδομένο που ήταν αναμενόμενο, καθώς ο μέσος όρος ηλικίας των έμπειρων μαραθωνοδρόμων είναι υψηλότερος σε σχέση με τα άλλα αθλήματα, έτσι όπως προκύπτει και από τις επίσημες λίστες της παγκόσμιας ομοσπονδίας κλασσικού αθλητισμού (International Association of Athletics Federations).

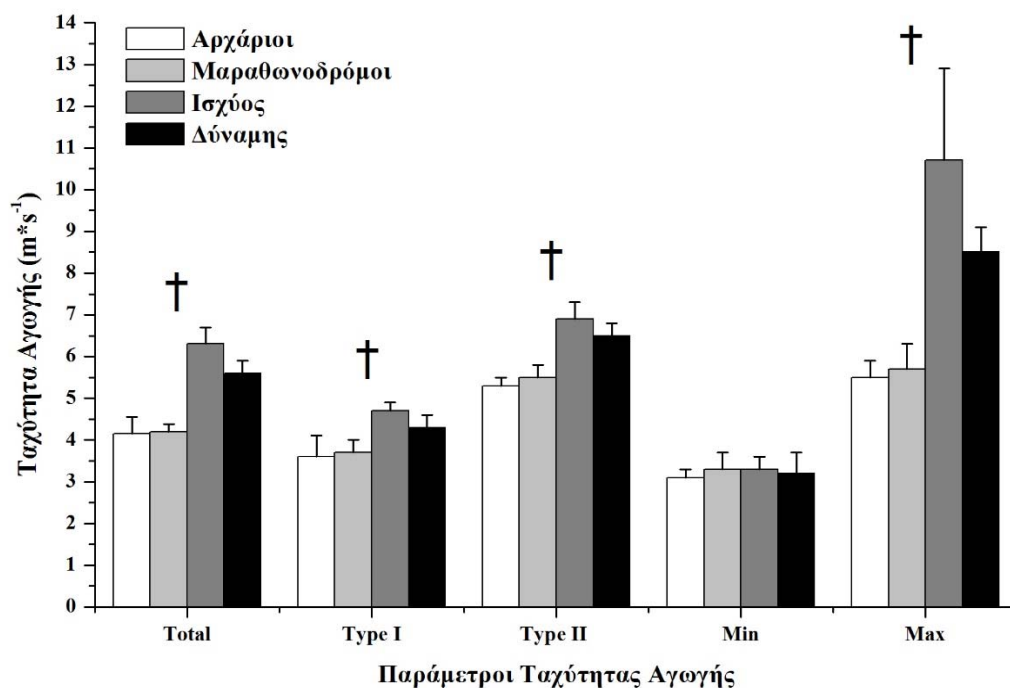
Στατιστικά σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν μεταξύ όλων των πειραματικών ομάδων για την εκτιμώμενη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, την συνολική και την άλιπη μάζα των ποδιών, την μέγιστη-σχετική μέγιστη ισχύ και το εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση, την μέγιστη δύναμη, την εφαρμόσιμη δύναμη (με εξαίρεση την δύναμη κατά τα 300ms, όπου δεν διαπιστώθηκε και καμία διαφορά μεταξύ της ομάδας ισχύος και της δύναμης) και τον ΡΕΔ στα χρονικά διαστήματα μέχρι τα 250ms ($p < 0.01$). Εκτός από τις παραμέτρους της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, της μέγιστης-σχετικής μέγιστης ισχύος και το εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση, ($p < 0.05$), καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν διαπιστώθηκε ανάμεσα στις ομάδες των αρχαρίων και των μαραθωνοδρόμων για τις υπόλοιπες μεταβλητές ($p > 0.05$). Η άλιπη μάζα και η μέγιστη ισομετρική δύναμη ήταν μεγαλύτερες στην ομάδα δύναμης. Η ομάδα ισχύος είχε υψηλότερες τιμές σε όλες τις παραμέτρους την αλτικής επίδοσης και στον ΡΕΔ στην άσκηση πιέσεων ποδιών από τα 20ms έως τα 250ms.

Κατά την αξιολόγηση της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες, ένας μέσος όρος 65 ± 10 διαφορετικών ινών για κάθε δοκιμαζόμενο, χρησιμοποιήθηκαν για τις περαιτέρω αναλύσεις. Συνολικά αξιολογήθηκαν 2250 μυϊκές ίνες, όπου με βάση της δικόρυφη κατανομή, 1150 κατατάχθηκαν ως τύπου I και 1100 ως τύπου II. Οι μέσοι όροι και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για όλες τις παραμέτρους της αξιολόγησης της ΤΑ παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4 και στο σχήμα 4.8. Στατιστικά σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν μεταξύ των πειραματικών ομάδων για όλες τις παραμέτρους της ΤΑ ($p < 0,01$), με εξαίρεση την σύγκριση μεταξύ μαραθωνοδρόμων και αρχαρίων ($p > 0,05$). Η ομάδα ισχύος είχε υψηλότερες τιμές σχεδόν σε όλες τις παραμέτρους της ΤΑ. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι το εύρος τιμών της F/S κυμαινόταν από 1,47 έως 4,70, τιμή η οποία είναι πολύ υψηλότερη από τις μέχρι τώρα αναφορές σε αγύμναστα άτομα.

Πίνακας 4.4. Τιμές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής.

	Αρχάριοι (n=10)	Μαραθωνοδρόμοι (n=9)	Ισχύος (n=10)	Δύναμης (n=9)
Total ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$4,1 \pm 0,4^\dagger$	$4,1 \pm 0,2^\dagger$	$6,3 \pm 0,4^\dagger$	$5,6 \pm 0,3^\dagger$
Type I ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$3,6 \pm 0,5^\dagger$	$3,7 \pm 0,3^\dagger$	$4,7 \pm 0,2^\dagger$	$4,3 \pm 0,3^\dagger$
Type II ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$5,3 \pm 0,3^\dagger$	$5,5 \pm 0,2^\dagger$	$6,9 \pm 0,4^\dagger$	$6,5 \pm 0,3^\dagger$
Min ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$3,1 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,4$	$3,3 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,5$
Max ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$5,5 \pm 0,4^\dagger$	$5,7 \pm 0,6^\dagger$	$10,7 \pm 2,2^\dagger$	$8,5 \pm 0,6^\dagger$
F/S ratio	$1,9 \pm 0,1^\dagger$	$1,7 \pm 0,3^\dagger$	$3,2 \pm 0,6^\dagger$	$2,7 \pm 0,5^\dagger$

Οι τιμές εκφράζονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπική απόκλιση. TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA Με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων, εκτός από την σύγκριση των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων. $p < 0.05$.



Σχήμα 4.8. Παράμετροι της ταχύτητας αγωγής για όλες τις ομάδες Με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων εκτός της σύγκρισης των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων ($p < 0.05$).

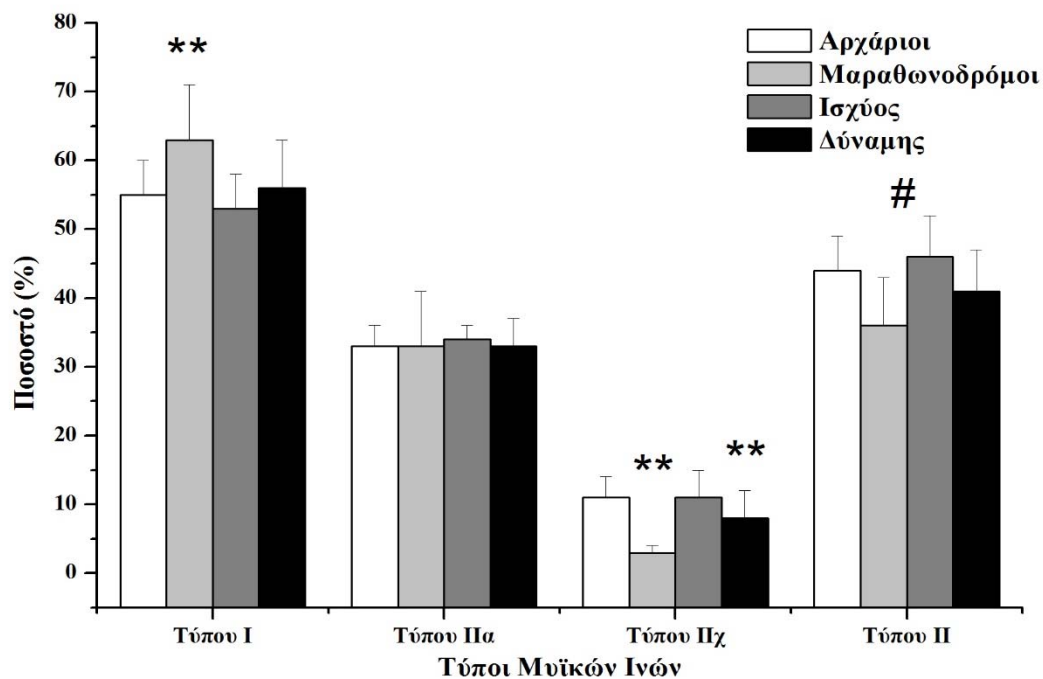
Από την ανάλυση των δειγμάτων της μυϊκής βιοψίας, 588 ± 257 ανά δοκιμαζόμενο (σύνολο 22.375) διαφορετικές μυϊκές ίνες κατατάχθηκαν σε τύπου I (Μ.Ο.: 346 ± 155 ανά δοκιμαζόμενο; σύνολο 13.185) και τύπου II (Μ.Ο.: 254 ± 95 ανά δοκιμαζόμενο; σύνολο 9.198), οι οποίες διαχωρίστηκαν και στις 2 υποκατηγορίες της, τις Πα (Μ.Ο.: 190 ± 91 ανά δοκιμαζόμενο; σύνολο 7.248) και τις Πχ (Μ.Ο.: 54 ± 40 ανά δοκιμαζόμενο; σύνολο 1950). Οι μέσοι όροι και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για όλες τις παραμέτρους της αξιολόγησης της κατανομής των μυϊκών ινών των δοκιμαζόμενων ανά ομάδα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5 και στα Σχήματα 4.9 (ποσοστό), 4.10 (CSA) και

4.11 (%CSA). Σημαντική διαφορά έναντι των τριών υπόλοιπων ομάδων διαπιστώθηκε για το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου I, στην ομάδα των μαραθωνοδρόμων ($p<0,05$). Στατιστικά σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν μεταξύ όλων των πειραματικών ομάδων για την CSA, το %CSA των ινών τύπου Πα, Πχ και ΙΙ γενικά, την διάμετρο και τον παράγοντα ατροφίας όλων των ινών ($p<0,05$), με εξαίρεση την σύγκριση μεταξύ της ομάδας των αρχάριων και των μαραθωνοδρόμων όσον αφορά το μέγεθος όλων των μυϊκών ινών, το %CSA των μυϊκών ινών τύπου Πα, την διάμετρο και τον παράγοντα ατροφίας όλων των ινών ($p>0,05$). Στατιστικά σημαντικές διαφορές διαπιστώθηκαν για το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Πχ, για τις ομάδες των μαραθωνοδρόμων και της δύναμης σε σχέση με τις άλλες δύο ($p<0,05$). Σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων διαπιστώθηκαν και για το ποσοστό των ινών τύπου ΙΙ ($p<0,05$). Μεγαλύτερο ποσοστό και %CSA των ινών τύπου Ι είχαν οι μαραθωνοδρόμοι. Η CSA όλων των μυϊκών ινών ήταν μεγαλύτερες στην ομάδα δύναμης. Η ομάδα ισχύος είχε υψηλότερες τιμές για το ποσοστό και την %CSA των μυϊκών ινών τύπου Πχ και ΙΙ.

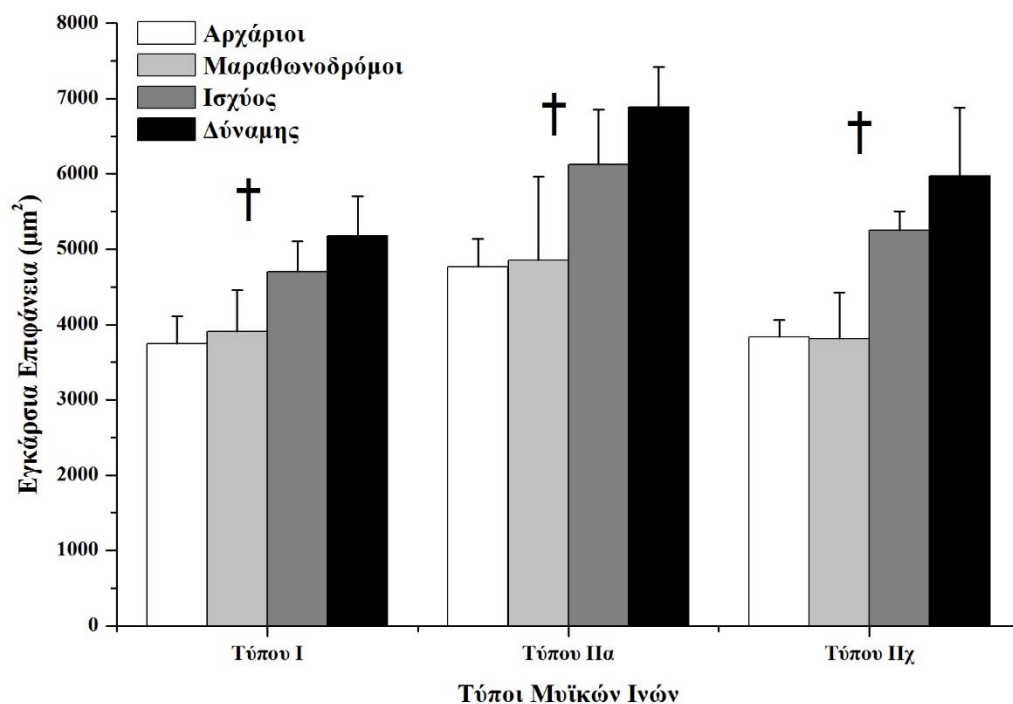
Πίνακας 4.5a. Τιμές των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών.

	Αρχάριοι (n=10)	Μαραθωνοδρόμοι (n=9)	Ισχύος (n=10)	Δύναμης (n=9)
Ποσοστό (%)				
Τύπου Ι	55,6 ± 5,8	63,1 ± 8,0**	53,4 ± 5,5	56,2 ± 7,4
Τύπου Πα	33,1 ± 3,5	33,2 ± 8,5	34,4 ± 2,5	33,4 ± 4,9
Τύπου Πχ	11,2 ± 3,3	2,8 ± 1,3**	11,5 ± 4,0	8,1 ± 4,8**
Τύπου ΙΙ	44,3 ± 5,8 [#]	36,1 ± 7,8 [#]	46,1 ± 6,5 [#]	41,9 ± 6,6 [#]
Εγκάρσια Επιφάνεια (μm ²)				
Τύπου Ι	3784,1 ± 362,4†	3904,0 ± 555,4†	4700,1 ± 408,2†	5175,6 ± 526,3†
Τύπου Πα	4769,5 ± 370,9†	4856,8 ± 1106,3†	6129,0 ± 721,1†	6888,9 ± 530,2†
Τύπου Πχ	3834,7 ± 229,7†	3813,2 ± 608,3†	5249,4 ± 255,9†	5972,1 ± 903,8†
Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας (%)				
Τύπου Ι	54,8 ± 1,9 [#]	63,8 ± 4,7 [#]	47,2 ± 6,1 [#]	50,8 ± 6,4 [#]
Τύπου Πα	36,6 ± 1,5†	33,8 ± 2,5†	40,8 ± 3,6†	43,9 ± 4,2†
Τύπου Πχ	8,6 ± 0,9 [#]	2,3 ± 0,8 [#]	12,1 ± 3,1 [#]	4,7 ± 2,3 [#]
Τύπου ΙΙ	45,2 ± 1,8 [#]	36,1 ± 4,7 [#]	53,0 ± 6,4 [#]	48,6 ± 6,3 [#]
Διάμετρος (μm)				
Τύπου Ι	54,7 ± 2,5†	55,6 ± 2,9†	59,7 ± 3,9†	62,3 ± 1,4†
Τύπου Πα	61,5 ± 2,7†	62,3 ± 3,5†	68,4 ± 3,7†	71,4 ± 0,7†
Τύπου Πχ	48,5 ± 2,5†	51,8 ± 3,7†	61,1 ± 4,7†	64,5 ± 2,5†
Παράγοντας Υπερτροφίας				
Τύπου Ι	185,4 ± 11,3†	205,1 ± 30,1†	278,4 ± 45,1†	296,1 ± 28,1†
Τύπου Πα	233,1 ± 10,9†	238,8 ± 16,2†	294,4 ± 16,6†	310,2 ± 9,6†
Τύπου Πχ	189,2 ± 23,2†	184,8 ± 18,4†	208,8 ± 17,7†	240,9 ± 31†
Συνολικός	211,1 ± 17,7†	214,4 ± 83,4†	250,19 ± 44,3†	290,1 ± 25,1†

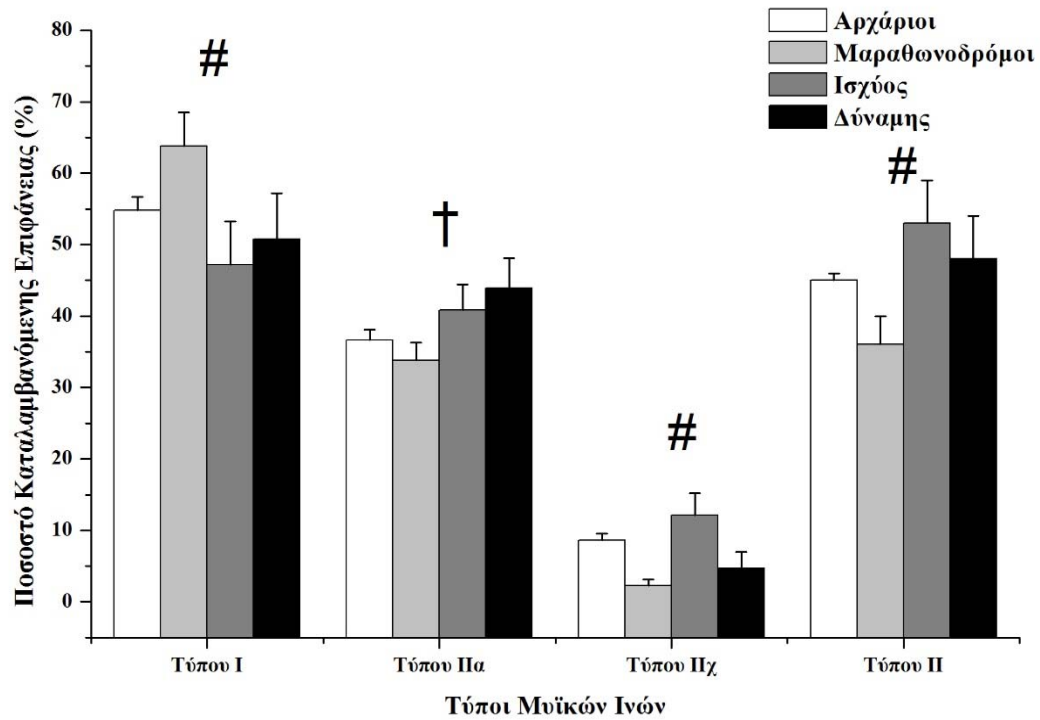
Οι τιμές εκφράζονται ως μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση. CSA = Εγκάρσια επιφάνεια; % CSA = Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας από τις μυϊκές ίνες του κάθε τύπου; Με (**) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σημαδεμένων ομάδων και των υπόλοιπων, ενώ με (#) οι στατιστικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων μεταξύ τους. Τέλος με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων, εκτός από την σύγκριση των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων. $p<0,05$.



Σχήμα 4.9. Ποσοστό μυϊκών ινών ανά ομάδα. Με (**) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των σημαδεμένων ομάδων και των υπόλοιπων, ενώ με (#) οι στατιστικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων μεταξύ τους. $p < 0.05$.



Σχήμα 4.10. Εγκάρσια επιφάνεια μυϊκών ινών ανά ομάδα. Με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων, εκτός από την σύγκριση των μαραθωνοδρόμων και των αρχαρίων. $p < 0.05$.



Σχήμα 4.11. Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας μυϊκών ινών ανά ομάδα. Με (#) συμβολίζονται οι στατιστικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων μεταξύ τους και με (†) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των ομάδων, εκτός από την σύγκριση των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων. $p < 0.05$.

Πίνακας 4.5β. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$; μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται; $p < 0.01$).

Παράμετρος		Διάμετρος				Παράγοντας Υπερτροφίας			
		I	Ια	Ιχ	Μέσος Όρος	I	Ια	Ιχ	Συνολικός
Εγκάρσια Επιφάνεια	I	0,858	0,840	0,809	0,842	0,549	0,896	0,871	0,785
	Ια	0,873	0,870	0,795	0,857	0,630	0,917	0,876	0,794
	Ιχ	0,863	0,889	0,884	0,897	0,540	0,877	0,870	0,720
	Μέσος Όρος	0,893	0,897	0,857	0,895	0,543	0,930	0,901	0,792
Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας	I	-0,772	-0,822	-0,746	-0,798		-0,789	-0,768	-0,611
	Ια	0,728	0,739	0,648	0,730		0,769	0,707	0,596
	Ιχ	0,708	0,788	0,751	0,761		0,693	0,692	0,505
	ΙΙ	0,770	0,821	0,754	0,800		0,782	0,754	0,597

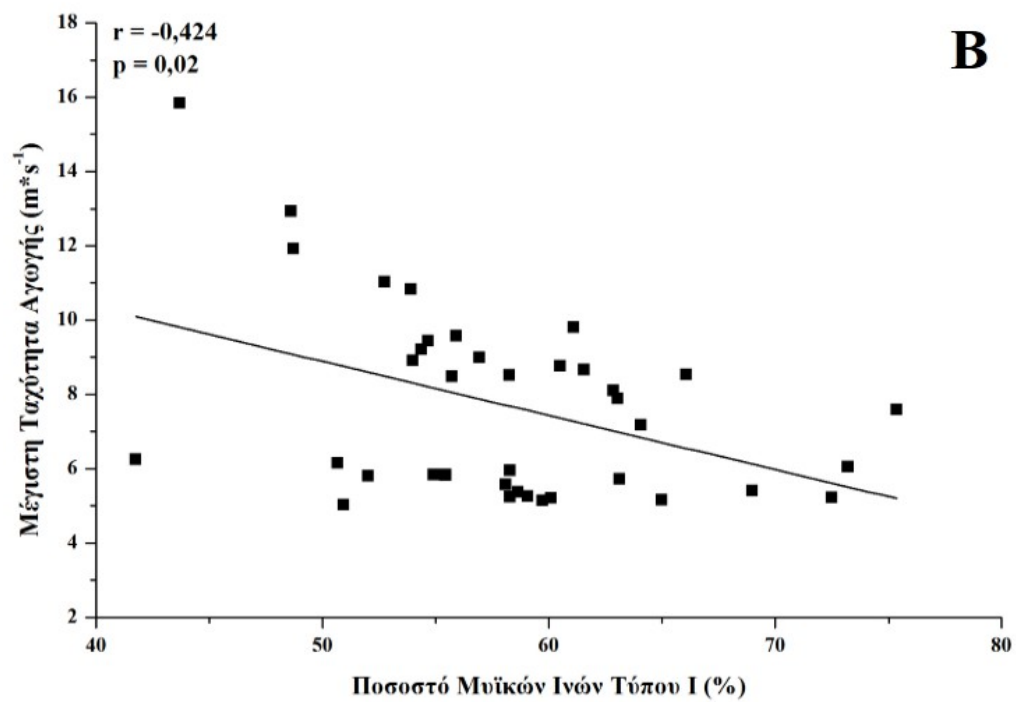
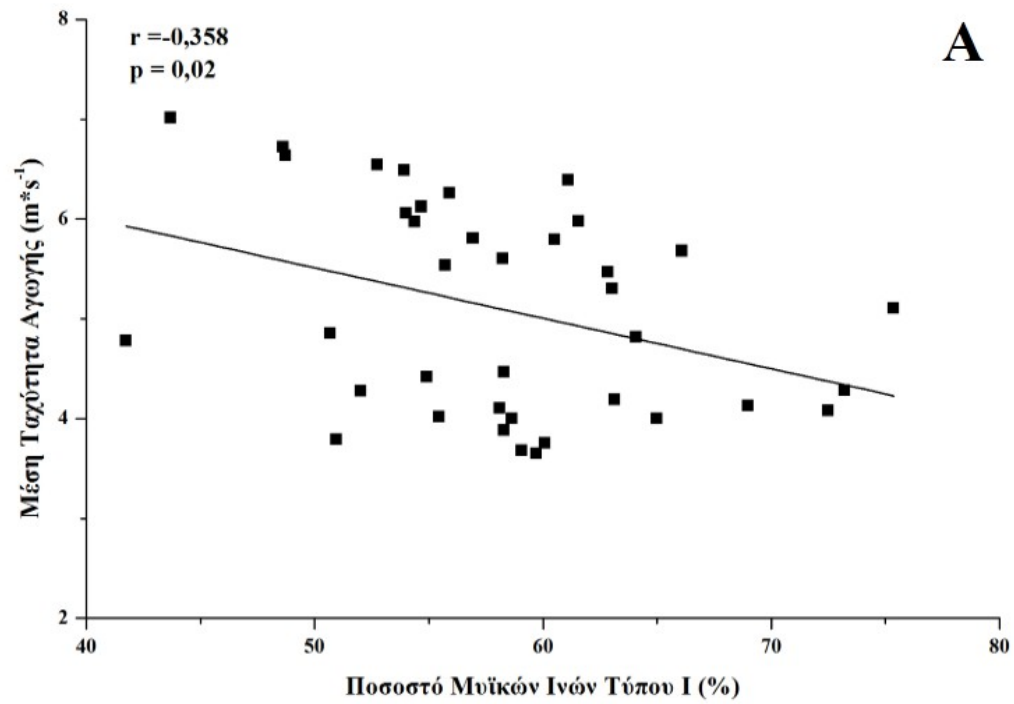
Στον Πίνακα 4.5β παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Η εγκάρσια επιφάνεια όλων των τύπων των μυϊκών ινών καθώς και ο μέσος όρος της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών, παρουσίασε υψηλές έως άριστες συσχετίσεις (Hopkins, 2000) με την διάμετρο όλων των μυϊκών ινών ($r: 0,795 - 0,897$; $p = 0,000$) και με τον παράγοντα υπερτροφίας όλων των μυϊκών ινών ($r: 0,540 - 0,930$; $p = 0,000$). Υψηλές συσχετίσεις (Hopkins, 2000) διαπιστώθηκαν και για το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών και της διαμέτρου τους ($r: 0,648 - 0,822$; $p = 0,000$) και με τον παράγοντα της υπερτροφίας των μυϊκών ινών τύπου Πα, Πχ, Π και τον συνολικό παράγοντα υπερτροφίας ($r: 0,505 - 0,769$; $p = 0,000$).

Όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχθηκαν ως ένα σύνολο-ομάδα ($n=38$), διαπιστώθηκαν μέτριες συσχετίσεις (Hopkins, 2000), μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών και των παραμέτρων της TA, οι οποίες κυμαίνονταν μεταξύ 0,346 και 0,485 ($p<0,05$; Πίνακας 4.6), με τις υψηλότερες συσχετίσεις να παρουσιάζονται για το ποσοστό των ινών τύπου Πχ (ο δείκτης συσχέτισης του Pearson κυμαινόταν μεταξύ 0,416 και 0,485 ($p<0,01$), ενώ όλες οι συσχετίσεις για το ποσοστό των ινών τύπου Ι ήταν αρνητικές. Πολύ υψηλές (Hopkins, 2000) μεταξύ των παραμέτρων της TA και της CSA (το r κυμαινόταν από 0,751 έως 0,953; $p<0,001$) και του %CSA (το r κυμαινόταν από 0,732 έως 0,899; $p<0,001$) όλων των μυϊκών ινών (πίνακας 4.6). Εξαίρεση στο παραπάνω είναι οι μέτριες συσχετίσεις μεταξύ της $TA_{Type I}$ και της CSA-%CSA όλων των ινών (το r κυμαινόταν από 0,392 έως 0,601; $p<0,05$). Αρνητικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ του ποσοστού και της %CSA των ινών τύπου Ι και όλων των παραμέτρων της TA. Μέτριες και υψηλές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν και για την μέση διάμετρο και τους παράγοντες υπερτροφίας όλων των ινών με τις παραμέτρους της TA (το r κυμαινόταν από 0,348 έως 0,908; $p<0,05$). Σε όλες τις περιπτώσεις, καμία σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε μεταξύ των $TA_{Type I}$, TA_{min} και των όλων των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών ($p>0,05$).

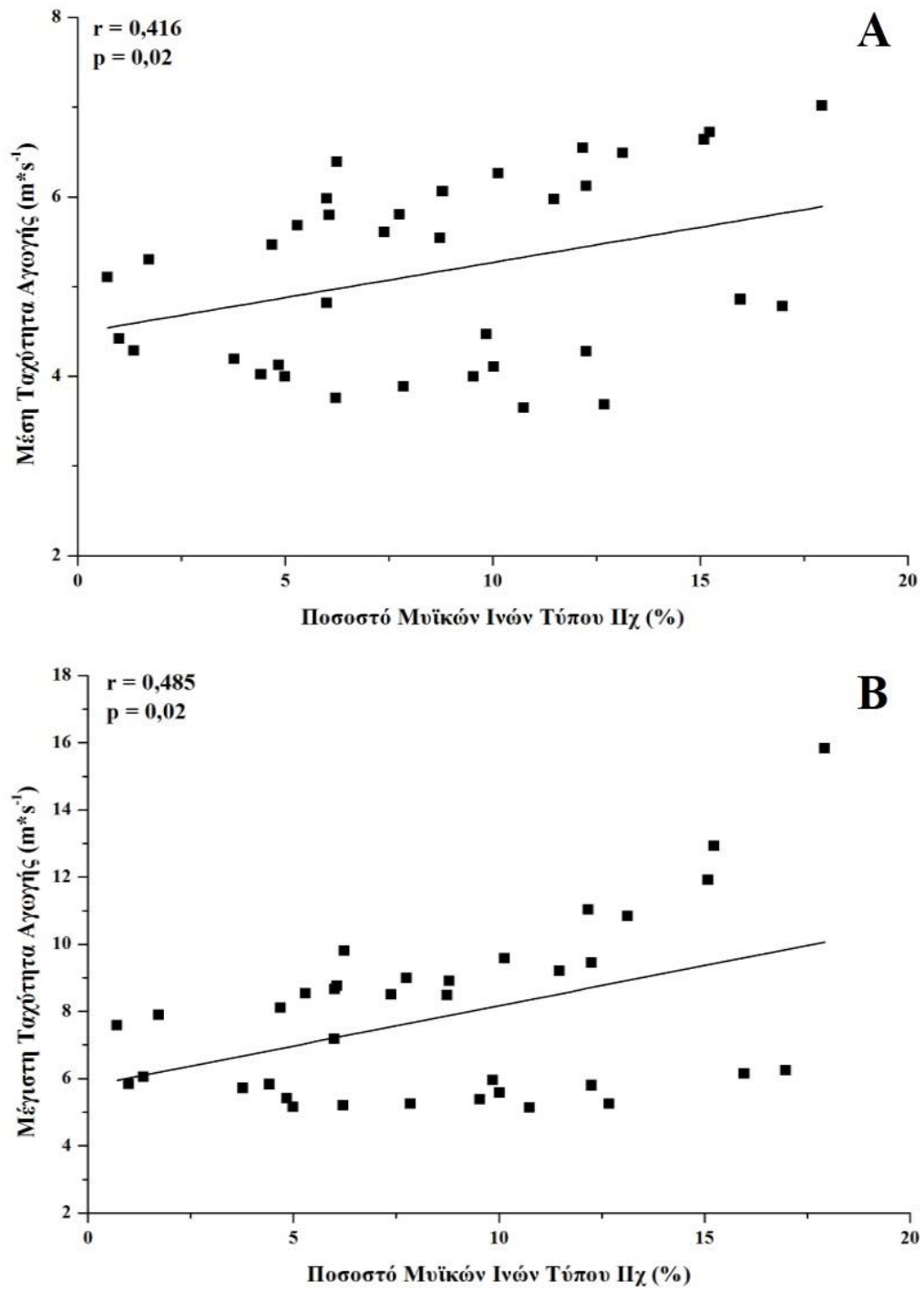
Πίνακας 4.6. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων (n=38; μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται).

	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής					F/S
	Total	Type I	Type II	Min	Max	
Ποσοστό Μυϊκών Ινών						
Τύπου Ι	-0,358*				-0,424*	-0,414*
Τύπου Πα						
Τύπου Πχ	0,416*				0,485*	0,477*
Τύπου ΙΙ	0,346*				0,418*	0,418*
Εγκάρσια Επιφάνεια Μυϊκών Ινών						
Τύπου Ι	0,924**	0,601**	0,879**		0,830**	0,751**
Τύπου Πα	0,907**	0,584*	0,870**		0,840**	0,769**
Τύπου Πχ	0,943**	0,458*	0,875**		0,899**	0,793**
Μ.Ο Όλων	0,953**	0,576*	0,906**		0,887**	0,800**
Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας Μυϊκών Ινών						
Τύπου Ι	-0,815**	-0,459*	-0,712**		-0,853**	-0,801**
Τύπου Πα	0,851**	0,466*	0,785**		0,778**	0,761**
Τύπου Πχ	0,899**	0,392*	0,746**		0,823**	0,732**
Τύπου ΙΙ	0,812**	0,459*	0,713**		0,859**	0,801**
Διάμετρος Μυϊκών Ινών						
Τύπου Ι	0,841**	0,588*	0,770**		0,780**	0,734**
Τύπου Πα	0,902**	0,611*	0,800**		0,765**	0,749**
Τύπου Πχ	0,908**	0,464*	0,765**		0,723**	0,730**
Μ.Ο Όλων	0,878**	0,573*	0,824**		0,799**	0,764**
Παράγοντας Υπερτροφίας Μυϊκών Ινών						
Τύπου Ι	0,501*	0,539*	0,523*		0,456*	0,348*
Τύπου Πα	0,874**	0,639*	0,800**		0,804**	0,726**
Τύπου Πχ	0,800**	0,622*	0,793**		0,783**	0,741**
Μ.Ο Όλων	0,713**	0,560*	0,747**		0,706**	0,639**

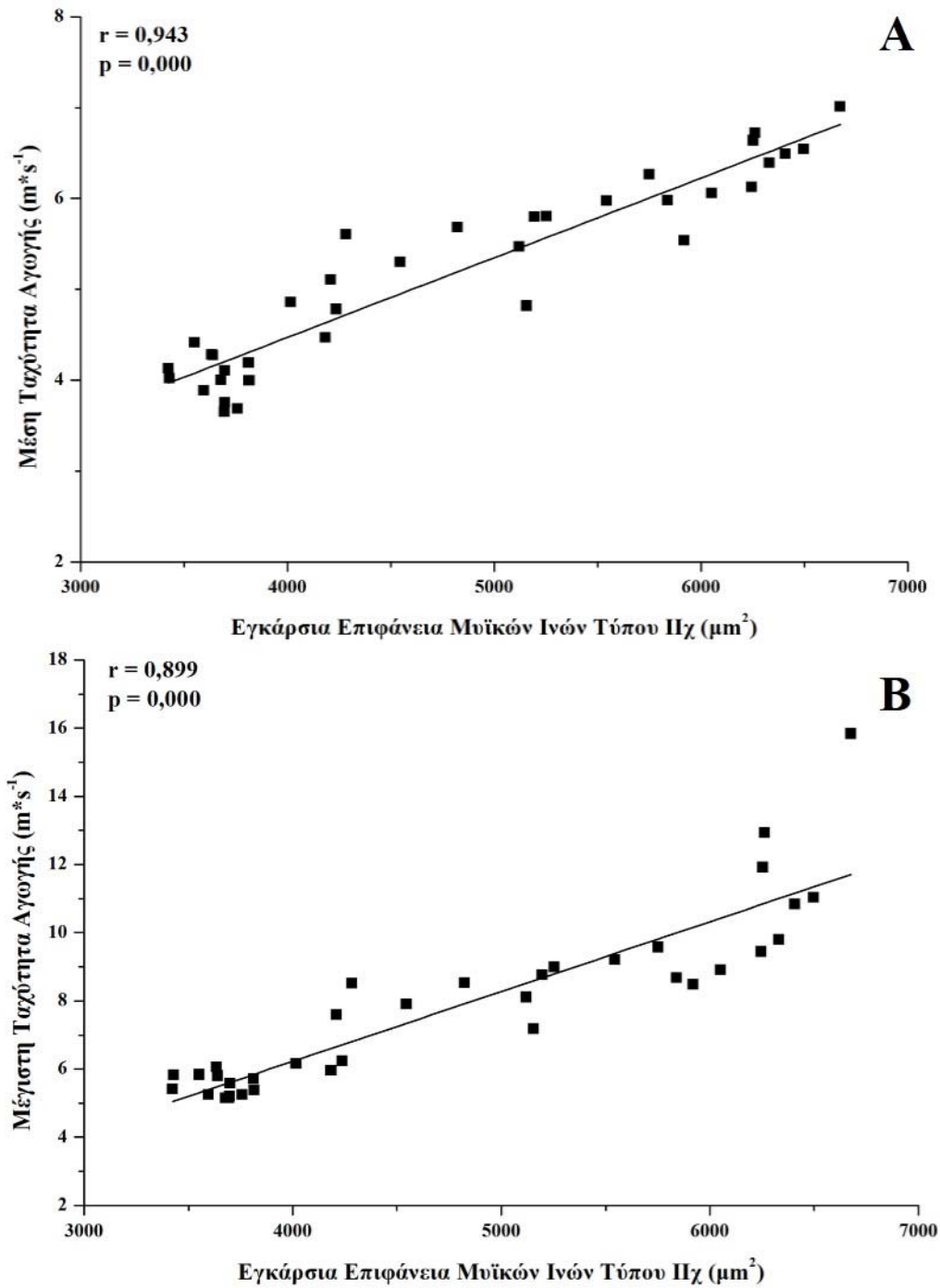
Μ.Ο.: Μέσος όρος όλων των ινών; ΤΑ: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της ΤΑ; Type I: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου Ι μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου ΙΙ μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της ΤΑ; Max: Μεγαλύτερη τιμή της ΤΑ; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης ΤΑ *p<0,05, **p<0,01



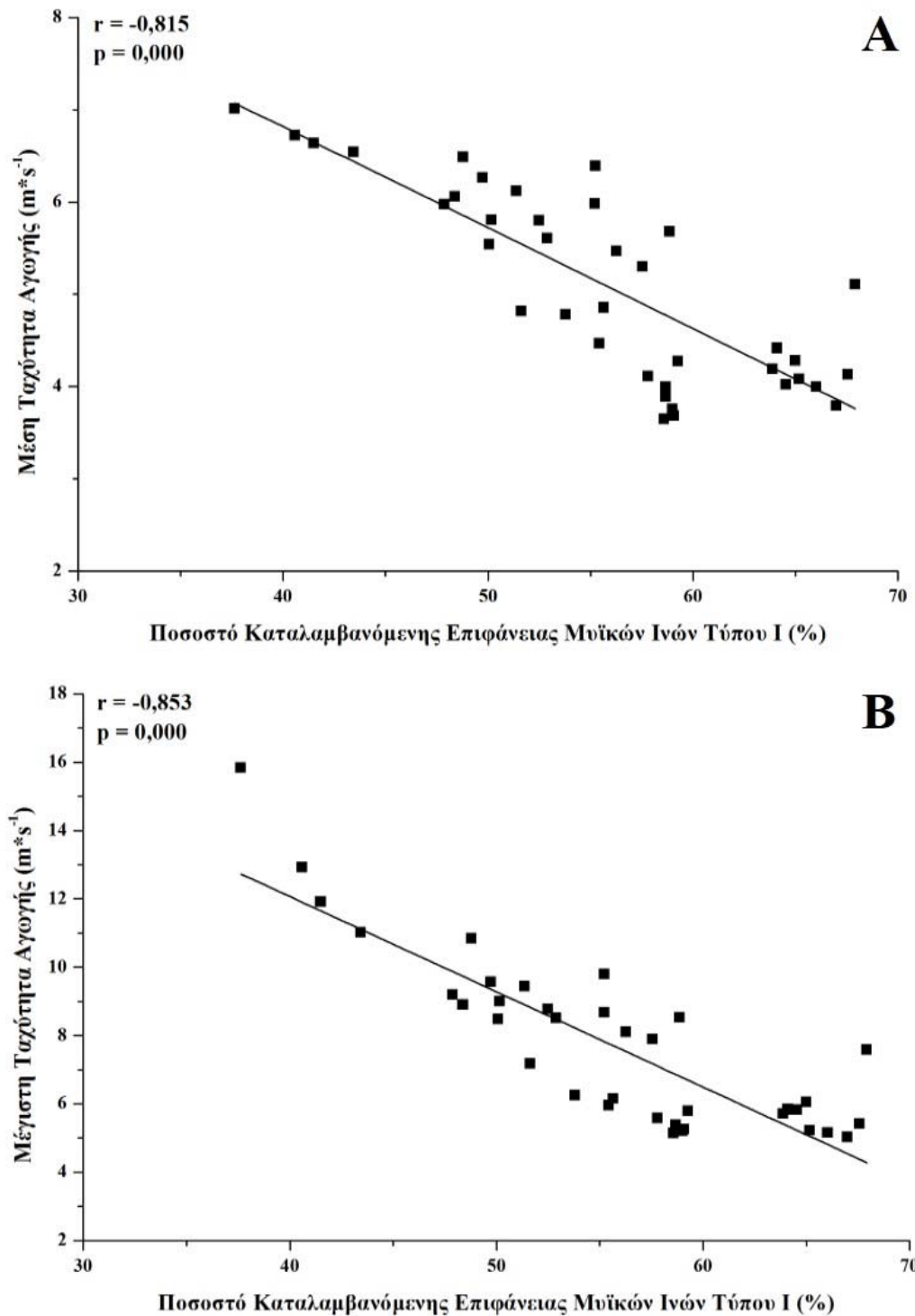
Σχήμα 4.12. Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου I και (A) της μέσης και (B) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



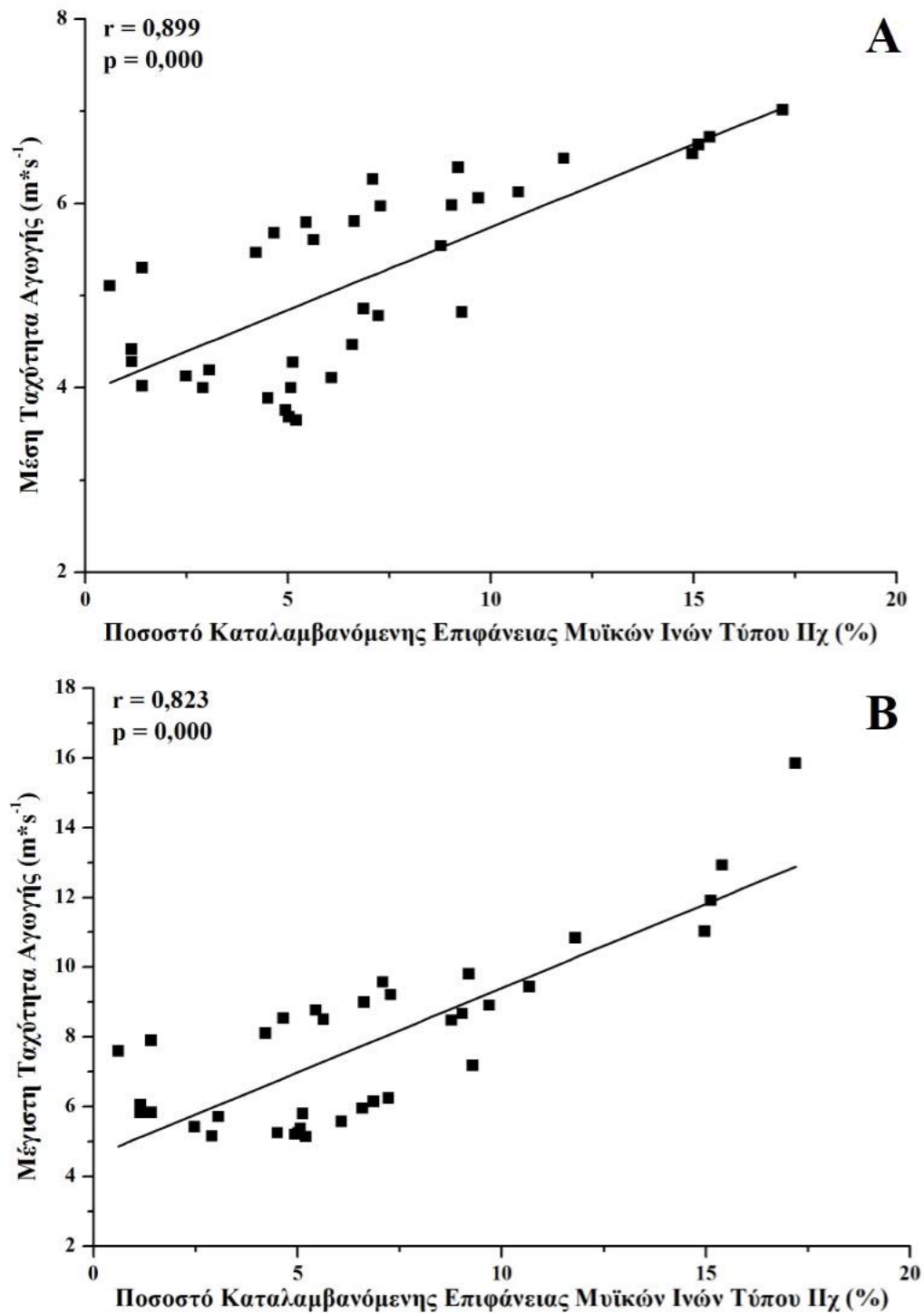
Σχήμα 4.13. Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου II και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



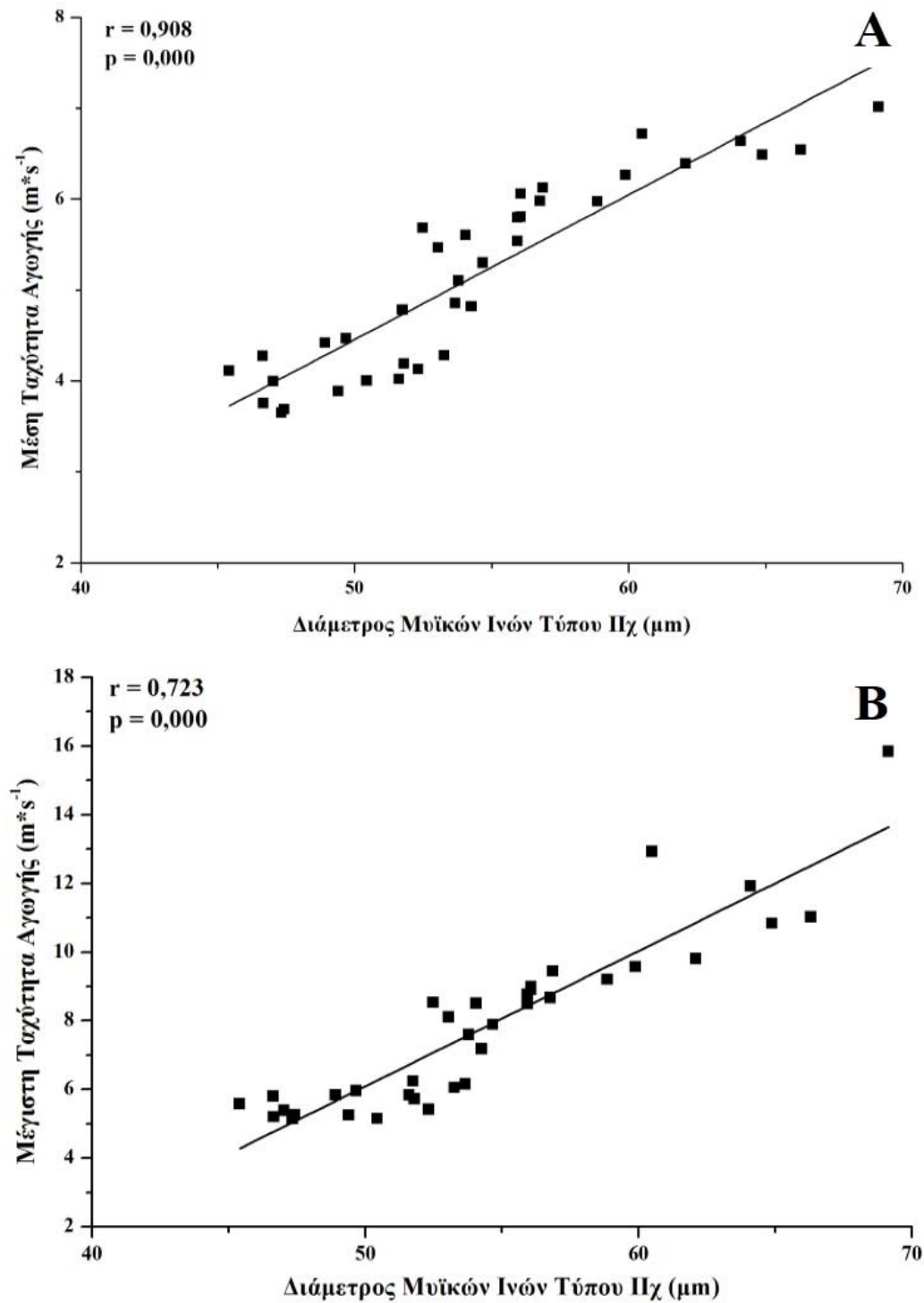
Σχήμα 4.14. Συσχετίσεις μεταξύ της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



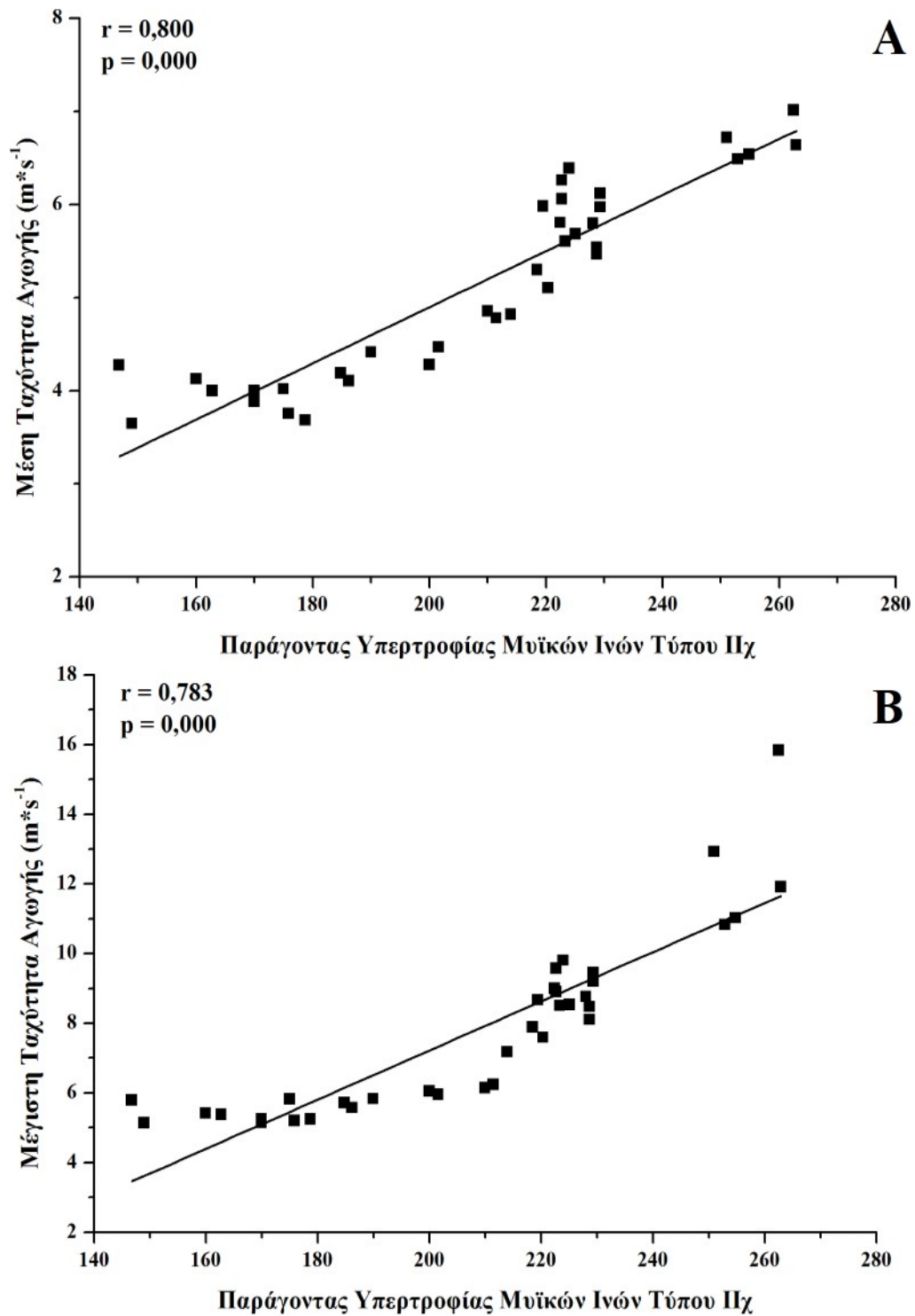
Σχήμα 4.15. Συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού καταλαμβανομένης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου I και (A) της μέσης και (B) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



Σχήμα 4.16. Σχρετίσεις μεταξύ του ποσοστού καταλαμβανομένης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



Σχήμα 4.17. Συσχετίσεις μεταξύ της διαμέτρου των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



Σχήμα 4.18. Συσχετίσεις μεταξύ του παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών τύπου IIχ και (Α) της μέσης και (Β) της μέγιστης ταχύτητας αγωγής, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι, αν και η διάμετρος των μυϊκών ινών είναι μια παράμετρος της κατανομής των μυϊκών ινών που χρησιμοποιείται ευρέως από τους νευρολόγους και από τους ερευνητές που ασχολούνται με την ΤΑ σε ασθενείς και πειραματόζωα (Blijham, et al., 2007; Blijham, et al., 2006; Broman, et al., 1985b; Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Farina, et al., 2007; Gechev, et al., 2003; Lange, et al., 2002; Linssen, et al., 1991; T. Masuda & De Luca, 1991; Nandedkar & Stålberg, 1983a, 1983b; M. Nielsen, et al., 2008; Sadoyama, et al., 1988; Schulte, et al., 2005; A. D. Taylor, et al., 1997; Troni, et al., 1983; Troni, et al., 1991; J. V. Trontelj, 1993; Vila-Cha, et al., 2012; Yaar & Niles, 1992), η CSA και το %CSA των μυϊκών ινών παρουσιάζουν τα ίδια σχεδόν αποτελέσματα με την διάμετρο, αλλά αποδίδουν υψηλότερες συσχετίσεις με τις παραμέτρους της ΤΑ, ενώ παράλληλα, όπως φαίνεται και από τα παραπάνω αποτελέσματα, μπορούν να εξηγήσουν καλύτερα τις παραμέτρους της ΤΑ. Παράλληλα, όπως φάνηκε και από τον πίνακα 4.5β, οι παράμετροι αυτοί της κατανομής των μυϊκών ινών παρουσιάζουν πολύ υψηλές συσχετίσεις μεταξύ τους. Επομένως, αφού στην αθλητική επιστήμη η CSA και το %CSA των μυϊκών ινών είναι πιο διαδεδομένοι, η παρούσα διδακτορική διατριβή θα επικεντρωθεί περισσότερο σε αυτούς τους 2 παράγοντες, αν και θα παρουσιάζονται και όλα τα αποτελέσματα για τις παραμέτρους της κατανομής των μυϊκών ινών που εξετάστηκαν.

Οι παραπάνω συσχετίσεις, ελέγχθηκαν και για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά (τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες 4.7 έως 4.11). Από την ανάλυση των συσχετίσεων για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά, διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις όσον αφορά την ανεύρεση ή την εξάλειψη ή την ισχύ των συσχετίσεων, όσον αφορά την σύγκριση με τα αποτελέσματα από το σύνολο των δοκιμαζόμενων, καθώς και σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ομάδες.

Όσον αφορά το ποσοστό των μυϊκών ινών, υψηλότερες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν σε σχέση με τα αποτελέσματα από το σύνολο των δοκιμαζόμενων, οι οποίες κυμαίνονταν από υψηλές μέχρι και σχεδόν άριστες (το r κυμαινόταν από 0,633 έως 0,939; $p < 0,01$) για τις ομάδες των αρχάριων, ισχύος και δύναμης. Καμία σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε για την ομάδα των μαραθωνοδρόμων ($p > 0,05$; αναλυτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.7).

Για την ομάδα ισχύος διαπιστώθηκαν υψηλές συσχετίσεις (το r κυμαινόταν από 0,502 έως 0,855; $p < 0,01$) για την CSA των ινών τύπου I, IIα, IIχ καθώς και για τον μέσο όρο όλων, όσον αφορά τις συσχετίσεις με την TA_{Total} , $TA_{Type I}$, $TA_{Type II}$, TA_{Min} και TA_{Max} . Για την ομάδα των μαραθωνοδρόμων οι συσχετίσεις μεταξύ της CSA όλων των παραμέτρων που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα και των TA_{Total} , $TA_{Type II}$ και TA_{Max} , κυμαινόταν από 0,769 έως 0,947 ($p < 0,01$). Για την ομάδα ισχύος και δύναμης, οι ίδιες συσχετίσεις που μόλις προαναφέρθηκαν κυμαίνονταν μεταξύ 0,872 έως 0,967 και 0,799 έως 0,930 αντίστοιχα ($p < 0,01$ αναλυτικά αποτελέσματα στον Πίνακα 4.8). Οι υψηλότερες τιμές διαπιστώθηκαν για την CSA των ινών IIα και IIχ, ιδιαίτερα για την ομάδα ισχύος.

Πίνακας 4.7. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και του ποσοστού των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$; ως σημείο αναφοράς) αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται.

Κατανομή Ινών	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής					F/S
	Total	Type I	Type II	Min	Max	
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=38)						
Τύπου I	-0,358*				-0,424*	-0,414*
Τύπου Πα						
Τύπου Πχ	0,416*				0,485*	0,477*
Τύπου II	0,346*				0,418*	0,418*
Αρχάριοι (n=10)						
Τύπου I	-0,803**	-0,725**		-0,637*	-0,822**	
Τύπου Πα		0,633*			0,635*	
Τύπου Πχ	0,709**				0,743**	
Τύπου II	0,802**	0,723**		0,638*	0,819**	
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)						
Τύπου I						
Τύπου Πα						
Τύπου Πχ						
Τύπου II						
Ισχύος (n=10)						
Τύπου I	-0,692*				-0,835**	-0,715**
Τύπου Πα					0,699**	0,637*
Τύπου Πχ	0,918**				0,939**	0,847**
Τύπου II	0,812**				0,847**	0,728**
Δύναμης (n=9)						
Τύπου I	-0,812**				-0,835**	
Τύπου Πα					0,672*	
Τύπου Πχ	0,759**				0,868**	
Τύπου II	0,699**				0,835**	

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA * $p<0,05$, ** $p<0,01$

Πίνακας 4.8. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων (n=38; ως σημείο αναφοράς) αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται.

Κατανομή Ινών	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής				
	Total	Type I	Type II	Min	Max
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=38)					
Τύπου I	0,924**	0,601**	0,879**		0,830**
Τύπου IIα	0,907**	0,584*	0,870**		0,840**
Τύπου IIχ	0,943**	0,458*	0,875**		0,899**
Μ.Ο Όλων	0,953**	0,576*	0,906**		0,887**
Αρχάριοι (n=10)*					
Τύπου I	0,800	0,797	0,699	0,662	0,806
Τύπου IIα	0,830	0,581	0,739	0,722	0,855
Τύπου IIχ	0,772	0,502	0,650	0,634	0,795
Μ.Ο Όλων	0,812	0,745	0,698	0,685	0,830
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)*					
Τύπου I	0,792	0,899	0,813		0,769
Τύπου IIα	0,798		0,947		0,856
Τύπου IIχ	0,853		0,846		0,860
Μ.Ο Όλων	0,786		0,907		0,818
Ισχύος (n=10)*					
Τύπου I	0,894	0,783	0,872		0,881
Τύπου IIα	0,852		0,952		0,910
Τύπου IIχ	0,903		0,967		0,909
Μ.Ο Όλων	0,949		0,958		0,935
Δύναμης (n=9)*					
Τύπου I	0,873	0,769	0,802		0,880
Τύπου IIα	0,822		0,865		0,808
Τύπου IIχ	0,860		0,799		0,840
Μ.Ο Όλων	0,931		0,888		0,930

Μ.Ο.: Μέσος όρος όλων των ινών; ΤΑ: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της ΤΑ; Type I: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της ΤΑ; Max: Μεγαλύτερη τιμή της ΤΑ; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης ΤΑ *p<0,05, **p<0,001.

Το %CSA των ινών τύπου I, IIα, IIχ και συνολικά οι II, παρουσίασαν σχεδόν εφάμιλλες συσχετίσεις με βάση αυτές του συνόλου, οι οποίες κυμαίνονταν μεταξύ 0,670 έως 0,890, 0,673 έως 0,903, -0,642 έως 0,937 και 0,503 έως 0,901 (p<0,01) για τις ομάδες των αρχαρίων, μαραθωνοδρόμων, ισχύος και δύναμης αντιστοίχως (αναλυτικά αποτελέσματα στον Πίνακα 4.9). Οι υψηλότερες τιμές διαπιστώθηκαν για την %CSA των ινών IIα και IIχ, ιδιαίτερα για την ομάδα ισχύος.

Πίνακας 4.9. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$; ως σημείο αναφοράς) αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται.

Κατανομή Ινών	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής					
	Total	Type I	Type II	Min	Max	F/S
Σύνολο Δοκιμαζόμενων ($n=38$)						
Τύπου I	-0,815**	-0,459*	-0,712**		-0,853**	-0,801**
Τύπου IIα	0,851**	0,466*	0,785**		0,778**	0,761**
Τύπου IIχ	0,899**	0,392*	0,746**		0,823**	0,732**
Τύπου II	0,812**	0,459*	0,713**		0,859**	0,801**
Αρχάριοι ($n=10$)*						
Τύπου I	-0,815	-0,806	-0,712	-0,702	-0,853	-0,745
Τύπου IIα	0,775	0,670	0,872		0,890	0,700
Τύπου IIχ	0,872	0,824	0,800	0,741	0,890	0,765
Τύπου II	0,890	0,806	0,737	0,726	0,902	0,723
Μαραθωνοδρόμοι ($n=9$)*						
Τύπου I	-0,863	-0,711	-0,859		-0,908	-0,673
Τύπου IIα	0,738	0,674	0,752		0,899	0,800
Τύπου IIχ	0,784		0,722		0,809	0,745
Τύπου II	0,863	0,711	0,859		0,908	0,673
Ισχύος ($n=10$)*						
Τύπου I	-0,747		-0,642		-0,857	-0,755
Τύπου IIα	0,799		0,789		0,930	0,709
Τύπου IIχ	0,920		0,900		0,937	0,728
Τύπου II	0,747		0,800		0,910	0,756
Δύναμης ($n=9$)*						
Τύπου I	-0,847		-0,666		-0,869	-0,588
Τύπου IIα	0,812		0,689		0,846	
Τύπου IIχ	0,876		0,518		0,901	0,503
Τύπου II	0,881		0,700		0,837	

M.O.: Μέσος όρος όλων των ινών; TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA* $p<0,05$, ** $p<0,001$.

Στους 2 επόμενους Πίνακες (4.10 και 4.11) παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ όλων των παραμέτρων της TA και της διαμέτρου και του παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυ.

Πίνακας 4.10. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και της διαμέτρου των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων (n=38; ως σημείο αναφοράς) αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται.

Κατανομή Ινών	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής				
	Total	Type I	Type II	Min	Max
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=38)					
Τύπου I	0,841**	0,588*	0,770**		0,780**
Τύπου IIα	0,902**	0,611*	0,800**		0,765**
Τύπου IIχ	0,908**	0,464*	0,765**		0,723**
Μ.Ο Όλων	0,878**	0,573*	0,824**		0,799**
Αρχάριοι (n=10)*					
Τύπου I	0,658	0,647	0,600		0,689
Τύπου IIα	0,699	0,500	0,678		0,740
Τύπου IIχ	0,666	0,400	0,66		0,693
Μ.Ο Όλων	0,694	0,645	0,694		0,730
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)*					
Τύπου I	0,777	0,673	0,777		0,729
Τύπου IIα	0,739		0,839		0,771
Τύπου IIχ	0,741		0,756		0,689
Μ.Ο Όλων	0,700		0,874		0,766
Ισχύος (n=10)*					
Τύπου I	0,794	0,674	0,742		0,733
Τύπου IIα	0,715		0,859		0,794
Τύπου IIχ	0,800		0,841		0,804
Μ.Ο Όλων	0,846		0,799		0,786
Δύναμης (n=9)*					
Τύπου I	0,769	0,669	0,700		0,712
Τύπου IIα	0,754		0,712		0,735
Τύπου IIχ	0,764		0,699		0,704
Μ.Ο Όλων	0,825		0,796		0,728

Μ.Ο.: Μέσος όρος όλων των ινών; TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA *p<0,05, **p<0,001

Πίνακας 4.11. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας και του παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου για το σύνολο των δοκιμαζόμενων (n=38; ως σημείο αναφοράς) αλλά και για κάθε ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται.

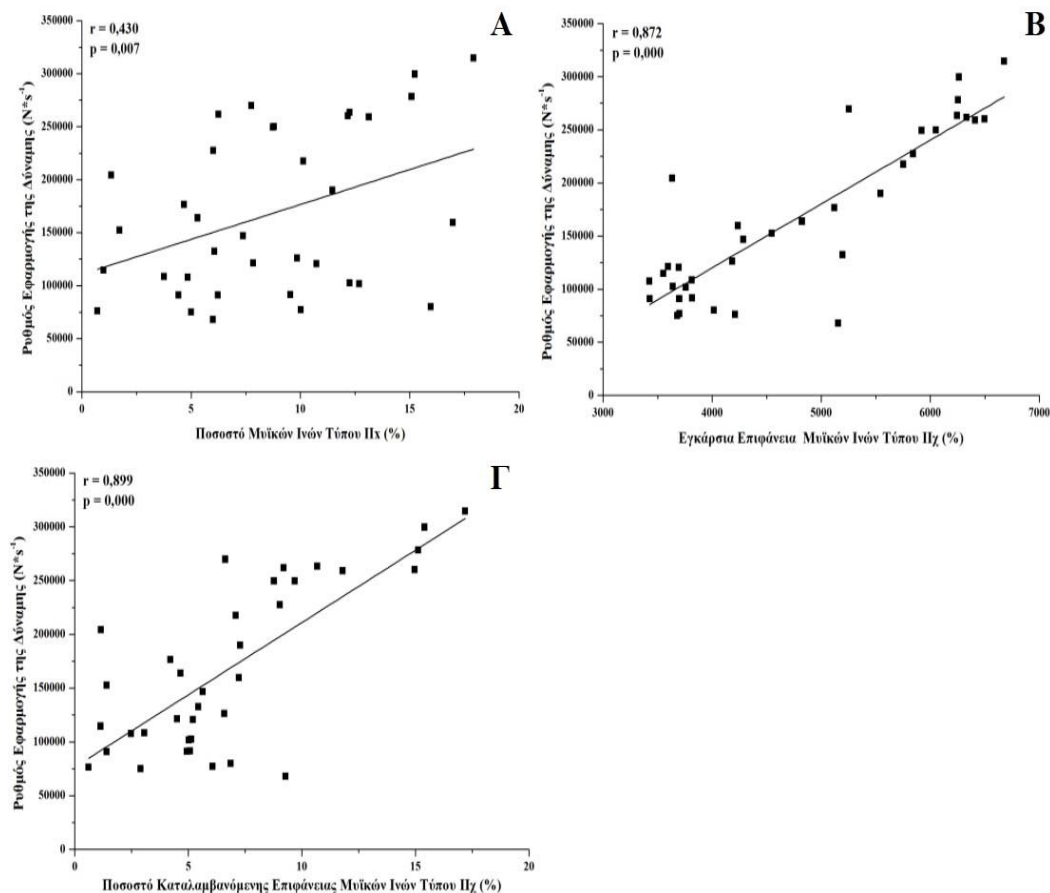
Κατανομή Ινών	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής				
	Total	Type I	Type II	Min	Max
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=38)					
Τύπου I	0,501*	0,539*	0,523*		0,456*
Τύπου IIα	0,874**	0,639*	0,800**		0,804**
Τύπου IIχ	0,800**	0,622*	0,793**		0,783**
Συνολικός	0,713**	0,560*	0,747**		0,706**
Αρχάριοι (n=10)*					
Τύπου I	0,799	0,646	0,500		0,800
Τύπου IIα	0,776	0,718	0,657		0,804
Τύπου IIχ	0,724	0,639	0,600		0,706
Συνολικός	0,729	0,700	0,615		0,831
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)*					
Τύπου I	0,886	0,771	0,806		0,861
Τύπου IIα	0,819	0,697	0,790		0,749
Τύπου IIχ	0,857	0,664	0,754		0,725
Συνολικός	0,746	0,589	0,637		0,798
Ισχύος (n=10)*					
Τύπου I	0,886		0,600		0,848
Τύπου IIα	0,686		0,700		0,850
Τύπου IIχ	0,799		0,815		0,884
Συνολικός	0,869		0,736		0,792
Δύναμης (n=9)*					
Τύπου I	0,745		0,566		0,725
Τύπου IIα	0,750		0,700		0,751
Τύπου IIχ	0,726		0,618		0,799
Συνολικός	0,689		0,700		0,742

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA *p<0,05, **p<0,001

Για το σύνολο των δοκιμαζόμενων (n=38), το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου I συσχετιζόταν μέτρια και αρνητικά με τις παραμέτρους της επίδοσης της αλτικής ικανότητας (το r κυμαινόταν από -0,420 έως -0,489; p<0,01; πίνακας 4.12). Μέτριες επίσης συσχετίσεις, αλλά θετικές, διαπιστώθηκαν για το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου IIχ (το r κυμαινόταν από 0,430 έως 0,526; p<0,01) και II (το r κυμαινόταν από 0,431 έως 0,505; p<0,01). Σημαντικότερες συσχετίσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλές μέχρι και σχεδόν τέλειες (Hopkins, 2000), διαπιστώθηκαν για την CSA (r: 0,521 - 0,854) και το %CSA (r: 0,510 - 0,899) όλων των μυϊκών ινών και της αλτικής επίδοσης, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων (Πίνακας 4.12).

Πίνακας 4.12. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και του ποσοστού, της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται ($p < 0,01$).

Παράμετροι Αλτικής Επίδοσης	Ποσοστό				Εγκάρσια Επιφάνεια				Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας			
	I	IIα	IIχ	II	I	IIα	IIχ	Μ.Ο. Όλων	I	IIα	IIχ	II
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=32)												
Μέγιστη Δύναμη	-0,482		0,526	0,500	0,589	0,568	0,661	0,629	-0,723	0,684	0,671	0,726
Μέση Δύναμη	-0,420		0,464	0,431	0,722	0,685	0,774	0,748	-0,752	0,694	0,809	0,753
ΡΕΔ			0,430		0,754	0,729	0,872	0,811	-0,773	0,689	0,899	0,775
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	-0,489		0,523	0,488	0,614	0,596	0,806	0,691	-0,747	0,587	0,889	0,746
Ισχύς	-0,505		0,516	0,505	0,678	0,851	0,854	0,745	-0,798	0,681	0,899	0,889
Σχετική Ισχύς	-0,445		0,477	0,450	0,691	0,669	0,854	0,762	-0,764	0,642	0,874	0,764
Υψος					0,526	0,651	0,658	0,582	-0,507		0,565	0,510
Αρχάριοι (n=10): Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση												
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)												
Μέγιστη Δύναμη												
Μέση Δύναμη												
ΡΕΔ			0,568									
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	-0,811	0,769	0,500	0,763								
Ισχύς			0,681									
Σχετική Ισχύς			0,734									
Υψος												
Ισχύος (n=10)												
Μέγιστη Δύναμη	-0,838	0,636	0,852	0,822	0,889	0,866	0,875	0,785	-0,806	0,722	0,858	0,822
Μέση Δύναμη					0,704	0,699	0,728	0,796		0,695	0,861	0,794
ΡΕΔ	-0,868	0,726	0,863	0,867	0,833	0,801	0,833	0,788	0,833	0,792	0,841	0,801
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	-0,754	0,652	0,806	0,781	0,810	0,866	0,877	0,804	-0,769	0,640	0,859	0,782
Ισχύς	-0,855	0,761	0,795	0,838	0,683	0,763	0,761	0,734	-0,860	0,823	0,856	0,813
Σχετική Ισχύς	-0,700	0,521	0,666	0,699	0,716	0,772	0,893	0,868	-0,777	0,623	0,800	0,789
Υψος												
Δύναμης (n=9)												
Μέγιστη Δύναμη	-0,667	0,500		0,667	0,717		0,772	0,737	-0,683			
Μέση Δύναμη					0,694							
ΡΕΔ	-0,747	0,680		0,747	0,785		0,699	0,756	-0,748	0,695	0,720	0,729
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	-0,601	0,541			0,666							
Ισχύς	-0,599				0,610							
Σχετική Ισχύς	-0,550				0,500							
Υψος												



Σχήμα 4.19. Συσχετίσεις μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση και (Α) του ποσοστού, (Β) της εγκάρσιας επιφάνειας και (Γ) του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου Πχ, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

Στον πίνακα 4.12, παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ του ποσοστού, της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών και των παραμέτρων επίδοσης κατά το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση. Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε για την ομάδα των αρχάριων ($p > 0,05$). Στους μαραθωνοδρόμους, το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Πχ συσχετιζόταν μέτρια με τον Ρ.Ε.Δ ($r = 0,568$, $p < 0,01$), την μέγιστη ισχύ ($r = 0,681$, $p < 0,01$) και υψηλά με την σχετική μέγιστη ισχύ ($r = 0,734$, $p < 0,01$). Παράλληλα, το εμβαδόν καμπύλης δύναμης-χρόνου σχετιζόταν αρνητικά με το ποσοστό των ινών τύπου Ι ($r = -0,811$, $p < 0,01$) και θετικά με των Ια, Ιχ και ΙΙ (r μεταξύ 0,500 και 0,763, $p < 0,01$). Υψηλές έως σχεδόν άριστες συσχετίσεις, και μάλιστα υψηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες του συνόλου, διαπιστώθηκαν μεταξύ σχεδόν όλων των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και του ποσοστού, της εγκάρσιας επιφάνειας, του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών για την ομάδα ισχύος (το r κυμαινόταν από 0,521 έως 0,889; $p < 0,01$), με τις υψηλότερες να βρίσκονται για τις ίνες τύπου Πχ. Η ομάδα δύναμης παρουσίασε υψηλές συσχετίσεις, μικρότερες

όμως από την ομάδα ισχύος, για την μέγιστη δύναμη με το ποσοστό και την CSA των ινών τύπου I, Πα και Π (το r κυμαινόταν από 0,500 έως 0,772; $p<0,01$), για τον ΡΕΔ με το ποσοστό και την CSA των ινών τύπου I, Πα και Π (το r κυμαινόταν από 0,680 έως 0,785; $p<0,01$), και με το %CSA όλων των μυϊκών ινών (το r κυμαινόταν από 0,695 έως -0,748; $p<0,01$). Τέλος, η ισχύς και η σχετική ισχύς συσχετίζονταν αρνητικά με το ποσοστό (-0,599 και -0,550 αντίστοιχα; $p<0,01$) και θετικά με την εγκάρσια των ινών τύπου I (0,610 και 0,500 αντίστοιχα; $p<0,01$; Πίνακας 4.12).

Μέτριες προς υψηλές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την διάμετρο (το r κυμαινόταν από 0,524 έως 0,796; $p<0,01$) και τους παράγοντες υπερτροφίας (το r κυμαινόταν από 0,520 έως 0,763; $p<0,01$; πίνακας 4.13) των μυϊκών ινών τύπου Πα, Πχ καθώς και για τον μέσο όρο όλων των ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Ωστόσο, φαίνεται ότι αυτές οι συσχετίσεις, διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος της συστηματικής προπόνησης. Συγκεκριμένα, σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μόνο για την ομάδα ισχύος, όπου η διάμετρος (το r κυμαινόταν από 0,500 έως 0,787; $p<0,01$) και οι παράγοντες υπερτροφίας (το r κυμαινόταν από 0,648 έως 0,860; $p<0,01$; Πίνακας 4.13) των όλων των τύπων των μυϊκών ινών καθώς και για τον μέσο όρο όλων των ινών σχετίζονταν με τις παραμέτρους της αλτικής επίδοσης.

Η μέγιστη δύναμη και ο ΡΕΔ κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών, συσχετιζόταν μέτρια με το ποσοστό των ινών τύπου Πχ (το r κυμαινόταν από 0,399 έως 0,489; $p<0,01$), αλλά υψηλά και σχεδόν άριστα με το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Πχ (το r κυμαινόταν από 0,569 έως 0,898; $p<0,01$; πίνακας 4.14) για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Υψηλότερες συσχετίσεις, οι οποίες σύμφωνα με την κατάταξη του Hopkins (2000) χαρακτηρίζονται ως υψηλές έως σχεδόν άριστες, διαπιστώθηκαν μεταξύ της μέγιστης δύναμης και του ΡΕΔ, στην ίδια άσκηση, με την εγκάρσια επιφάνεια (το r κυμαινόταν από 0,569 έως 0,899; $p<0,01$; πίνακας 4.14) και το %CSA (το r κυμαινόταν από 0,583 έως 0,938; $p<0,01$). Σε όλες τις περιπτώσεις οι ίνες τύπου Πχ είχαν τις υψηλότερες συσχετίσεις με τον ΡΕΔ, ενώ οι ίνες τύπου I είχαν αρνητικές συσχετίσεις (Πίνακας 4.14).

Πίνακας 4.13. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και της διαμέτρου και των παραγόντων υπερτροφίας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται ($p < 0,01$).

Παράμετροι Αλτικής Επίδοσης	Διάμετρος				Παράγοντας Υπερτροφίας			
	I	IIα	IIχ	Μ.Ο Όλων	I	IIα	IIχ	Μ.Ο. Όλων
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=32)								
Μέγιστη Δύναμη	0,530	0,563	0,617	0,551		0,618	0,572	0,496
Μέση Δύναμη	0,645	0,660	0,684	0,674		0,639		0,576
ΡΕΔ	0,676	0,714	0,719	0,716		0,694	0,763	0,623
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	0,609	0,674	0,624	0,665		0,587	0,713	0,571
Ισχύς	0,637	0,796	0,638	0,688		0,659	0,738	0,622
Σχετική Ισχύς	0,656	0,710	0,649	0,704		0,671	0,732	0,632
Υψος	0,560	0,524	0,568	0,521		0,577	0,540	0,520
Αρχάριοι (n=10): Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση								
Μαραθωνοδρόμοι (n=9): Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση								
Ισχύος (n=10)								
Μέγιστη Δύναμη	0,745	0,712	0,690	0,691	0,774	0,733	0,754	0,794
Μέση Δύναμη		0,524		0,635	0,745	0,711	0,719	0,757
ΡΕΔ	0,710	0,700	0,636	0,633	0,735	0,779	0,733	0,721
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	0,615	0,745	0,799	0,711	0,860	0,703	0,714	0,763
Ισχύς	0,525	0,666			0,726	0,709	0,712	0,769
Σχετική Ισχύς	0,500	0,689	0,787	0,781	0,736	0,646		
Υψος								
Δύναμης (n=9)								
Μέγιστη Δύναμη	0,600							
Μέση Δύναμη	0,545							
ΡΕΔ	0,685							
Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	0,512							
Ισχύς	0,500							
Σχετική Ισχύς	0,485							
Υψος								

Μ.Ο.: Μέσος όρος όλων των ινών; ΡΕΔ: Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης.

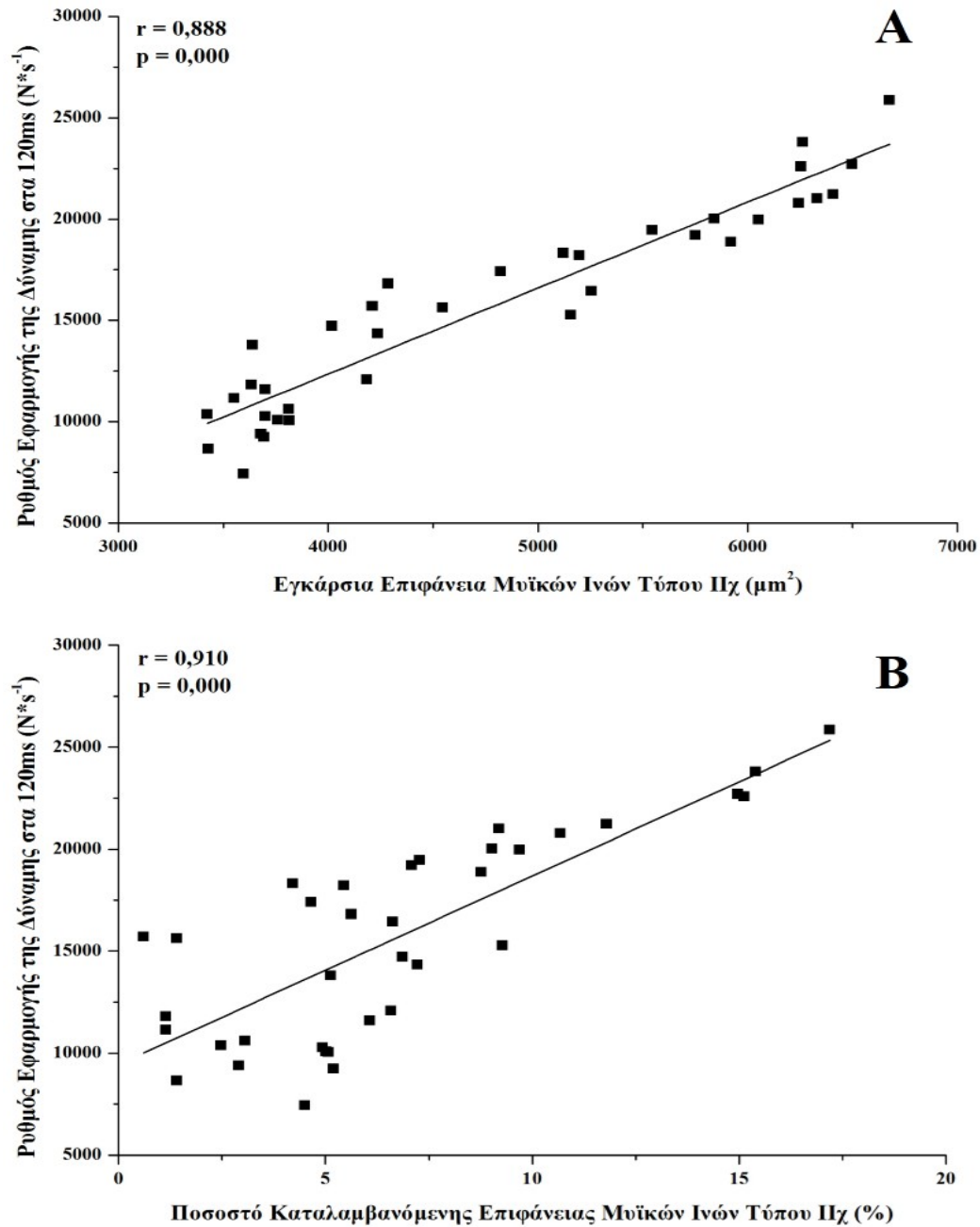
Πίνακας 4.14. Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών και του ποσοστού, εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά ($p < 0,01$).

Παράμετροι Επίδοσης	Ποσοστό				Εγκάρσια Επιφάνεια				Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας			
	I	IIα	IIχ	II	I	IIα	IIχ	M.O. Όλων	I	IIα	IIχ	II
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=32)												
Μέγιστη Δύναμη			0,489		0,771	0,734	0,728	0,768	-0,699	0,665	0,663	0,698
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης					0,569	0,603	0,662	0,619	-0,412		0,475	0,412
20ms					0,688	0,698	0,794	0,746	-0,616		0,788	0,615
40ms					0,799	0,792	0,860	0,839	0,723	0,583	0,850	0,718
60ms			0,399	0,380	0,898	0,890	0,899	0,839	-0,824	0,723	0,938	0,823
100ms			0,476	0,389	0,898	0,834	0,888	0,841	-0,838	0,749	0,910	0,838
120ms			0,484	0,401	0,886	0,827	0,821	0,794	-0,845	0,783	0,895	0,847
150ms			0,489	0,411	0,849	0,729	0,786	0,781	-0,827	0,787	0,866	0,833
200ms	-0,412		0,497	0,425	0,845	0,700	0,777	0,749	-0,824	0,793	0,750	0,828
250ms	-0,455		0,484	0,455								
Αρχάριοι (n=10)												
Μέγιστη Δύναμη					0,656		0,665					
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης					0,693	0,723	0,709	0,715	-0,729	0,784		
20ms					0,789	0,824	0,487	0,808	-0,750	0,814		
40ms					0,881	0,884	0,848	0,882	-0,821	0,790	0,745	
60ms					0,797	0,816	0,733	0,781	-0,748	0,762	0,823	
100ms	-0,798		0,752	0,797	0,758			0,651	-0,643	0,666	0,792	
120ms	-0,771		0,755	0,765		0,686				0,600	0,684	
150ms	-0,632		0,700									
200ms			0,646								0,666	
250ms											0,647	
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)												
Μέγιστη Δύναμη					0,715	0,815	0,895	0,832	-0,730			
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης					0,765	0,885	0,888	0,882	-0,803	0,678	0,738	0,700
20ms					0,816	0,934	0,927	0,892	-0,863	0,685	0,832	0,715
40ms					0,889	0,938	0,930	0,794	-0,895	0,687	0,884	0,763
60ms					0,884	0,917	0,883	0,801	-0,868	0,701	0,826	0,750
100ms					0,856	0,780	0,853	0,804	-0,835	0,727	0,746	0,725
120ms							0,755	0,769	-0,672	0,744	0,700	0,689
150ms							0,800		-0,603	0,706		
200ms												
250ms												
Ισχύος (n=10)												
Μέγιστη Δύναμη						0,800	0,815	0,800	-0,703	0,689	0,714	0,725
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης						0,896	0,879	0,794	-0,715	0,701	0,766	0,696
20ms						0,905	0,924	0,806	-0,735	0,706	0,800	0,711
40ms								0,826	-0,747	0,703	0,850	0,826
60ms								0,801	-0,838	0,717	0,940	0,898
100ms	-0,697		0,752	0,688	0,876	0,905	0,943	0,823	-0,864	0,756	0,924	0,890
120ms	-0,809		0,832	0,790	0,869	0,909	0,946	0,801				
150ms	-0,853		0,861	0,825	0,839	0,900	0,936	0,823				
200ms	-0,884	0,722	0,813	0,833		0,800	0,856	0,726	-0,884	0,855	0,870	0,784
250ms	-0,832	0,807	0,725	0,811				0,710	-0,818	0,837	0,759	0,700

Παράμετροι Επίδοσης	Ποσοστό				Εγκάρσια Επιφάνεια				Ποσοστό Καταλαμβανόμενης Επιφάνειας			
	I	IIα	IIχ	II	I	IIα	IIχ	Μ.Ο. Όλων	I	IIα	IIχ	II
Δύναμης (n=9)												
Μέγιστη Δύναμη												
20ms												
40ms												
60ms												
100ms							0,737	0,710				
120ms			0,781		0,685		0,824	0,804		0,741	0,867	
150ms	-0,755		0,841	0,755			0,703	0,755	-0,818	0,815	0,878	0,683
200ms			0,670							0,664		0,775
250ms			0,765						-0,688	0,715	0,809	0,729

Μ.Ο.: Μέσος όρος όλων των ινών.

Και πάλι διαπιστώθηκαν διαφοροποιήσεις όσον αφορά τις συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών και του ποσοστού, της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών ανάλογα την ομάδα. Το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου IIχ, παρουσίασε υψηλότερες συσχετίσεις με τον ΡΕΔ (το r κυμαινόταν από 0,646 έως 0,861; $p < 0,01$; Πίνακας 4.14), σε όλες τις ομάδες, με εξαίρεση την ομάδα των μαραθωνοδρόμων που δεν διαπιστώθηκε καμία σημαντική συσχέτιση. Σχεδόν εφάμιλλες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την ομάδα των αρχαρίων και των μαραθωνοδρόμων, σε σχέση με τις αντίστοιχες του γενικού συνόλου, όσον αφορά την CSA και το %CSA όλων των ινών (αναλυτικά αποτελέσματα στον Πίνακα 4.14). Πολύ υψηλές συσχετίσεις για αυτές τις παραμέτρους, σε σχέση με τις άλλες ομάδες και το γενικό σύνολο διαπιστώθηκαν για την ομάδα ισχύος (το r κυμαινόταν από 0,689 έως 0,940; $p < 0,01$). Και πάλι σε κάθε περίπτωση οι πιο υψηλές συσχετίσεις ανά ομάδα διαπιστώθηκαν για τις ίνες τύπου IIχ. Τα αποτελέσματα για την διάμετρο και τον παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.15, αποτελέσματα τα οποία ήταν εφάμιλλα, αλλά είχαν ελαφρώς μικρότερες συσχετίσεις, με τα προηγούμενα.

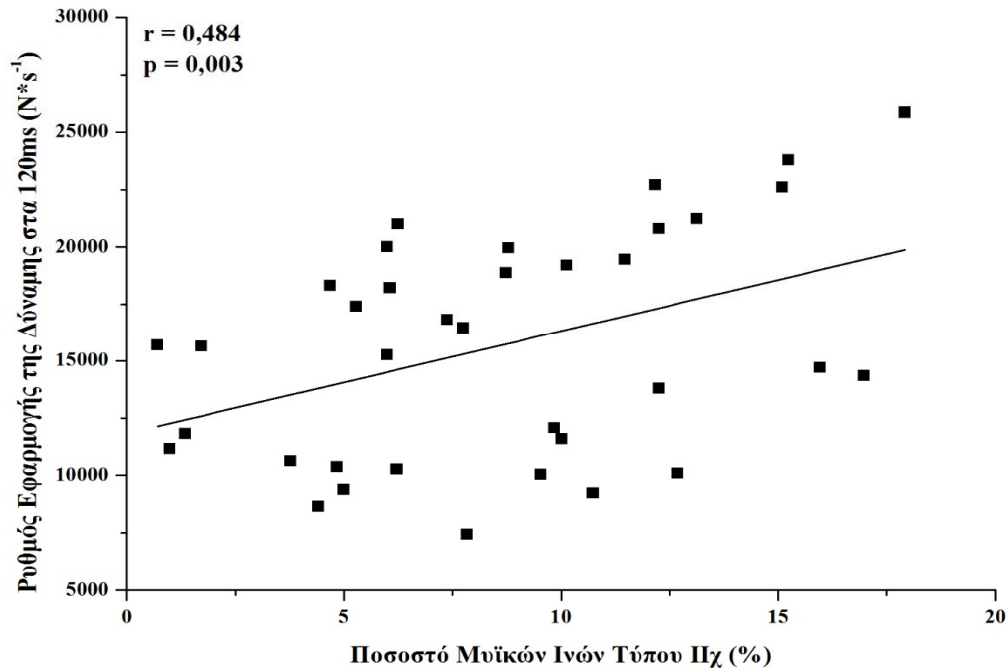


Σχήμα 4.20. Συσχέτιση μεταξύ ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών και (A) εγκάρσιας επιφάνειας και (B) ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II του έξω πλατύ μηριαίου μυός και για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

Πίνακας 4.15. Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών και της διαμέτρου και του παράγοντα υπερτροφίας όλων των μυϊκών ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά ($p < 0,01$).

Παράμετροι Επίδοσης		Διάμετρος				Παράγοντας Υπερτροφίας			
		I	IIα	IIχ	II	I	IIα	IIχ	Μ.Ο. Όλων
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=32)									
Μέγιστη Δύναμη		0,724	0,718	0,715	0,726	0,403	0,693	0,629	0,669
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης	20ms	0,585	0,588	0,614	0,611	0,554	0,517	0,625	0,461
	40ms	0,678	0,718	0,731	0,730	0,478	0,650	0,655	0,555
	60ms	0,772	0,799	0,801	0,740	0,458	0,671	0,698	0,636
	100ms	0,876	0,812	0,879	0,765	0,482	0,717	0,710	0,757
	120ms	0,882	0,821	0,879	0,809	0,483	0,732	0,789	0,772
	150ms	0,862	0,800	0,859	0,789	0,453	0,725	0,801	0,746
	200ms	0,814	0,756	0,818	0,748	0,411	0,689	0,801	0,746
	250ms	0,831	0,762	0,814	0,748	0,402	0,707	0,787	0,752
Αρχάριοι (n=10): Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση									
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)									
Μέγιστη Δύναμη									
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης	20ms	0,725		0,615	0,600				
	40ms	0,696		0,641	0,602				
	60ms	0,711	0,709	0,700	0,615				
	100ms	0,828	0,803	0,706	0,677	0,735			
	120ms	0,790	0,836	0,765	0,643	0,770			
	150ms		0,715	0,792	0,655	0,702			
	200ms			0,800	0,625	0,725			
	250ms				0,612	0,720			
Ισχύος (n=10)									
Μέγιστη Δύναμη									
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης	20ms		0,700	0,659	0,689	0,700	0,650	0,700	0,669
	40ms		0,725	0,711	0,709	0,715	0,662	0,705	0,700
	60ms		0,755	0,765	0,759	0,750	0,689	0,710	0,700
	100ms		0,800	0,800	0,800	0,782	0,700	0,746	0,782
	120ms		0,856	0,815	0,825	0,871	0,722	0,766	0,805
	150ms	0,733	0,845	0,820	0,835	0,828	0,754	0,787	0,825
	200ms	0,704	0,796	0,801	0,800	0,702	0,706	0,727	0,856
	250ms		0,752	0,756	0,766	0,671	0,794	0,676	0,759
Δύναμης (n=9)									
Μέγιστη Δύναμη									
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης	20ms					0,665			
	40ms					0,675			
	60ms					0,701			0,691
	100ms			0,614		0,725		0,691	0,691
	120ms			0,755		0,790		0,784	
	150ms			0,625		0,800	0,676		
	200ms			0,611		0,760			
	250ms					0,743	0,676		

Μ.Ο.: Μέσος όρος όλων των ινών.



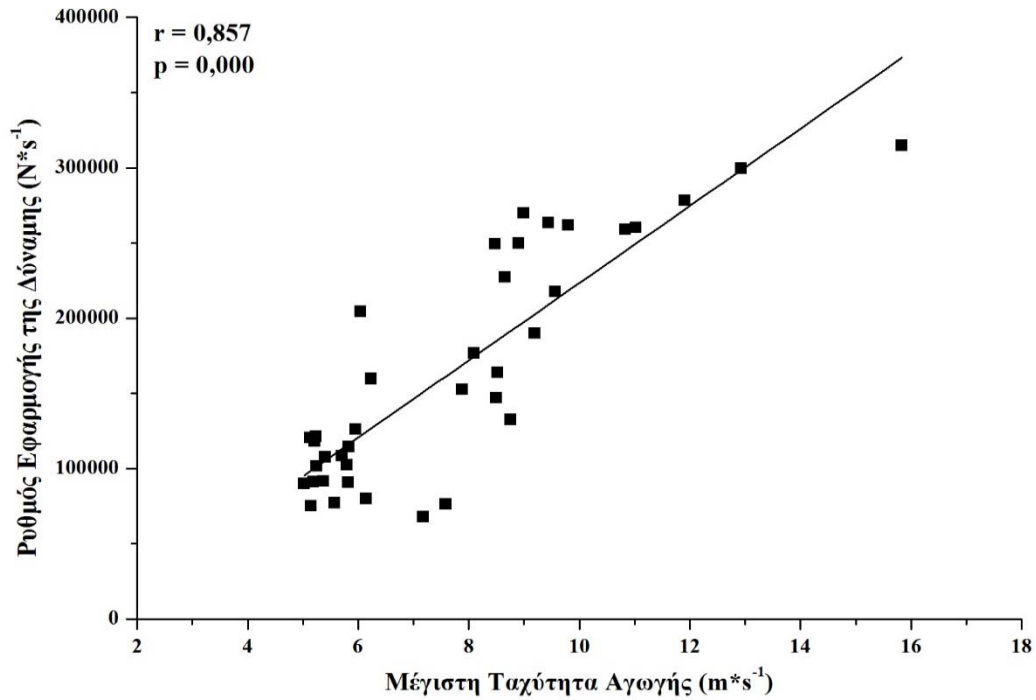
Σχήμα 4.21. Συσχέτιση μεταξύ ποσοστού μυϊκών ινών έξω πλατύ μηριαίου μυός και ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

Τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ της αλτικής επίδοσης και των παραμέτρων της ΤΑ, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.16. Για το σύνολο των δοκιμαζόμενων, υψηλές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ της TA_{Total} , $TA_{Type II}$, TA_{Max} και F/S ($r: 0,515-0,858$, $p<0.01$). Μικρές, αλλά σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την $TA_{Type I}$ ($r: 0,331-0,439$, $p<0.01$) και τοις παραμέτρους της αλτικής επίδοσης. Για τις ομάδες των αρχάριων και των μαραθωνοδρόμων, μόνο η TA_{Total} συσχετιζόταν μέτρια με τις παραμέτρους της αλτικής ικανότητας ($r: 0,512-0,666$, $p<0.01$). Υψηλές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την TA_{Total} , TA_{Max} και F/S για την ομάδα δύναμης ($r: 0,589-0,832$, $p<0.01$). Υψηλότερες συσχετίσεις, διαπιστώθηκαν TA_{Total} , $TA_{Type II}$, TA_{Max} και F/S για την ομάδα ισχύος ($r: 0,600-0,937$, $p<0.01$). Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε για την TA_{Min} . Πάντα οι υψηλότερες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την TA_{Max} .

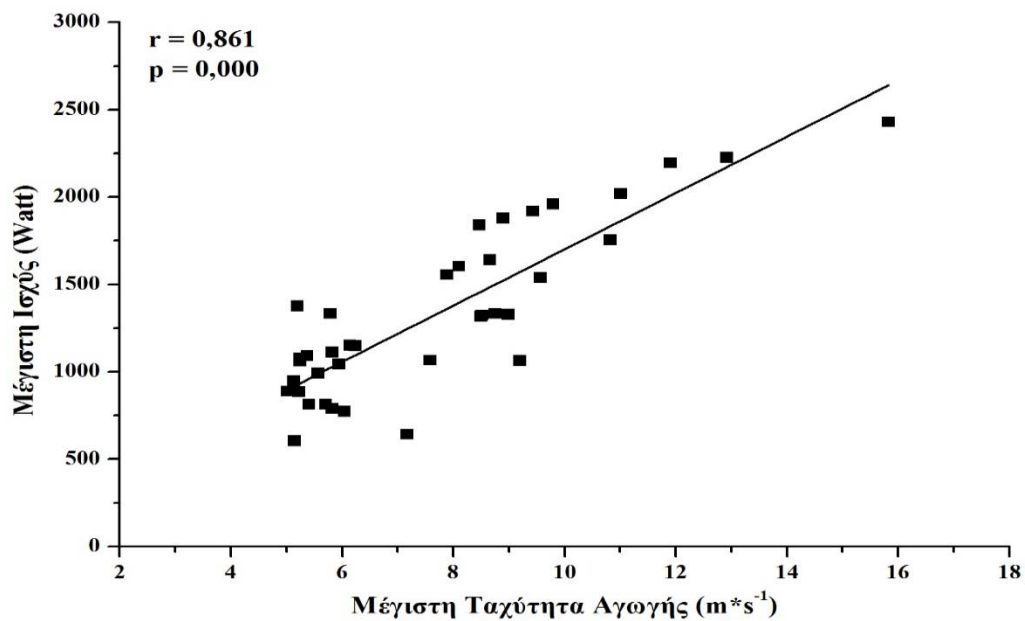
Πίνακας 4.16. Συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται ($p < 0,01$).

Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής	Παράμετροι Επίδοσης Επιτόπιου Άλματος με Αιώρηση						
	Μέγιστη Δύναμη	Μέση Δύναμη	ΡΕΔ	Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	Ισχύς	Σχετική Ισχύς	Ύψος
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=32)							
Total	0,711	0,823	0,858	0,785	0,839	0,846	0,667
Type I	0,331	0,384	0,392	0,392	0,439	0,409	0,384
Type II	0,584	0,715	0,781	0,693	0,756	0,783	0,602
Min							
Max	0,753	0,864	0,857	0,804	0,861	0,849	0,659
F/S	0,692	0,822	0,808	0,702	0,759	0,732	0,515
Αρχάριοι (n=10)							
Total	0,512	0,682	0,666	0,586	0,600	0,601	0,500
Type I							
Type II							
Min							
Max							
F/S							
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)							
Total	0,525	0,612	0,623	0,514	0,589	0,574	0,503
Type I							
Type II							
Min							
Max							
F/S							
Ισχύς (n=10)							
Total	0,919	0,896	0,889	0,908	0,875	0,872	0,700
Type I							
Type II	0,600	0,809	0,845	0,893	0,865	0,888	0,715
Min							
Max	0,923	0,937	0,931	0,869	0,889	0,723	0,625
F/S	0,701	0,813	0,858	0,739	0,783		
Δύναμης (n=9)							
Total	0,693	0,703	0,672	0,669	0,689	0,701	0,604
Type I							
Type II							
Min							
Max	0,689	0,715	0,807	0,832	0,755	0,700	0,589
F/S	0,700	0,769	0,786	0,699	0,766		

TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA; ΡΕΔ: Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης.

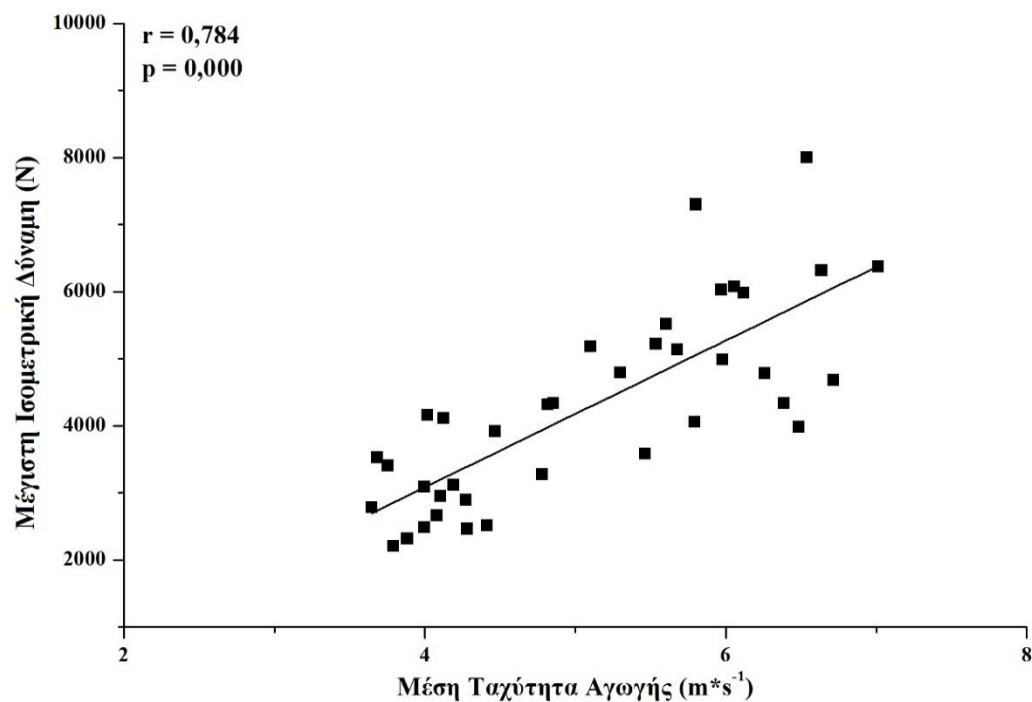


Σχήμα 4.22. Συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση και την μέγιστη ταχύτητα των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μύος και για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



Σχήμα 4.23. Συσχέτιση μεταξύ της ισχύος κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση και την μέγιστη ταχύτητα των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μύος για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

Στον πίνακα 4.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και της μέγιστης δύναμης και του ΡΕΔ κατά την αξιολόγηση της ισομετρικής δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών. Στο σύνολο των δοκιμαζόμενων διαπιστώθηκαν υψηλές συσχετίσεις μεταξύ της TA_{Total} , $TA_{Type II}$, TA_{Max} και F/S (r : 0,499-0,970, $p < 0.01$) και των παραμέτρων επίδοσης. Μικρότερες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την $TA_{Type I}$ (r : 0,337-0,648, $p < 0.01$). Παρόμοιες συσχετίσεις, σε σχέση με το γενικό σύνολο, διαπιστώθηκαν για την ομάδα των αρχάριων (r : 0,538-0,924, $p < 0.01$), των μαραθωνοδρόμων (r : 0,614-0,962, $p < 0.01$) και της δύναμης (r : 0,679-0,869, $p < 0.01$). Οι υψηλότερες συσχετίσεις, σε σχέση με τις αντίστοιχες συσχετίσεις τόσο για το σύνολο όσο και με την κάθε ομάδα ξεχωριστά διαπιστώθηκαν για την ομάδα ισχύος (r : 0,642-0,977, $p < 0.01$; αναλυτικά αποτελέσματα στον πίνακα 4.17). Καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση δεν διαπιστώθηκε για την TA_{Min} . Πάντα οι υψηλότερες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για την TA_{Total} , $TA_{Type II}$, TA_{Max} και τον ΡΕΔ, από τα 100ms έως τα 150ms.

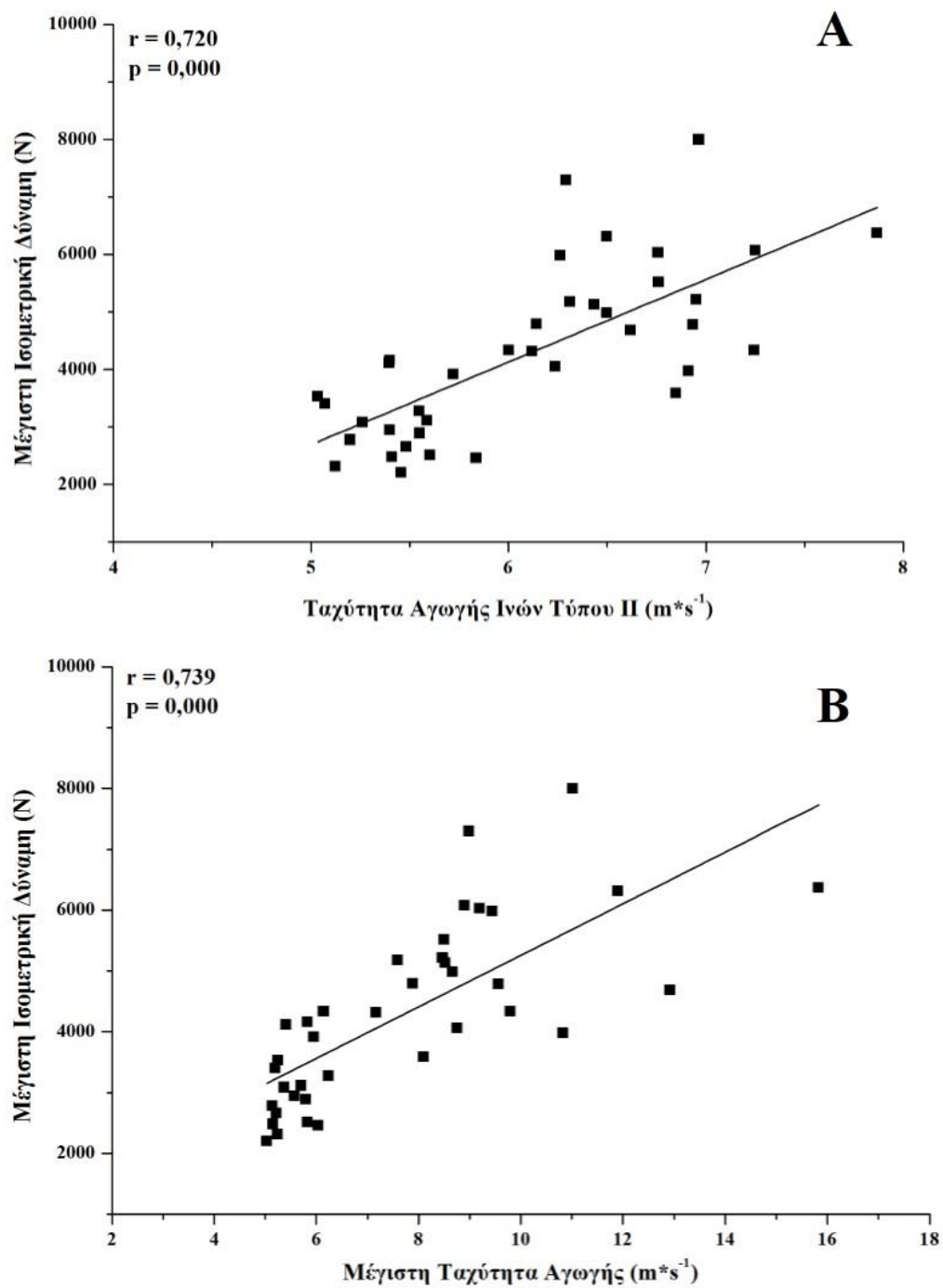


Σχήμα 4.24. Συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την άσκηση πιέσεων ποδιών και της μέσης ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μύος για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

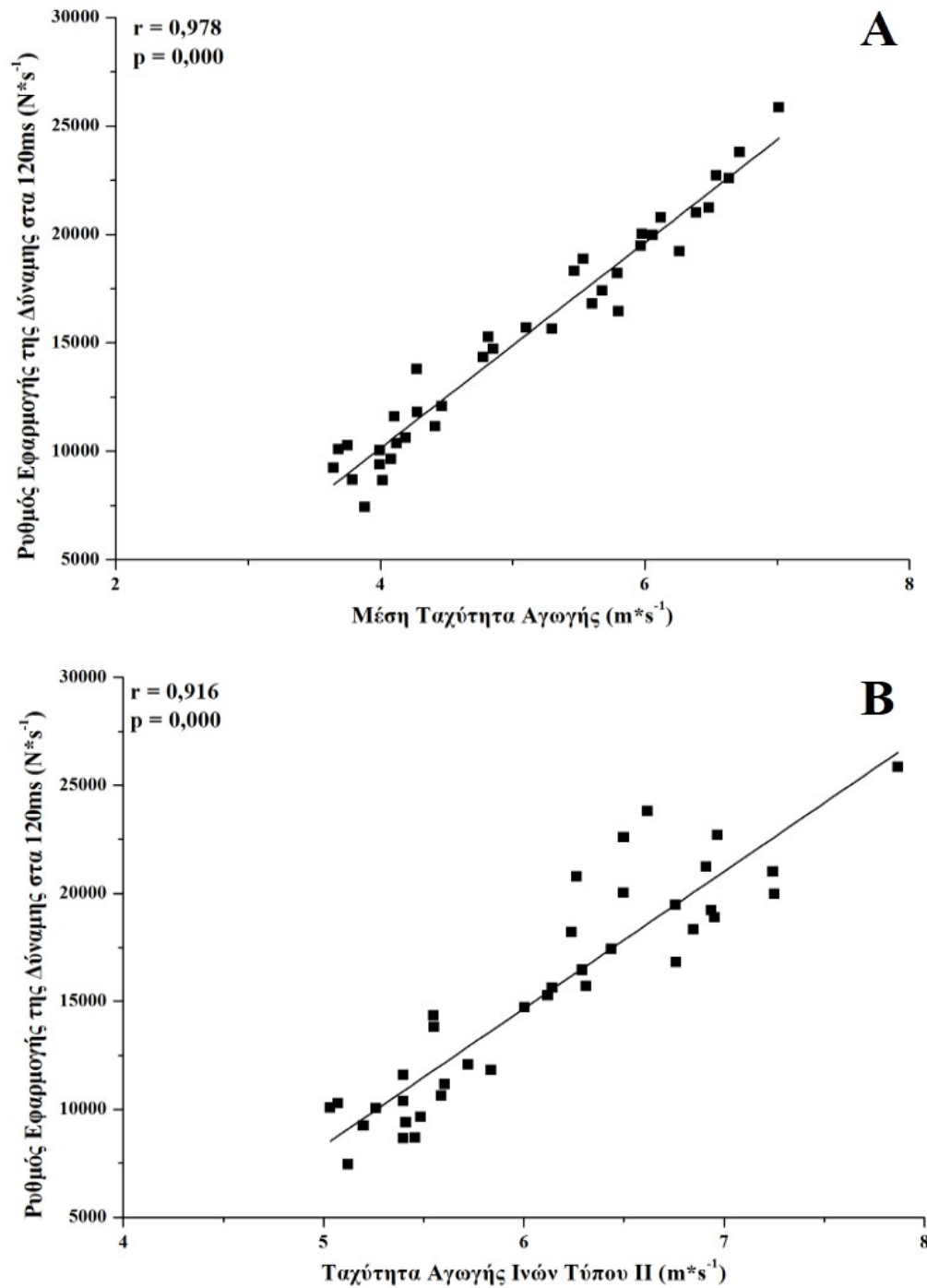
Πίνακας 4.17. Συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης δύναμης και του PEA κατά την αξιολόγηση της ισομετρικής δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων και για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται ($p < 0,01$).

Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής	Παράμετροι Επίδοσης Ισομετρικής Άσκησης Πιέσεων ποδιών								
	Μέγιστη Δύναμη	Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης							
		20ms	40ms	60ms	100ms	120ms	150ms	200ms	250ms
Σύνολο Δοκιμαζόμενων (n=32)									
Total	0,784	0,524	0,716	0,838	0,971	0,978	0,968	0,938	0,925
Type I	0,529	0,346	0,337	0,401	0,619	0,631	0,648	0,619	0,621
Type II	0,720	0,559	0,681	0,797	0,909	0,916	0,893	0,847	0,866
Min									
Max	0,739	0,508	0,712	0,829	0,931	0,978	0,938	0,903	0,895
F/S	0,732	0,449	0,670	0,759	0,791	0,797	0,804	0,805	0,798
Αρχάριοι (n=10)									
Total	0,583			0,745	0,800	0,823	0,727	0,648	0,640
Type I				0,715	0,895	0,863	0,732	0,648	
Type II	0,632				0,876	0,828	0,722		
Min									
Max			0,748	0,722	0,924	0,902	0,768	0,726	0,639
F/S									
Μαραθωνοδρόμοι (n=9)									
Total				0,636	0,921	0,957	0,962	0,768	0,764
Type I					0,774	0,783	0,793	0,673	
Type II	0,614				0,800	0,819	0,879	0,888	0,801
Min									
Max			0,748	0,815	0,908	0,901	0,858	0,700	0,679
F/S	0,716		0,705	0,700					
Ισχύος (n=10)									
Total	0,800	0,642	0,735	0,836	0,939	0,967	0,960	0,799	0,800
Type I									
Type II	0,759	0,730	0,790	0,834	0,922	0,944	0,856	0,786	0,800
Min									
Max	0,800	0,648	0,703	0,800	0,910	0,977	0,970	0,878	0,722
F/S	0,756		0,725	0,775	0,865	0,737	0,675	0,653	
Δύναμης (n=9)									
Total	0,759					0,787	0,869	0,679	0,736
Type I									
Type II	0,729			0,718	0,846	0,776	0,786	0,777	0,703
Min									
Max	0,725					0,786	0,871	0,856	0,797
F/S	0,746								

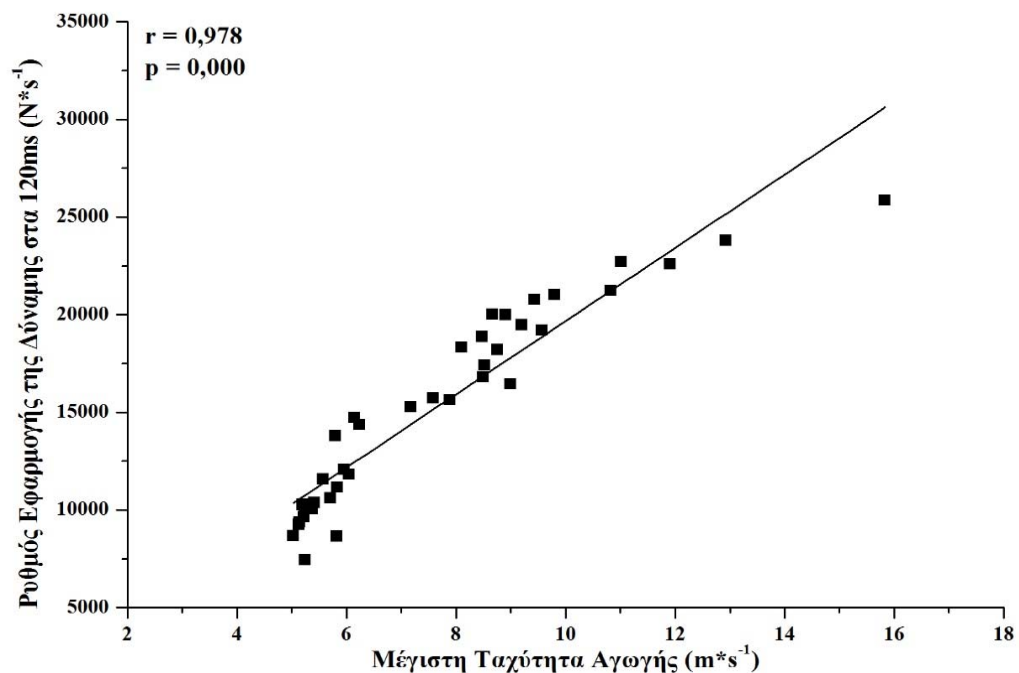
TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA;



Σχήμα 4.25. Συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την άσκηση πιέσεων ποδιών και του (A) τύπου II και (B) της μέγιστης ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



Σχήμα 4.26. Συσχέτιση μεταξύ ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την άσκηση πιέσεων ποδιών και της (Α) μέσης και (Β) του τύπου II ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).



Σχήμα 4.27. Συσχέτιση μεταξύ ρυθμού εφαρμογής της δύναμης στα 120ms κατά την άσκηση πιέσεων ποδιών και της μέγιστης ταχύτητας των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μύος για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=38$).

Ένα από τα σημαντικά ερωτήματα της παρούσας έρευνας ήταν το κατά πόσο οι συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ και των παραμέτρων της επίδοσης, επηρεάζονται από την κατανομή των μυϊκών ινών. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε και έλεγχος για αυτή την πιθανή επίδραση μέσω της μερικής συσχέτισης (Partial Correlation). Ωστόσο, λόγω των προϋποθέσεων αυτής της ανάλυσης (Hopkins, 2000; Johnson et al., 2008; Watkins & Portney, 2009) ως προς το μέγεθος του δείγματος (απαραίτητος αριθμός δοκιμαζόμενων >10), η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε μόνο για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Από την ανάλυση αυτή διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της CSA και του %CSA των ινών τύπου ΙΙχ, στο μέγεθος των συσχετίσεων, με αποτέλεσμα είτε να εξαλείφονται είτε να μειώνεται σημαντικά η ισχύς τους. Δεν διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση για τις άλλες παραμέτρους της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μύος. Τα αποτελέσματα της μερικής συσχέτισης παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.18 και 4.19 (γίνεται και αναφορά των κανονικών συσχετίσεων, ώστε να γίνεται εμφανής η διαφορά της επίδρασης). Καμία επίδραση δεν διαπιστώθηκε για της συσχετίσεις της $TA_{Type\ I}$.

Πίνακας 4.18. Επίδραση του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ, στις συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της αλτικής επίδοσης και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται ($p < 0,05$).

Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής	Παράμετροι Επίδοσης Επιτόπιου Άλματος με Αιώρηση						
	Μέγιστη Δύναμη	Μέση Δύναμη	ΡΕΔ	Εμβ. Καμπύλης Δύναμης-Χρόνου	Ισχύς	Σχετική Ισχύς	Ύψος
Total	0.416	0.619		0.458			
Type I	0,331	0,384	0,392	0,392	0,439	0,409	0,384
Type II							
Min							
Max		0.639					
F/S		0.601					

Τ.Α.: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της ΤΑ; Type I: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου Ι μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου ΙΙ μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της ΤΑ; Max: Μεγαλύτερη τιμή της ΤΑ; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης ΤΑ

Πίνακας 4.19. Επίδραση του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ, στις συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης δύναμης και του ΡΕΔ κατά την αξιολόγηση της ισομετρικής δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών και των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Μόνο οι στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις παρουσιάζονται ($p < 0,05$).

Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής	Παράμετροι Επίδοσης Ισομετρικής Άσκησης Πιέσεων ποδιών								
	Μέγιστη Δύναμη	Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης							
		20ms	40ms	60ms	100ms	120ms	150ms	200ms	250ms
Total	0,499				0,401	0,499	0,524	0,555	0,626
Type I	0,529			0,401	0,619	0,631	0,648	0,619	0,521
Type II							0,500	0,518	0,506
Min									
Max									0,541
F/S									0,552

Τ.Α.: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της ΤΑ; Type I: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου Ι μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου ΙΙ μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της ΤΑ; Max: Μεγαλύτερη τιμή της ΤΑ; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης ΤΑ

Η ανάλυση της πολλαπλής παλινδρόμησης, παρουσίασε σημαντικές εξισώσεις πρόβλεψης για την εκτίμηση του %CSA των ινών τύπου Ια και ΙΙχ, καθώς και της εγκάρσιας επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών ($p=0,000$), μέσα από τον συνδυασμό των παραμέτρων της αλτικής ικανότητας, της ισομετρικής αξιολόγησης της δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών και των παραμέτρων της ΤΑ. Οι εξισώσεις και τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται παρακάτω:

- %CSA Ια (%):** $28,697 + (RFD_{150ms} \cdot 0,001) + (F/S \cdot 1,805) - (Υψος \text{ άλματος} \cdot 24,097)$, $r=0,836$, $r^2=0,707$, $F=26,784$, $p=0,000$.
- %CSA ΙΙ (%):** $20,829 + (RFD_{150ms} \cdot 0,001) + (F/S \cdot 3,426)$, $r=0,871$, $r^2=0,758$, $F=54,862$, $p=0,000$.
- Type I CSA (μm^2):** $430,946 + (TA_{Total} \cdot 989,068) - (TA_{Max} \cdot 121,786)$, $r=0,933$, $r^2=0,871$, $F=117,745$, $p=0,000$.

- d. **Type IIa CSA (μm^2):** $308,083 + (TA_{\text{Total}} \cdot 1043,316) + (RFD_{20\text{ms}} \cdot 0,077)$, $r = 0,919$, $r^2 = 0,845$, $F = 95,218$, $p = 0,000$.
- e. **Type IIx CSA (μm^2):** $1976,936 + (RFD_{120\text{ms}} \cdot 0,103) + (RFD_{40\text{ms}} \cdot 0,032) - (TA_{\text{Type I}} \cdot 420,133) + (TA_{\text{Total}} \cdot 497,221)$, $r = 0,968$, $r^2 = 0,935$, $F = 114,412$, $p = 0,000$.

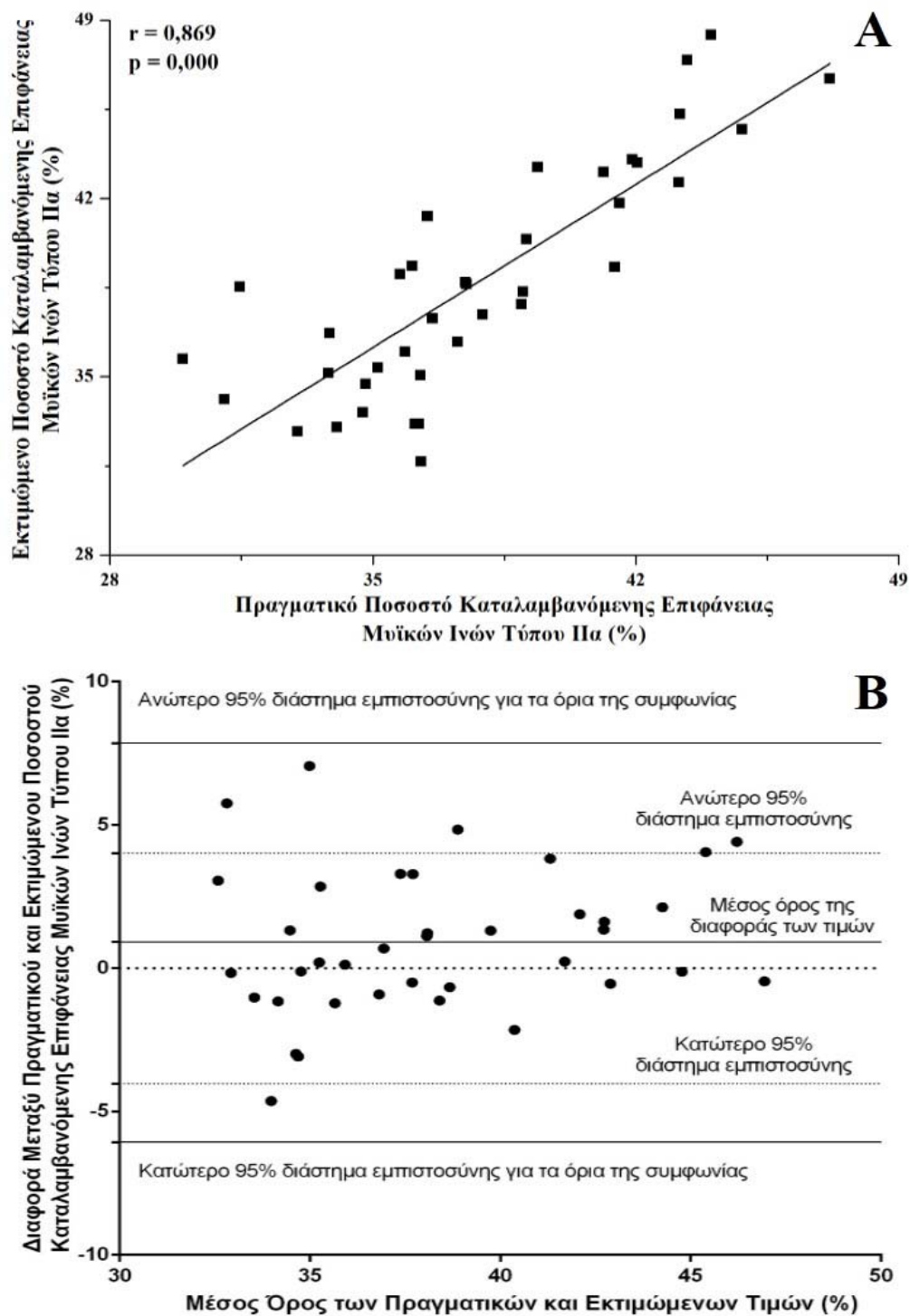
Το $RFD_{\text{χms}}$ αναφέρεται στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης στα χms κατά την αξιολόγηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών, εκφρασμένο σε $\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$. Το ύψος άλματος αναφέρεται στο ύψος κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση, εκφρασμένο σε μέτρα. Η TA_{Total} αναφέρεται στο μέσο όρο της TA όλων των ινών, η TA_{Max} στη μεγαλύτερη τιμή της TA , η $TA_{\text{Type I}}$ αναφέρεται στο μέσο όρο της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες, και είναι εκφρασμένες προς $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Τέλος ο λόγος F/S αναφέρεται στο λόγο μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA . Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και τα στατιστικά αποτελέσματα από τις αναλύσεις αξιοπιστίας και εγκυρότητας για κάθε μια από τις εξισώσεις πρόβλεψης, σε σύγκριση με τις μετρούμενες τιμές.

Μέσα από τις αναλύσεις εγκυρότητας και αξιοπιστίας, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται παραπάνω, διαπιστώνεται ότι οι εξισώσεις πρόβλεψης για την εκτίμηση του %CSA των ινών τύπου IIa και IIx, καθώς και της εγκάρσιας επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών, παρουσιάζουν, ατομικές τιμές πρόβλεψης, για κάθε άτομο αλλά και συγκεντρωτικά, σχεδόν ίδιες με τις πραγματικές. Αυτό καταρχάς διαπιστώθηκε από την σύγκριση των κατανομών των συχνοτήτων, όπου η ανάλυση Chi-Square Goodness of Fit Test, δεν φανέρωσε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά, μεταξύ των κατανομών των πραγματικών και των προβλεπόμενων τιμών (%CSA IIa: $\chi^2 = 1406,00$, $df = 1369$, $p = 0,258$; %CSA II: $\chi^2 = 1257,00$, $df = 1869$, $p = 0,358$; CSA I: $\chi^2 = 1368,00$, $df = 1332$, $p = 0,241$; CSA IIa: $\chi^2 = 1406,00$, $df = 1369$, $p = 0,238$; CSA IIx: $\chi^2 = 1260,00$, $df = 1369$, $p = 0,238$). Σε ενίσχυση αυτών ο συντελεστής αξιοπιστίας ICC, σε όλες τις περιπτώσεις, κρίνεται ως σχεδόν τέλειος, και κυμαίνεται από 0,863 έως 0,968 ($p = 0,000$), ενώ το ανώτερο και κατώτερο 95% διάστημα εμπιστοσύνης ήταν πολύ κοντά στην τιμή του κάθε ICC (Watkins & Portney, 2009). Παράλληλα, διαπιστώθηκαν πολύ μικρές τιμές για κάθε τυπικό σφάλμα μέτρησης. Ο συντελεστής μεταβλητότητας ήταν σε κάθε περίπτωση κάτω από 10% και μικρές ή/και εύρη τιμών για τις αναλύσεις του LOA, τιμές οι οποίες κρίνονται ως δείκτες υψηλής αξιοπιστίας, εγκυρότητας και επαναληψιμότητας των μετρήσεων (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986). Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ICCs και Bland & Altman για τις συσχετίσεις και τις διαφορές των μετρημένων και προβλεπόμενων τιμών της %CSA των ινών τύπου IIa και IIx, καθώς και της εγκάρσιας επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών (Σχήματα 4.28 έως 4.32).

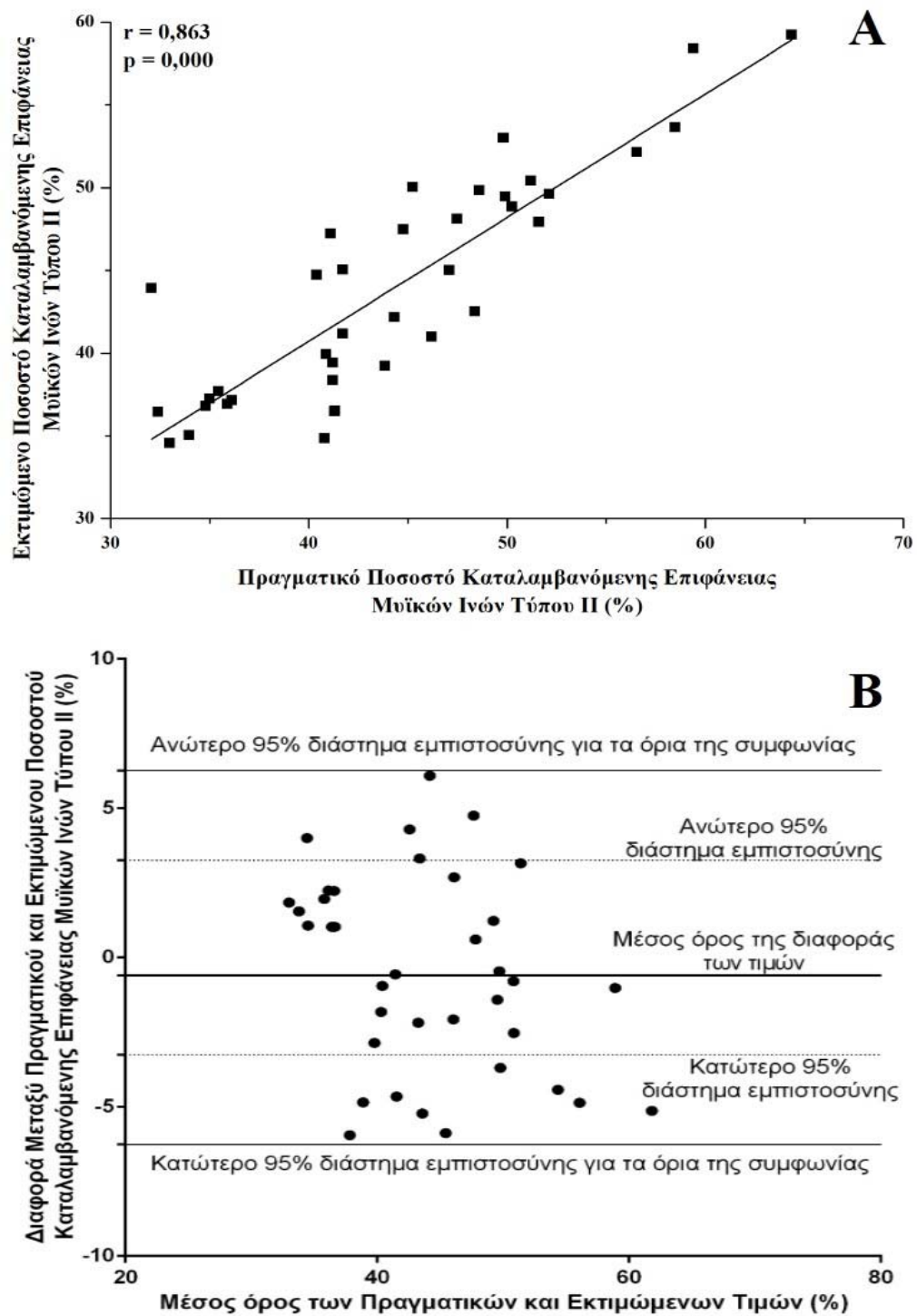
Πίνακας 4.20. Μέσοι όροι και τιμές αξιοπιστίας και εγκυρότητας για τα αποτελέσματα των εξισώσεων πρόβλεψης της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών σε σχέση με τις πραγματικές.

	%CSA Πα		%CSA Π		CSA I (μm ²)		CSA Πα (μm ²)		CSA Πχ (μm ²)		
	Πραγματική	Εκτίμηση [a]	Πραγματική	Εκτίμηση [b]	Πραγματική	Εκτίμηση [c]	Πραγματική	Εκτίμηση [d]	Πραγματική	Εκτίμηση [e]	
Μέσος όρος ± TA (m·sec ⁻¹)	37,84 ± 4,06	38,76 ± 4,48	44,22 ± 7,91	43,87 ± 6,79	4534,31 ± 798,51	4534,31 ± 745,06	5969,91 ± 1333,87	5968,84 ± 1225,48	4784,69 ± 1108,79	4784,69 ± 1073,56	
Μεγάλος μέσος όρος ± TA (m·sec ⁻¹)	38,30 ± 4,28		44,04 ± 7,33		4534,31 ± 767,09		5969,38 ± 1272,25		4533,20 ± 1506,14		
ICC	Anova (F; P<0,000)	0,010	0,299		0,000		0,000		0,000		
	R (p=0,000)	0,869	0,863		0,933		0,918		0,968		
	95% CI	0,755 – 0,899	0,752 – 0,926		0,874 – 0,964		0,848 – 0,956		0,938 – 0,984		
SEM	1,54		2,71		198,55		377,31		269,42		
CV (%)	4,65		6,25		4,47		6,22		4,35		
LOA	Mean _{Diff} ± SD _{Diff}	-0,91 ± 2,52		-0,90 ± 1,15		0,00 ± 287,23		1,06 ± 525,57		0,70 ± 279,27	
	95% CI _{Diff}	-1,74 - -0,08		-1,27 - -0,53		-94,41 – 94,41		-171,68 – 173,81		-93,79 – 95,19	
	Υψηλό 95% of LOA (95% CILOA)	4,02 (3,81 – 4,24)		3,10 (3,06 – 6,26)		562,98 (538,36 – 587,36)		616,92 (586,58 – 675,79)		548,08 (524,38 – 571,79)	
	Χαμηλο 95% of LOA (95% CILOA)	-5,85 (-6,07 - -5,64)		-3,16 (-6,26 - -3,06)		-562,98 (-587,36—538,36)		-693.73 (-684,45 - -586.58)		-546,68 (-570,38 - -522,97)	
	Έυρος LOA 95%	9,88		4,52		1125,96		2060,25		1094,77	
	SEL	0,10		0,04		12,43		22,75		12,09	
	RC	6,98		3,19		796,18		1456,81		774,11	

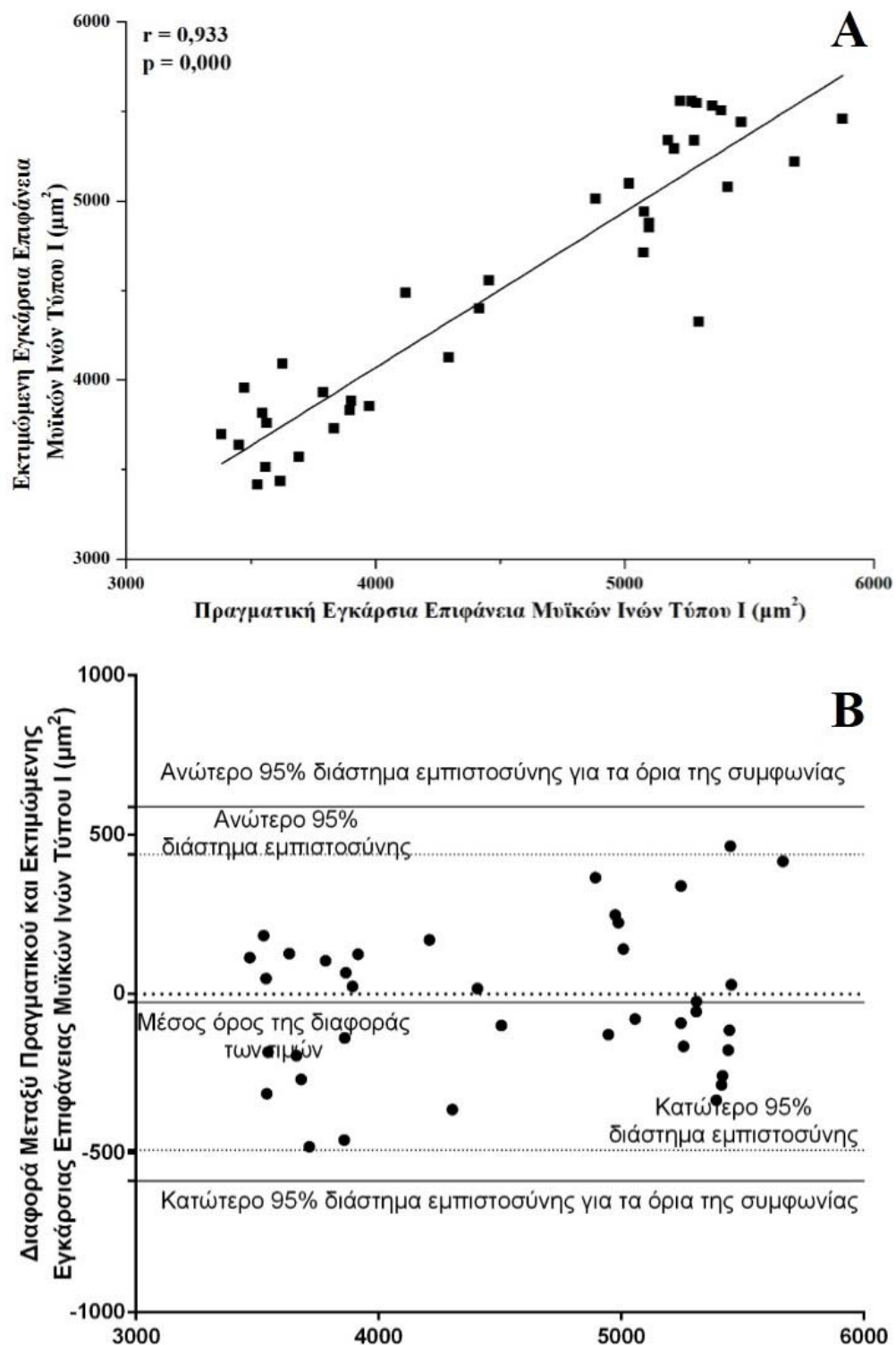
CSA: Εγκάρσια επιφάνεια; % CSA: Ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας από τις μυϊκές ίνες του κάθε τύπου; ICC: Εσωτερικός συντελεστής αξιοπιστίας; SEM Τυπικό σφάλμα μετρήσεων; CV Συντελεστής διακύμανσης της διασποράς; LOA: Δείκτης Bland & Altman για το 95 % των ορίων των συμφωνιών (οι τιμές είναι εκφρασμένες στις πραγματικές μονάδες μέτρησης κάθε παραμέτρου); Mean_{Diff}: μέσος όρος της διαφοράς των τιμών μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης τιμής; SD_{Diff}: τυπική της διαφοράς των τιμών μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης τιμής; CI: Διάστημα εμπιστοσύνης; CI_{Diff}: Διάστημα εμπιστοσύνης της διαφοράς των τιμών μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης τιμής; 95% CILOA: 95 % διάστημα εμπιστοσύνης για τα όρια της συμφωνίας; SEL: Τυπικό σφάλμα των ορίων; RC Δείκτης εγκυρότητας; [χ]: εκφράζει τον αριθμό της εξίσωσης από την παραπάνω σελίδα



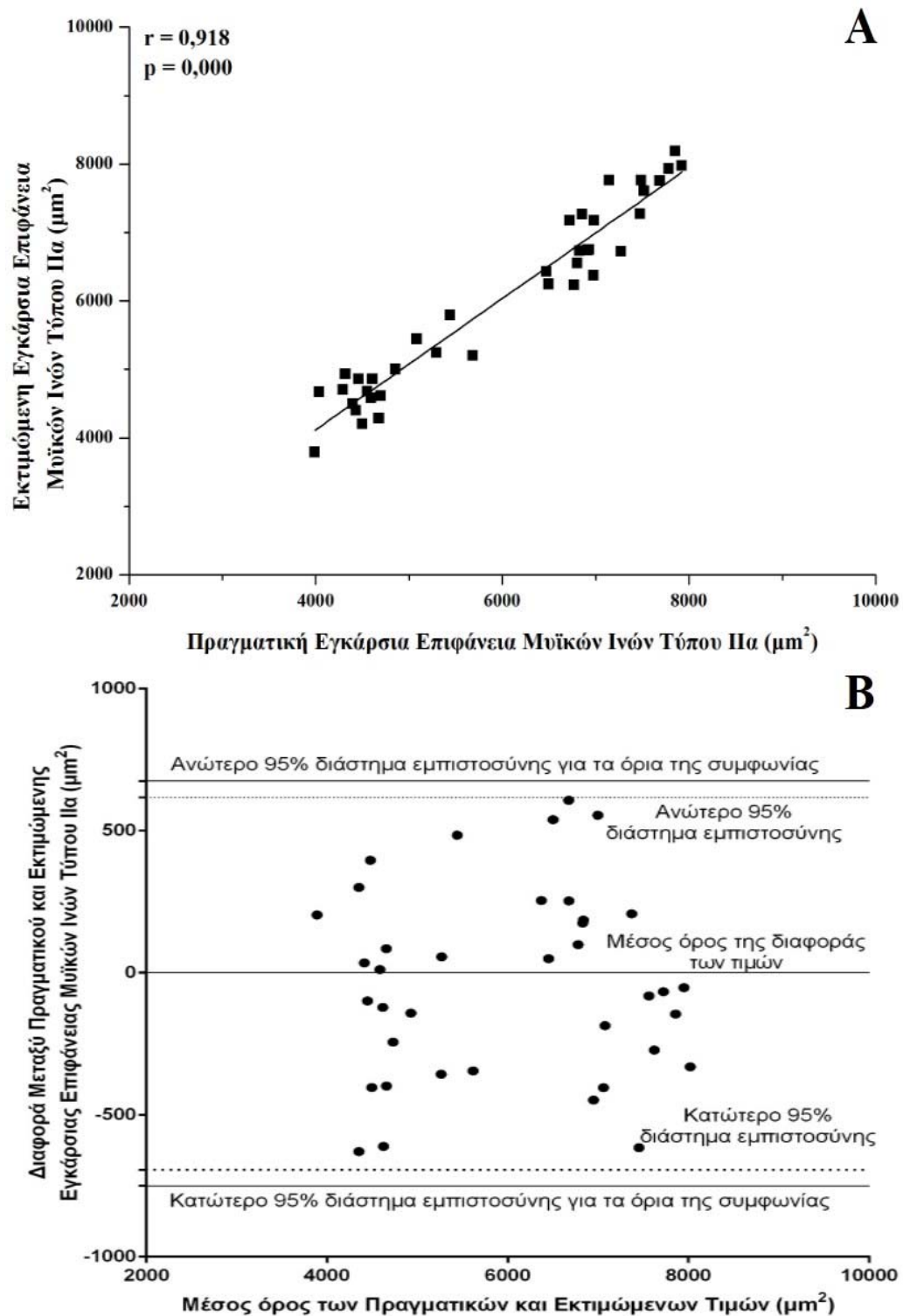
Σχήμα 4.28. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα *bland-altman* για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης 4, του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου IIa.



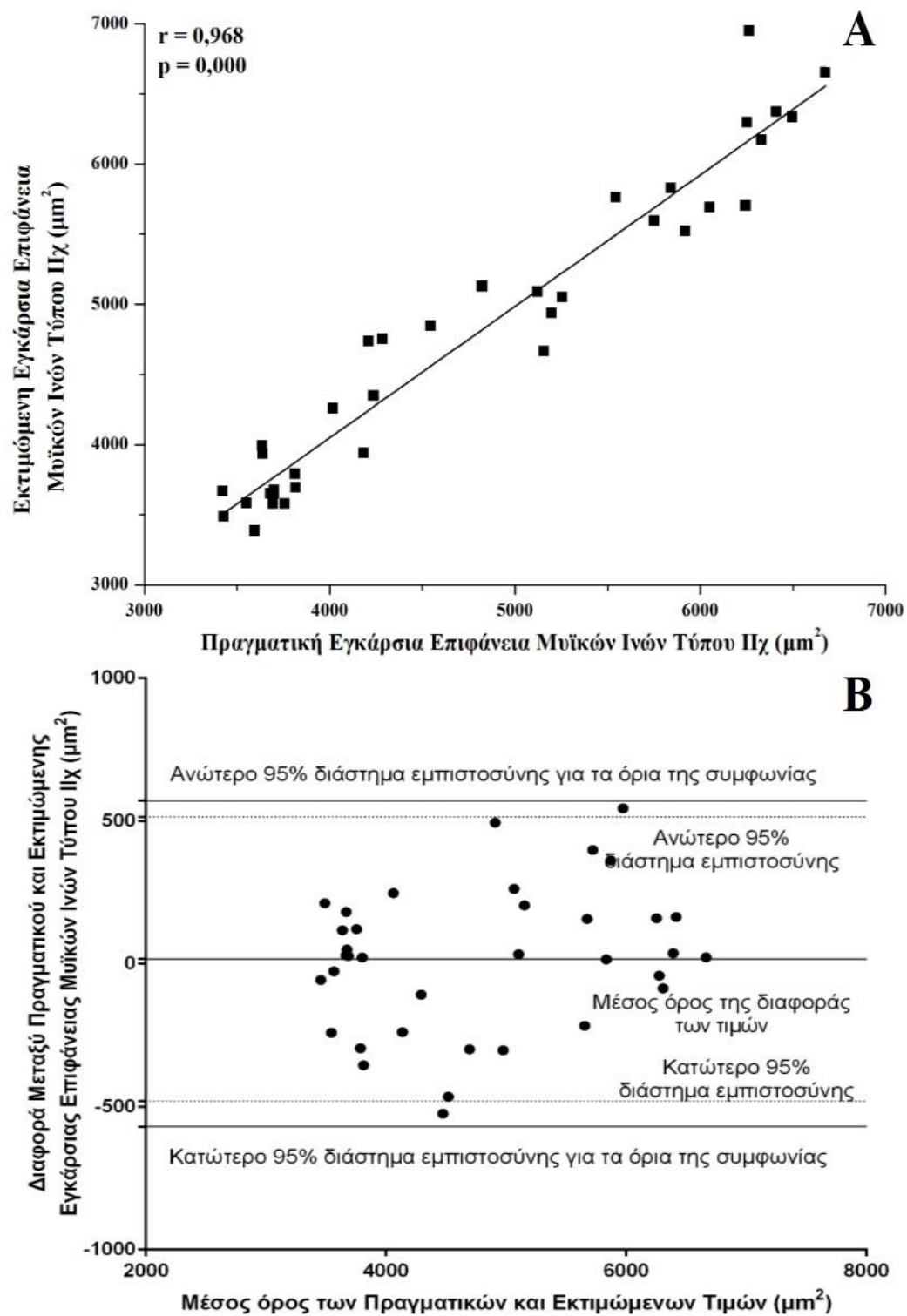
Σχήμα 4.29. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα *bland-altman* για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης *b*, του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II.



Σχήμα 4.30. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης c, της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου I.



Σχήμα 4.31. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης d , της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙα.



Σχήμα 4.32. (Α) Διάγραμμα συσχέτισης και (Β) διάγραμμα bland-altman για την σύγκριση των πραγματικών και εκτιμώμενων τιμών, μέσω της εξίσωσης e, της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου IIx.

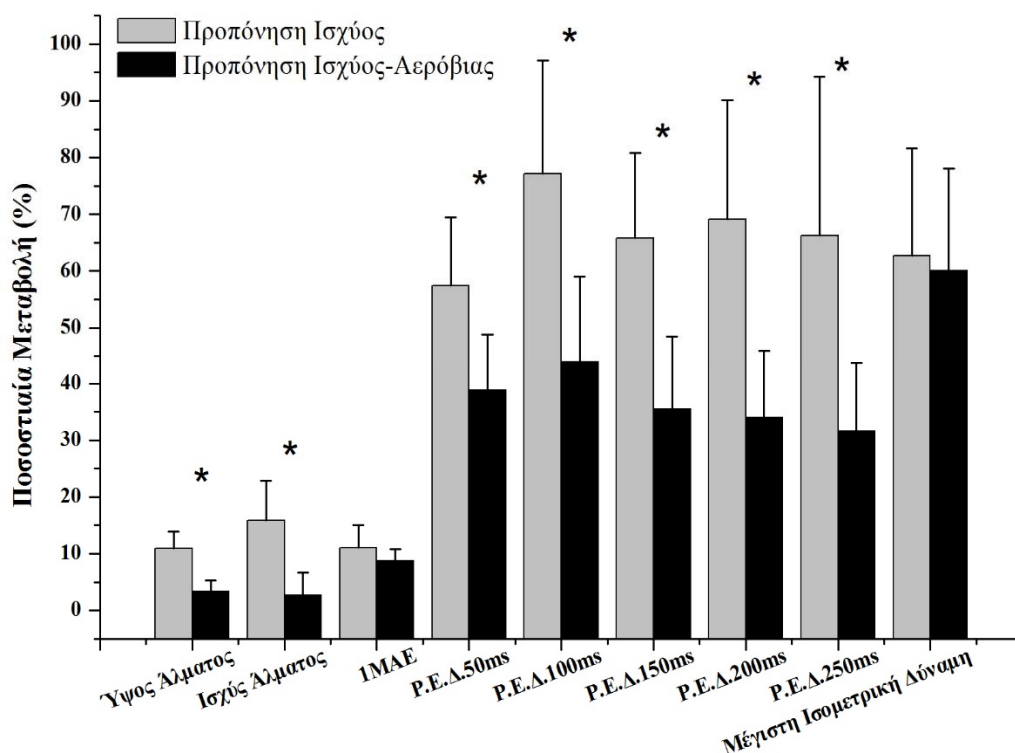
4.3. Αποτελέσματα τρίτης έρευνας

Την πειραματική διαδικασία την ολοκλήρωσαν 6 δοκιμαζόμενες της ομάδας Π.Ι. και 9 της Π.Ι.Α. Τα αναλυτικά περιγραφικά αποτελέσματα καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων της δύναμης και της ισχύος, πριν και μετά από την προπονητική παρέμβαση των 6 εβδομάδων και για της 2 ομάδες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21. Το ύψος και η μέγιστη ισχύς στο άλμα με αιώρηση αυξήθηκαν για την ομάδα ΠΙ μετά το πρόγραμμα των 6 εβδομάδων (ποσοστό βελτίωσης: $10,7 \pm 6,2 \%$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,528$, και $15,9 \pm 7,2 \%$, $\eta^2 = 0,360$, $p = 0,025$, αντίστοιχα). Αντίθετα, στην ομάδα ΠΙΑ κανένα από τα 2 στοιχεία της αλτικής επίδοσης δεν μεταβλήθηκε σημαντικά ($p > 0,05$). Η μέγιστη δύναμη αυξήθηκε και στις 2 πειραματικές ομάδες, με την ομάδα ΠΙ να πετυχαίνει μεγαλύτερη βελτίωση ($11,4 \pm 6,1 \%$, $p = 0,0002$ για την ομάδα ΠΙ έναντι $8,8 \pm 2,9 \%$, $p = 0,003$ της ομάδας ΠΙΑ). Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης στην άσκηση πιέσεων ποδιών, σε όλα τα χρονικά διαστήματα μέχρι τα 250ms, αυξήθηκε σημαντικά και στις 2 ομάδες ($p = 0,001$), με την ομάδα ΠΙ να πετυχαίνει μεγαλύτερες βελτιώσεις σε σχέση με την ομάδα ΠΙΑ (Σχήμα 4.33). Παρόμοια αποτελέσματα διαπιστώθηκαν και για την μέγιστη ισομετρική δύναμη στην άσκηση πιέσεων ποδιών (πίνακας 4.21).

Πίνακας 4.21. Αποτελέσματα των παραμέτρων επίδοσης πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες.

Προπόνηση Ισχύος (n=6)			Μεταβολή Πριν-Μετά (%)	Προπόνηση Ισχύος – Αερόβιας (n=9)		Μεταβολή Πριν- Μετά (%)	
Πριν	Μετά	Πριν		Μετά			
Ύψος Επιτόπιου Αλματος Αιώρησης (m)	0,266±0,04	0,295±0,04*	10,7±6,2 [#]	0,273±0,02	0,282±0,02	3,3±2,0	
Ισχύς Επιτόπιου Αλματος Αιώρησης (W)	2409±1333	2792±1500*	15,9±7,2 [#]	2553±1116	2621±1430	2,6±4,2	
Μέγιστη Δύναμη στο Ημικάθισμα (kg)	136,1±14,1	151,7±12,2*	11,4±6.1	137,0±17,8	149,0±13,9*	8,8±2,9	
Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης (N·s ⁻¹)	50ms	4471±3593	7039±2834*	57,4±12,1 [#]	5755±1816	7985±3157*	38,7±10,1
	100ms	5462±2580	9414±2565*	77,1±20,6 [#]	7438±2795	10713±2639*	44,1±15,4
	150ms	5833±1705	9673±1899*	65,8±15,7 [#]	7753±2716	10504±2262*	35,4±13,3
	200ms	5292±1685	8947±1626*	69,1±21,2 [#]	7119±2584	9537±2045*	33,9±12,7
	250ms	4875±1669	8102±1412*	66,2±28,1 [#]	6488±2282	8538±1781*	31,6±14,7
Μέγιστη Ισομετρική	1798 ± 533	2924 ± 512*	62,6±19,9	1728 ± 556	2766 ± 670*	60,1±18,4	

Οι τιμές εκφράζονται ως μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση. Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές της πρώτης και της δεύτερης μέτρησης, και με (#) η στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των ομάδων $p < 0,05$.



Σχήμα 4.33. Ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων επίδοσης πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες. Με (*) συμβολίζεται η στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων ($p < 0,01$).

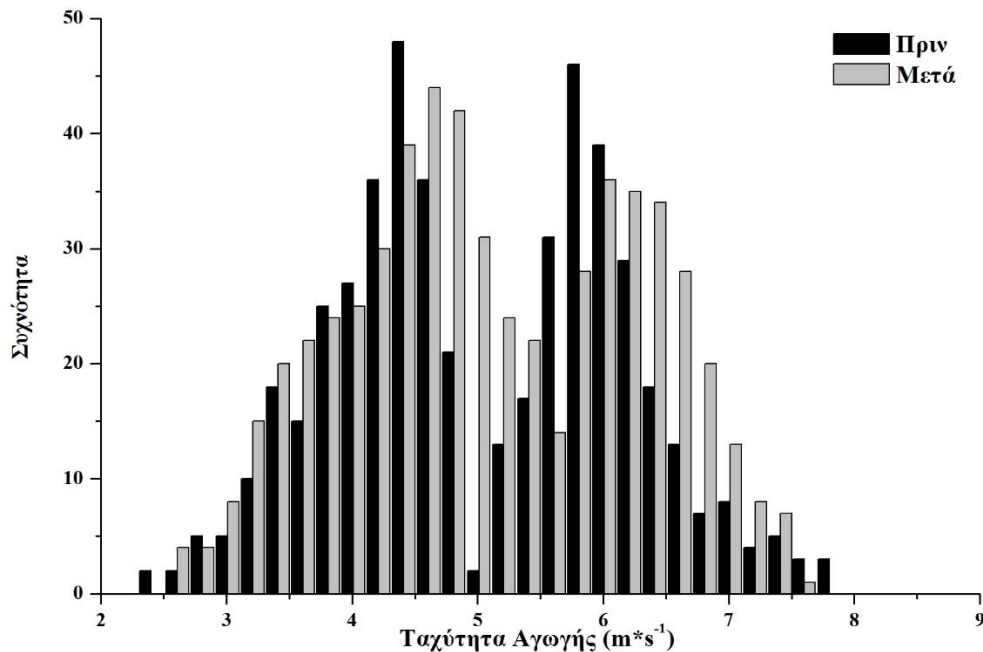
Σημαντικές διαφορές μεταξύ των 2 μετρήσεων διαπιστώθηκαν για την μέση ΤΑ στην ομάδα ΠΙ ($p=0,02$, $\eta^2 = 0,338$; Πίνακας 4.22), με την ομάδα ισχύος να την αυξάνει κατά $12,8 \pm 4,5\%$, έναντι της μείωσης κατά $1,5 \pm 5,5\%$ της ομάδας ΠΙΑ (Σχήμα 4.36), μείωση η οποία ήταν και στατιστικά μη σημαντική σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα της ομάδας ($p > 0,05$). Η ΤΑ των ινών τύπου Ι ($p=0,01$, $\eta^2 = 0,390$) και ΙΙ ($p=0,04$, $\eta^2=0,286$) μεταβλήθηκε σημαντικά με την προπονητική διαδικασία, με την ομάδα ΠΙ να παρουσιάζει βελτίωση $9,80 \pm 4,24\%$ και $4,33 \pm 2,04\%$, για την ΤΑ τύπου Ι και ΙΙ αντίστοιχα, έναντι της περιορισμένης μεταβολής των παραπάνω που βρέθηκε για την ομάδα ΠΙΑ ($0,55 \pm 3,84\%$ και $-0,39 \pm 3,61\%$ αντίστοιχα), μεταβολές οι οποίες ήταν στατιστικά σημαντικές διαφορετικές μεταξύ των ομάδων ($p < 0,02$). Η μικρότερη ΤΑ παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των 2 μετρήσεων ($p=0,01$, $\eta^2 = 0,382$), χωρίς όμως σημαντικές διαφορές μεταξύ των 2 ομάδων (Πίνακας 4.22). Η μεγαλύτερη μεταβολή μέσα από την προπονητική διαδικασία διαπιστώθηκε για τη μέγιστη ΤΑ ($p=0,001$, $\eta^2 = 0,861$), με την ομάδα ΠΙ να την αυξάνει κατά $19,1 \pm 5,6\%$ έναντι μόλις $-0,19 \pm 2,3\%$ της ομάδας ΠΙΑ, μεταβολή η οποία ήταν και στατιστικά μη σημαντική, προσδίδοντας έτσι μια σημαντική διαφορά μεταξύ των 2 ομάδων ($p=0,001$). Χαρακτηριστικά, από τις μεταβολές της κατανομής των συχνοτήτων των ΤΑ, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες, που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.34 και 4.35, φαίνεται ξεκάθαρα η μεγαλύτερη μετατόπιση των ταχυτήτων προς τα δεξιά (μεγαλύτερες τιμές) της ομάδας Π.Ι. έναντι της Π.Ι.Α., όπου δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών

των παραμέτρων της TA σε σχεδόν όλες τις περιπτώσεις. Παράλληλα, η ανάλυση Chi-Square Goodness of Fit Test φανέρωσε την ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στις κατανομές, πριν και μετά την προπόνηση, μόνο για την ομάδα Π.Ι. ($\chi^2=1472,00$, $df=792$, $p=0,000$). Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν διαπιστώθηκε για τον λόγο F/S.

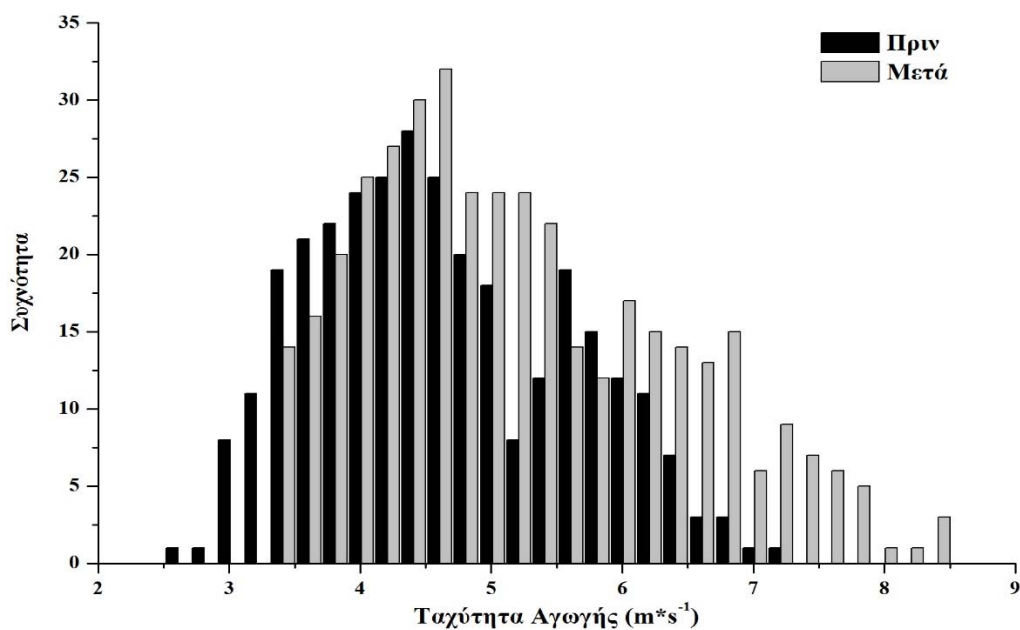
Πίνακας 4.22. Αποτελέσματα των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες.

	Προπόνηση Ισχύος (n=6; m·s ⁻¹)		Μεταβολή Πριν-Μετά (%)	Προπόνηση Ισχύος – Αερόβιας (n=9; m·s ⁻¹)		Μεταβολή Πριν-Μετά (%)
	Πριν	Μετά		Πριν	Μετά	
Total	4,5 ± 0,3	5,1 ± 0,4*	12,8 ± 4,5 [#]	4,9 ± 0,3	4,8 ± 0,3	-1,5 ± 5,5
Type I	3,9 ± 0,3	4,2 ± 0,1*	9,8 ± 4,2 [#]	4,0 ± 0,2	4,1 ± 0,2	0,5 ± 3,8
Type II	5,7 ± 0,3	5,9 ± 0,3*	4,3 ± 2,0 [#]	5,9 ± 0,2	5,8 ± 0,3	-0,3 ± 3,6
Min	3,0 ± 0,4	3,5 ± 0,2*	3,4 ± 1,3	3,2 ± 0,4	3,3 ± 0,4*	3,7 ± 1,6
Max	6,3 ± 0,5	7,5 ± 0,7*	19,1 ± 5,6 [#]	6,9 ± 0,7	6,9 ± 0,5	-0,2 ± 2,3
F/S ratio	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,2	1,3 ± 1,5	2,1 ± 0,3	2,1 ± 0,2	-2,0 ± 1,9

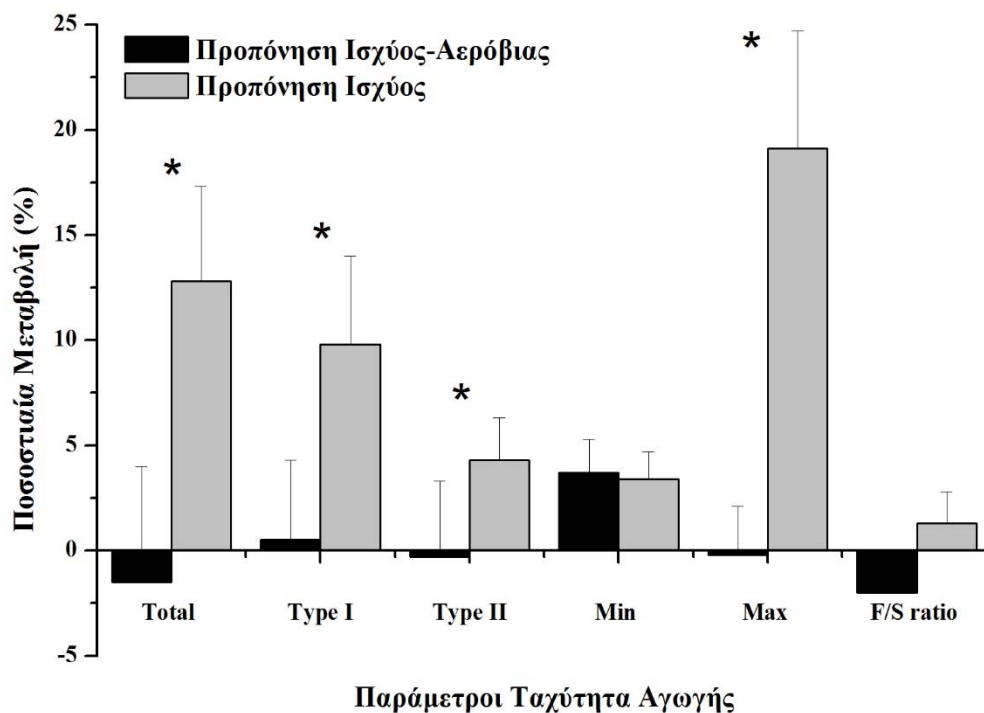
Οι τιμές εκφράζονται ως μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση. TA: Ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών; Total: Μέσος όρος της TA; Type I: Μέσος όρος της TA για τις τύπου I μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της TA για τις τύπου II μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της TA; Max: Μεγαλύτερη τιμή της TA; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης TA Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές της πρώτης και της δεύτερης μέτρησης, και με (#) η στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των ομάδων $p<0.05$.



Σχήμα 4.34. Κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά την εφαρμογή των δεβδομάδων προπόνησης, για την ομάδα συνδυασμού προπόνησης ισχύος και αερόβιας.

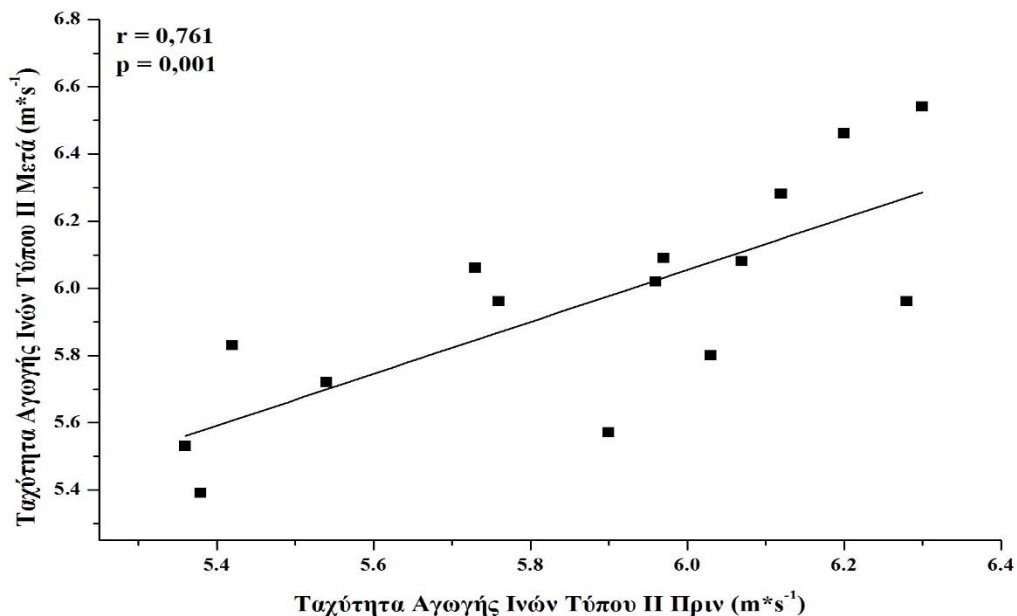


Σχήμα 4.35. Κατανομή συχνοτήτων των ταχυτήτων αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά την εφαρμογή των δεβδομάδων προπόνησης, για την ομάδα προπόνησης ισχύος.

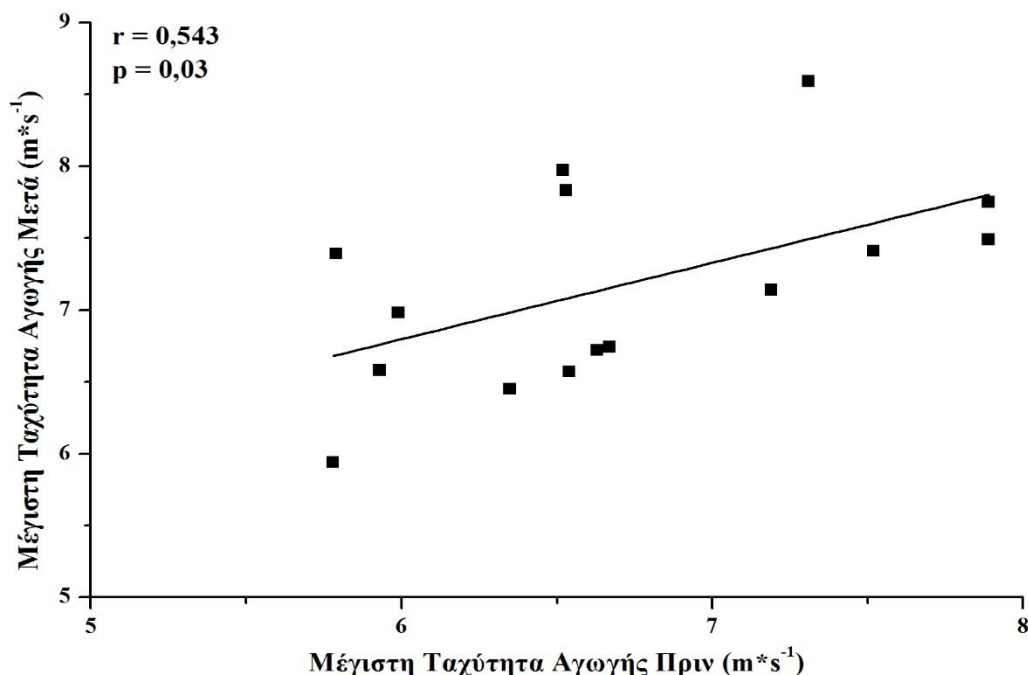


Σχήμα 4.36. Ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες. Με (*) συμβολίζεται η στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων ($p < 0,01$).

Στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ των αρχικών τιμών της $TA_{Type II}$ ($r = 0,761$, $p = 0,001$) και της $T.A_{Max}$ ($r = 0,543$, $p = 0,03$) και των αντίστοιχων τιμών τους μετά το τέλος της προπονητικής παρέμβασης, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Επίσης, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων, αρνητικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ των αρχικών τιμών των παραμέτρων της TA και της ποσοστιαίας μεταβολής τους, μετά την εφαρμογή της προπονητικής παρέμβασης, με τον δείκτη συσχέτισης του Pearson να κυμαίνεται μεταξύ $-0,527$ και $-0,737$ ($p < 0,05$; Πίνακας 4.23), συσχετίσεις οι οποίες κρίνονται το λιγότερο ως υψηλές, σύμφωνα με την κατάταξη του Hopkins (2000). Εξαίρεση σε αυτό αποτελεί η TA των ινών τύπου II, όπου δεν διαπιστώθηκε καμία σημαντική συσχέτιση ($p > 0,05$).



Σχήμα 4.37. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών και των τελικών τιμών της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών τύπου II, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$).

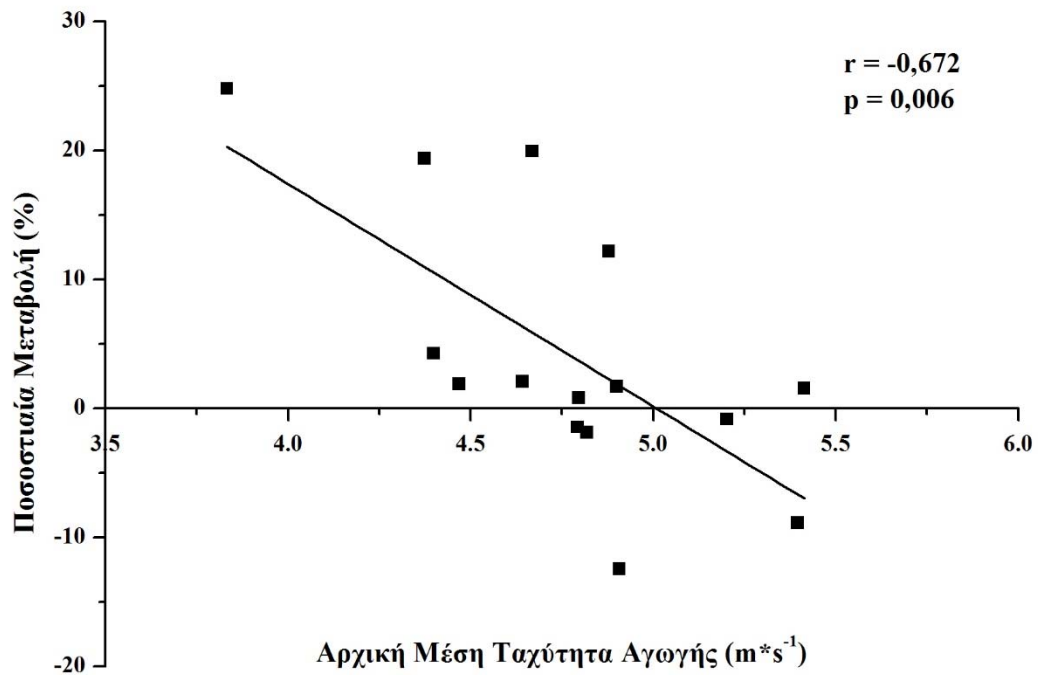


Σχήμα 4.38. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών και των τελικών τιμών της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$).

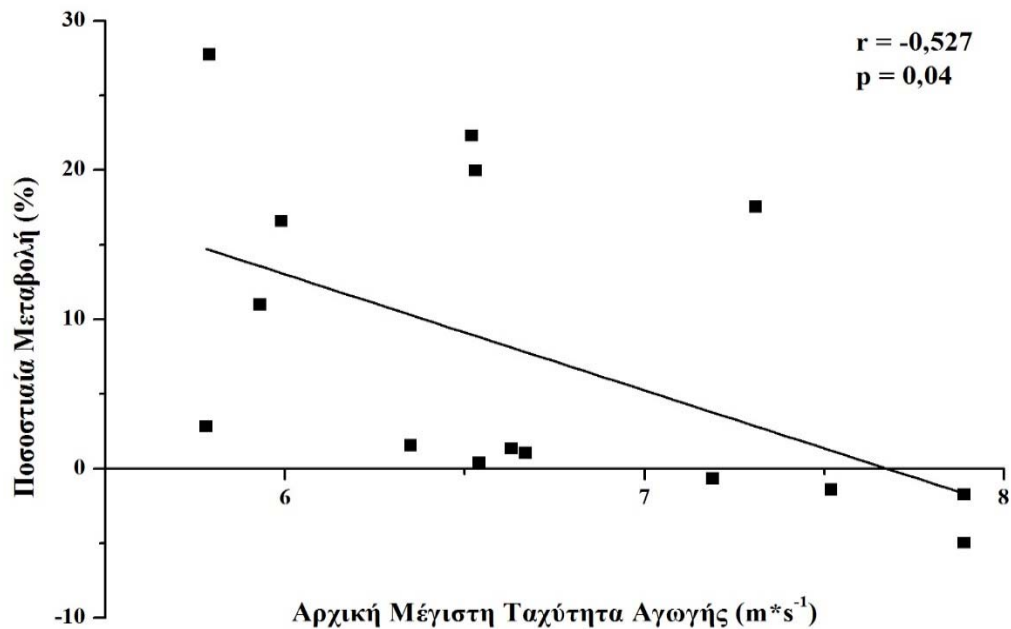
Πίνακας 4.23. Συσχετίσεις των αρχικών τιμών των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, με την ποσοστιαία μεταβολή τους, μετά την εφαρμογή της προπονητικής παρέμβασης ($n=15$).

	Παράμετροι Ταχύτητας Αγωγής					
	Total	Type I	Type II	Min	Max	F/S
Ποσοστιαία						
Μεταβολή της						
Κάθε	-0,672**	-0,713**	N.S.	-0,737**	-0,527*	-0,608**
Παραμέτρου						

Total: Μέσος όρος της ΤΑ; Type I: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου Ι μυϊκές ίνες; Type II: Μέσος όρος της ΤΑ για τις τύπου ΙΙ μυϊκές ίνες; Min: Μικρότερη τιμή της ΤΑ; Max: Μεγαλύτερη τιμή της ΤΑ; F/S ratio: ο λόγος μεταξύ μεγαλύτερης προς μικρότερης ΤΑ; N.S.: Μη στατιστικά σημαντικό. Με (*) συμβολίζονται οι συσχετίσεις με επίπεδο σημαντικότητας μικρότερο του 0,05 και με (**) το αντίστοιχο με επίπεδο μικρότερο του 0,01.



Σχήμα 4.39. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών τιμών της μέσης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών και του ποσοστού μεταβολής της μετά την προπονητική παρέμβαση, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$).



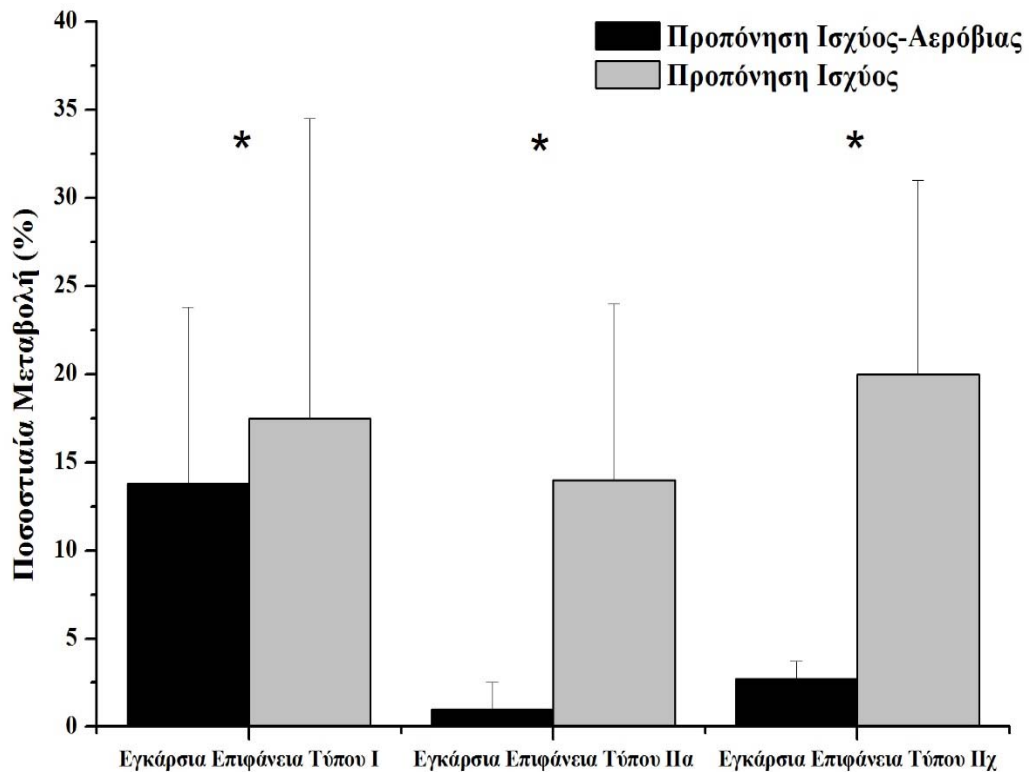
Σχήμα 4.40. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ των αρχικών τιμών της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των ινών και του ποσοστού μεταβολής της μετά την προπονητική παρέμβαση, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$).

Το ποσοστό των ινών όλων των τύπων δεν παρουσίασε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά, πριν και μετά την εφαρμογή της προπόνησης, και στις 2 ομάδες (Πίνακας 4.24), ενώ παράλληλα, η ποσοστιαία μεταβολή δεν διέφερε μεταξύ τους ($p>0,05$). Η εγκάρσια επιφάνεια όλων των τύπων των ινών αυξήθηκε σημαντικά μόνο στην ομάδα Π.Ι. ($17,5 \pm 17,4\%$, $14,5 \pm 10,4\%$, $20,36 \pm 11,3\%$, για τις ίνες τύπου Ι, Ια και Ιχ, αντίστοιχα, $p < 0,05$; $\eta^2 = 0,452$, $0,382$ και $0,541$ αντίστοιχα; σχήμα 4.41). Ωστόσο, αρνητικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ των αρχικών τιμών της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών και της ποσοστιαίας μεταβολής του μεγέθους τους (Τύπου Ι: $-0,427$, Τύπου Ια: $0,658$ και Τύπου Ιχ: $-0,737$; $p < 0,05$). Το σωματικό βάρος (Π.Ι.: $58,2 \pm 7,8\text{Kg}$ πριν και $57,6 \pm 7,2\text{Kg}$ μετά, Π.Ι.Α.: $57,2 \pm 6,2\text{Kg}$ πριν και $57,2 \pm 6,3\text{Kg}$ μετά) και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (Π.Ι.: πριν $192,6 \pm 8\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ ενώ μετά $193,1 \pm 8\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$; Π.Ι.Α.: πριν $194,2 \pm 7\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$ ενώ μετά $194,3 \pm 9\text{b}\cdot\text{min}^{-1}$) παρέμειναν αμετάβλητα και στις 2 ομάδες ($p > 0,05$). Τέλος, η αερόβια ικανότητα αυξήθηκε σημαντικά στην ομάδα Π.Ι.Α. ($47,6 \pm 4,1\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ πριν και $51,5 \pm 5,3\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ μετά, $p<0,02$) αλλά όχι στην ομάδα Π.Ι. ($47,5 \pm 4,3\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ πριν και $48,8 \pm 4,2\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ μετά, $p>0,05$).

Πίνακας 4.24. Αποτελέσματα των παραμέτρων της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες.

	Προπόνηση Ισχύος (n=6)		Μεταβολή Πριν-Μετά (%)	Προπόνηση Ισχύος – Αερόβιας (n=9)		Μεταβολή Πριν-Μετά (%)
	Πριν	Μετά		Πριν	Μετά	
Ποσοστό Τύπου Ι (%)	$46,6 \pm 10,3$	$46,4 \pm 11,1$	$-0,4 \pm 1,1$	$46,9 \pm 7,9$	$42,1 \pm 7,9$	$-8,8 \pm 9,0$
Ποσοστό Τύπου Ια (%)	$38,0 \pm 7,9$	$35,7 \pm 6,9$	$-7,8 \pm 6,6$	$33,5 \pm 9,6$	$38,3 \pm 8,9$	$14,3 \pm 9,9$
Ποσοστό Τύπου Ιχ (%)	$15,4 \pm 7,6$	$12,3 \pm 5,9$	$-20,1 \pm 18,9$	$19,6 \pm 6,3$	$15,2 \pm 4,9$	$-22,4 \pm 20,1$
Εγκάρσια Επιφάνειας Τύπου Ι (μm^2)	3492 ± 886	$3995 \pm 735^*$	$17,5 \pm 17,4^\#$	4269 ± 680	3676 ± 708	$-13,8 \pm 14,5$
Εγκάρσια Επιφάνειας Τύπου Ια (μm^2)	3854 ± 851	$4368 \pm 770^*$	$14,5 \pm 10,4^\#$	3983 ± 996	3988 ± 1135	$0,1 \pm 1,5$
Εγκάρσια Επιφάνειας Τύπου Ιχ (μm^2)	2852 ± 806	$3418 \pm 982^*$	$20,3 \pm 11,3^\#$	3040 ± 931	3124 ± 798	$2,7 \pm 1,0$

Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές της πρώτης και της δεύτερης μέτρησης, και με (#) η στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των ομάδων $p<0.05$.



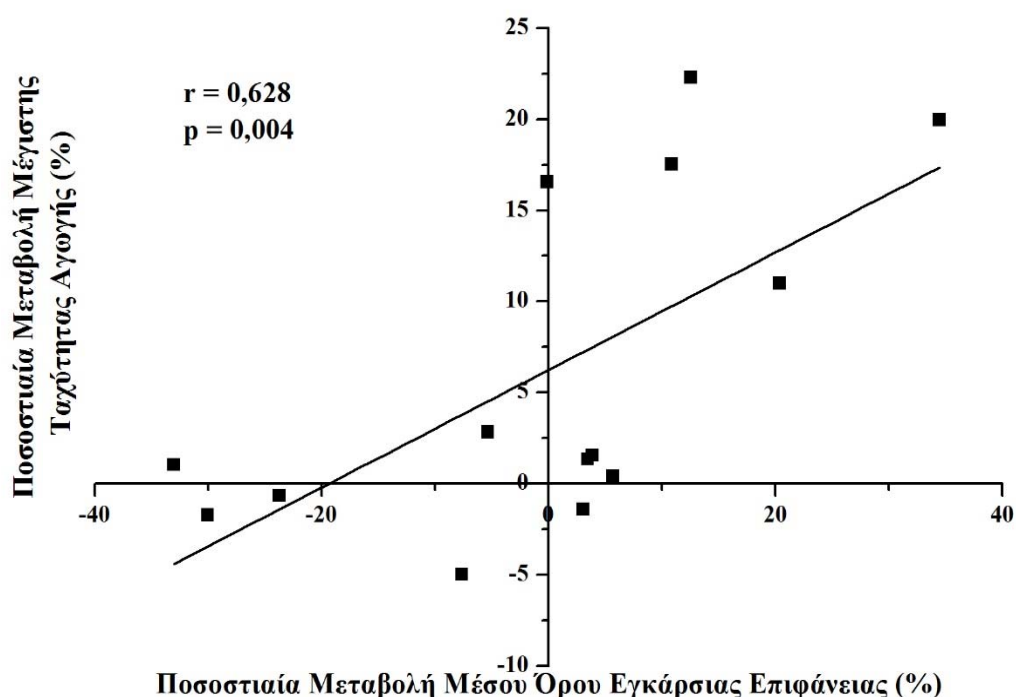
Σχήμα 4.41. Ποσοστιαίες μεταβολές της εγκάρσια επιφάνειας των μυϊκών ινών, πριν και μετά τις 6 εβδομάδες προπόνησης, για τις 2 πειραματικές ομάδες. Με (*) συμβολίζεται η στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων ($p < 0,01$).

Η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης ΤΑ, πριν και μετά από τις 6 εβδομάδες της προπονητικής παρέμβασης, συσχετίζονταν με τις μεταβολές του ύψους και της ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση, καθώς και με τον μέσο όρο της μεταβολής της εγκάρσια επιφάνειας των ινών (Πίνακας 4.25). Η ποσοστιαία μεταβολή του μέσου όρου της μεταβολής της εγκάρσια επιφάνειας των ινών συσχετιζόταν υψηλά με την μεταβολή της ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση ($r = 0,718$, $p = 0,006$). Όταν ελέγχθηκαν όμως οι συσχετίσεις μεταξύ της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης ΤΑ με τις ποσοστιαίες μεταβολές του ύψους και της ισχύος του άλματος, ελέγχθηκαν για την πιθανή επίδραση της ποσοστιαίας μεταβολής της μέσης εγκάρσιας επιφάνειας, μέσα από την ανάλυση της μερικής συσχέτισης, διαπιστώθηκε ότι οι συσχετίσεις αυτές εξαφανίστηκαν ($p > 0,05$).

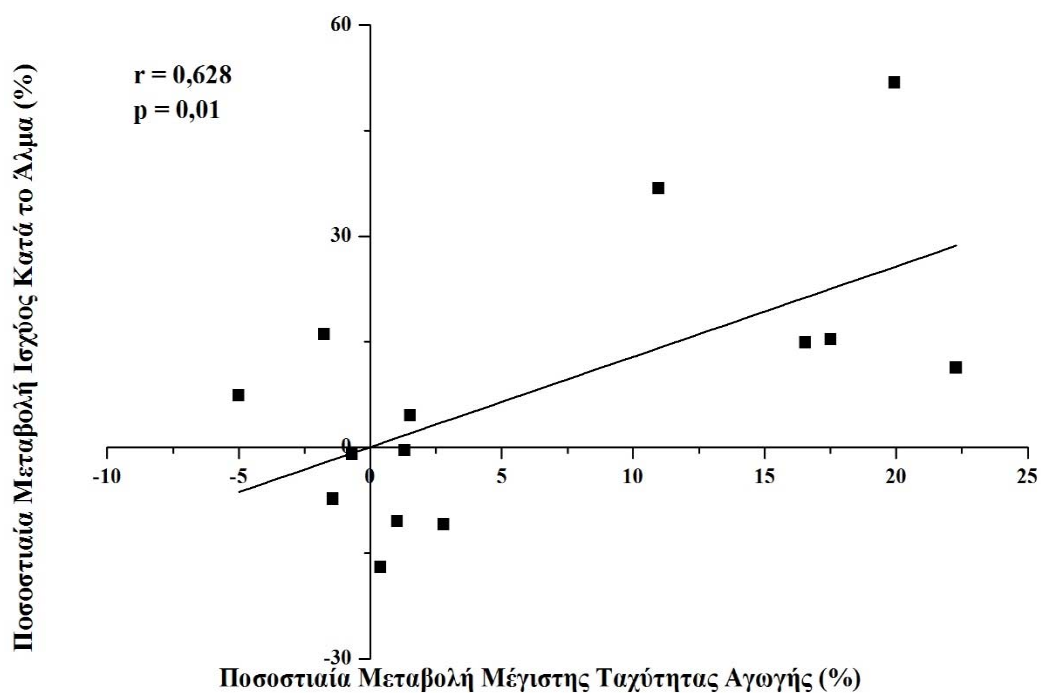
Πίνακας 4.25. (Α) Συσχετίσεις μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών της μέσης και μέγιστης ταχύτητας αγωγής, της ισχύος και του ύψους κατά το άλμα με αιώρηση και της μέσης εγκάρσιας επιφάνειας όλων των ινών, και (Β) η επίδραση της μεταβολής της μέσης εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου, στις παραπάνω συσχετίσεις, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$; $p < 0,05$).

Ποσοστό Μεταβολής	Ποσοστό Μεταβολής		
	Ισχύς Άλματος	Ύψος Άλματος	Μέση Εγκάρσια Επιφάνεια
Α. Κανονικές Συσχετίσεις			
Μέγιστης Ταχύτητα Αγωγής	0,574	0,628	0,628
Β. Αποτελέσματα Μερικής Συσχέτισης ως προς την Ποσοστιαία Μεταβολή της Μέσης Εγκάρσιας Επιφάνειας			
Μέγιστης Ταχύτητα Αγωγής	N.S	N.S	

N.S.: Μη στατιστικά σημαντικό; Με (*) συμβολίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές της πρώτης και της δεύτερης μέτρησης, και με (#) η στατιστικά σημαντική διαφορά στην ποσοστιαία μεταβολή μεταξύ των ομάδων $p < 0.05$.



Σχήμα 4.42. Συσχέτιση μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών, πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση, του μέσου όρου της εγκάρσιας επιφάνειας και της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$).



Σχήμα 4.43. Συσχέτιση μεταξύ των ποσοστιαίων μεταβολών, πριν και μετά την προπονητική παρέμβαση, της μέγιστης ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες και της μυϊκής ισχύος κατά το άλμα με αιώρηση, για το σύνολο των δοκιμαζόμενων ($n=15$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Συζήτηση αποτελεσμάτων πρώτης έρευνας

Η πρωτοτυπία της παρούσας έρευνας έγκειται στο γεγονός, ότι όλες οι βασικές παράμετροι της ΤΑ, και όχι μόνο η μέση τιμή της, εξετάστηκαν για τις πιθανές σχέσης με την μέγιστη ισομετρική δύναμη, την αλτική ικανότητα αλλά και τον ΡΕΔ, με πολυαρθρικές ασκήσεις, οι οποίες είναι πιο κοντά στις καθημερινές αλλά και αγωνιστικές κινήσεις (L. L. Andersen, et al., 2006). Παράλληλα, αυτή η έρευνα είναι η πρώτη που εξετάζει τόσο την ταχύτητα αγωγής με ενδομυϊκά ηλεκτρόδια, όσο και τις σχέσεις της με την παραγωγή μυϊκής ισχύος σε ένα πτεροειδή μυ, όπως ο έξω πλατύς μηριαίος, και μάλιστα σε μη ασθενείς.

Το κύριο εύρημα της παρούσας μελέτης ήταν η στενή σχέση μεταξύ των βασικών παραμέτρων της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίου, αξιολογούμενη κατά την ηρεμία, με τον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και τις παραμέτρους της αλτικής επίδοσης. Παράλληλα, σημαντικό εύρημα ήταν ότι οι συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ και του ΡΕΔ είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές που διαπιστώθηκαν για την μέγιστη δύναμη, υποδεικνύοντας τον σημαντικό ρόλο του συστήματος μετάδοσης των δυναμικών ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες στην γρήγορη παραγωγή μυϊκής δύναμης και ισχύος. Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, παρέχονται σημαντικές αποδείξεις για την πολύ στενή σχέση μεταξύ της ΤΑ και του ΡΕΔ, με τα άτομα που έχουν αυξημένες ΤΑ, και κυρίως μέγιστη ΤΑ και των ινών τύπου II, να μπορούν να παράγουν πολύ μεγαλύτερο ΡΕΔ σε σχέση με άτομα που έχουν πολύ μικρότερη ΤΑ.

Είναι γενικά αποδεκτό, ότι ο ΡΕΔ επηρεάζεται σημαντικά, πρωτίστως από την λειτουργία και την κατάσταση του νευρικού συστήματος (Aagaard & Andersen, 1998; Aagaard, et al., 2001; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; Narici et al., 1989), αλλά και από τον τύπο αλλά και το μέγεθος των μυϊκών ινών, με τα άτομα που έχουν περισσότερες και μεγαλύτερες μυϊκές ίνες τύπου II να πετυχαίνουν καλύτερες επιδόσεις σε δραστηριότητες που κρίνονται από την ικανότητα του κάθε ατόμου για πολύ γρήγορη εφαρμογή της δύναμης (Aagaard & Andersen, 1998; L. L. Andersen, et al., 2010). Σε ενίσχυση αυτών, οι μυϊκές ίνες τύπου II έχουν πολύ πιο γρήγορο κύκλο ολίσθησης εγκάρσιων γεφυρών, σε σχέση με τις τύπου I, με αποτέλεσμα να παράγουν και μεγαλύτερη δύναμη και ισχύ (Bottinelli et al., 1996).

Για τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας πιθανόν να ευθύνονται το μέγεθος αλλά και ο τύπος των μυϊκών ινών, όπως έχει προταθεί προηγουμένως από έρευνες σε πειραματόζωα ή ασθενείς, κατά τη διάρκεια μοναρθρικών ασκήσεων (Blijham, et al., 2006; Buchthal & Sten-Knudsen, 1959; Hakansson, 1956; Kupa, et al., 1995; Stålberg, 1966; Troni, et al., 1983). Οι μεγάλες μυϊκές ίνες έχουν, θεωρητικά, χαμηλότερη σαρκοπλασματική αντίσταση, επομένως τα δυναμικά ενέργειας προωθούνται σε μεγαλύτερη απόσταση, σε σχέση με τις μικρές μυϊκές ίνες (Hodgkin & Nakajima, 1972). Παράλληλα, φαίνεται ότι οι μεγάλες μυϊκές ίνες, που πιθανόν να έχουν και μεγαλύτερες ΤΑ (χρειάζεται να τεκμηριωθεί και στα υγιή άτομα), αφού έχουν και περισσότερες συσταλτές πρωτεΐνες, μπορούν να παράγουν μεγαλύτερες δυνάμεις και ΡΕΔ (Aagaard & Andersen, 1998; L. L. Andersen, et al.,

2010; Kyrolainen, et al., 2005). Αυτή η υπόθεση, συμβαδίζει και με την μέχρι τώρα επιστημονική γνώση, όπου η μυϊκή δύναμη συνδέεται στενά με το μέγεθος των μυών (Maughan et al., 1983), μέγεθος το οποίο καθορίζεται από το μέγεθος των μυϊκών ινών, κυρίως του τύπου II (Staron et al., 2000; Terzis, Stratakos, et al., 2008), δηλ. οι μυϊκές ίνες τύπου II που έχουν και αυξημένη εγκάρσια επιφάνεια «οδηγούν» σε αυξημένη εγκάρσια επιφάνεια των μυών και κατά επέκταση, μέχρι ενός ορίου (έτσι όπως φάνηκε και από την πιλοτική έρευνα που παρουσιάστηκε στην εισαγωγή της παρούσας διδακτορικής διατριβής; Methenitis et al., 2015), σε μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής μυϊκής δύναμης (Clarkson et al., 1980; K. Hakkinen, et al., 1998).

Εκτός από το μέγεθος των μυϊκών ινών φαίνεται ότι και ο τύπος των μυϊκών ινών έχει σημαντικό ρόλο στο μέγεθος της TA, λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης και πυκνότητας, αλλά και των ισομορφών της $\beta 2$ -υποομάδας των αντλιών Na^+ , K^+ -ATPάσης, μεταξύ των ινών τύπου II και I (Clausen, 2003b; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006). Οι παραπάνω διαφορές στις αντλίες Na^+ , K^+ -ATPάσης, πιθανόν να ευθύνονται για την γρηγορότερη μετάδοση των δυναμικών ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες, με αποτέλεσμα οι τύπου II να έχουν υψηλότερες TA από τις τύπου I (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Kereshi, et al., 1983), συνθήκη η οποία αντικατοπτρίζεται και από την δικόρυφη κατανομή των συχνοτήτων της TA που βρίσκεται κατά την εξέταση, όπου πιθανόν οι τύπου II να είναι αυτές που έχουν και τις υψηλότερες τιμές της TA (Σχήματα 3.5, σελ. 84 και 3.6, σελ. 85). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι η μυϊκή ισχύς συνδέεται στενά με την TA της γρήγορης ομάδας ινών ($\text{TA}_{\text{Type II}}$ και TA_{Max}) και όχι με την αργή ομάδα, έτσι όπως προκύπτει από την κατανομή συχνοτήτων, διαπίστωση η οποία είναι σε ακολουθία με την μέχρι τώρα επιστημονική γνώμη, ότι για δραστηριότητες οι οποίες απαιτούν υψηλή παραγωγή ισχύος και PEΔ, οι τύπου IIα και IIχ είναι αυτές που συνεισφέρουν περισσότερο (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen, et al., 2005; Cormie, et al., 2010; Duchateau, et al., 2006; Gibson, et al., 2001; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2001; A. Holtermann, et al., 2007; Sale, 1988; Semmler, 2002; Tillin & Folland, 2014). Ωστόσο, παραμένει αδιευκρίνιστο ακόμα εάν η TA του έξω πλατύ μηριαίου μυός, σε υγιά ή/και αθλητές, συνδέεται με το μέγεθος και το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου II.

Σε δραστηριότητες οι οποίες απαιτούν μεγάλη και γρήγορη ανάπτυξη ισχύος και δύναμης, όπως οι αθλητικές αλλά και καθημερινές κινήσεις, όπως η αποφυγή πτώσεων, ο PEΔ φαίνεται να είναι ένας παράγοντας κλειδί ο οποίος επιτρέπει την εφαρμογή όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ποσοστού της μέγιστης δύναμης, στα αρχικά χρονικά στάδια (msec) αυτών των κινήσεων/δραστηριοτήτων (Aagaard, et al., 2001; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a). Προηγούμενες μελέτες παρουσίασαν τον σημαντικό ρόλο του νευρικού συστήματος και πως αυτό καθορίζει το μέγεθος του PEΔ (Aagaard, et al., 2001; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a). Η παρούσα εργασία, παρέχει στοιχεία για την στενή σχέση μεταξύ της απόδοσης σε ταχυδυναμικές δραστηριότητες και την ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες του έξω πλατύ μηριαίου, και μάλιστα σε μια πολυαρθρική άσκηση, η οποία είναι πιο κοντά στα κινητικά μοτίβα των

καθημερινών αλλά και των αθλητικών κινήσεων, σε σύγκριση με τις μονοαρθρικές. Παράλληλα, η παρούσα έρευνα φανέρωσε ότι ο ΡΕΔ συνδέεται στενότερα με την ΤΑ των ινών τύπου ΙΙ αλλά κυριότερα με την μέγιστη ΤΑ Επομένως, η μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος και ΡΕΔ εξαρτάται και από την ταχύτερη μετάδοση των νευρικών δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες.

Μέτριες αλλά σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ των 3 παραμέτρων της ΤΑ, και κυρίως των $TA_{Type\ II}$ και TA_{Max} , εκτιμώμενη μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων στον έξω πλατύ μηριαίο μυ, και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, κατά την πολυαρθρική άσκηση των πιέσεων ποδιών. Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν με προηγούμενες αναφορές που ανέφεραν μέτριες συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ, εκτιμώμενη μέσω επιφανειακών ηλεκτροδίων, και της μέγιστης δύναμης (Arendt-Nielsen, et al., 1989; Broman, et al., 1985b; Houtman, et al., 2003; Kilen, et al., 2012; Li & Sakamoto, 1996; Mase, et al., 2006; T. Masuda, et al., 1996; Morimoto & Masuda, 1984; Sadoyama & Masuda, 1987; Stålberg, 1966; Van der Hoeven & Lange, 1994). Ωστόσο, αυτές οι έρευνες, εξέτασαν τις παραπάνω συσχετίσεις, μόνο όσο αναφορά την μέση ΤΑ, σε μονοαρθρικές ασκήσεις και κυρίως σε ασθενείς με προβλήματα στους μύες τους. Αντίθετα, η παρούσα έρευνα δείχνει την στενή σχέση μεταξύ της μέγιστης δύναμης κατά την εκτέλεση μιας πολυαρθρικής άσκησης και της ΤΑ των πιο γρήγορων μυϊκών ινών, εκτιμώμενη μάλιστα κατά την ηρεμία και όχι κατά την εκτέλεση της άσκησης, σε υγιή άτομα.

Άλλο ένα βασικό σημείο της παρούσας έρευνας ήταν ότι οι παράμετροι της ΤΑ των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυ, και κυριότερα οι $TA_{Type\ II}$ και TA_{Max} , συνδέονται στενότερα με τον ΡΕΔ μέχρι τα 250ms παρά με την μέγιστη δύναμη. Τα αποτελέσματα αυτά φανερώνουν τον κρίσιμο ρόλο της ΤΑ στον ΡΕΔ, και κυρίως του πρωίμου (early) ΡΕΔ, και είναι σε εναρμονία με προηγούμενες αναφορές για συσχετίσεις μεταξύ της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των ακινητικών νευρών και του ΡΕΔ σε σχέση με την μέγιστη δύναμη (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; K. Hakkinen, et al., 1988; Sale, 1988). Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, διαπιστώνεται ότι η ΤΑ είναι σημαντικότερη για την παραγωγή υψηλότερου ΡΕΔ, σε σχέση με τη μέγιστη δύναμη, πιθανότατα διότι η κατάσταση και η λειτουργία του νευρικού συστήματος είναι σημαντικότερος παράγοντας για τον ΡΕΔ από ότι για τη μέγιστη ισομετρική δύναμη.

Το ύψος κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση δεν συσχετιζόταν με καμία παράμετρο της ΤΑ, πιθανότατα διότι, το ύψος άλματος επηρεάζεται από την σωματική και τη λιπώδη μάζα, με αποτέλεσμα αυτοί οι δύο παράγοντες να καθορίζουν το ύψος του άλματος, ως μια μη-αξιόπιστη και αντικειμενική παράμετρο της αλτικής επίδοσης, ενώ δεν βοηθάει κατά την σύγκριση μεταξύ ατόμων, π.χ. 2 άτομα με διαφορετικό σωματότυπο μπορούν να έχουν την ίδια αλτική ικανότητα αλλά η προσπάθειες τους να καθορίζονται από τελείως διαφορετικά μεγέθη δύναμης και ισχύος (Bosco, et al., 1982; Bosco & Komi, 1979, 1980; Bosquet, et al., 2002; Davies, et al., 1984; Gastin, 1994; Glass & Dwyer, 2007; G. D. Harris, 2009; Linthorne, 2001; Miller, 2012; Robergs, 2007; Sands et al., 2004; Sayers, et al., 1999). Ένας πιο αξιόπιστος δείκτης της αλτικής ικανότητας είναι η μέγιστη ισχύος κατά το άλμα (Bosco, et al., 1982; Bosco & Komi, 1979,

1980; Bosquet, et al., 2002; Davies, et al., 1984; Gastin, 1994; Glass & Dwyer, 2007; G. D. Harris, 2009; Linthorne, 2001; Miller, 2012; Robergs, 2007; Sands, et al., 2004; Sayers, et al., 1999), παράμετρος η οποία επηρεάζεται σημαντικά από τους νευρομυϊκούς παράγοντες των κάτω άκρων (Cormie, et al., 2011a). Σε ενίσχυση αυτού, προηγούμενες μελέτες ανέφεραν ότι η επίδοση-απόδοση κατά τα επιτόπια κατακόρυφα άλματα συνδέονται με την αυξημένη ηλεκρομυογραφική δραστηριότητα των μυών των κάτω άκρων, προσδίδοντας έτσι έναν πολύ σημαντικό ρόλο για αυτή την επίδοση στο νευρικό σύστημα (Cormie, et al., 2011a; Fitts, et al., 1991). Παράλληλα, η ισχύς κατά το άλμα συνδέεται στενά με το ποσοστό (Bosco, Komi, et al., 1983) και το μέγεθος (K Hakkinen et al., 1984) των μυϊκών ινών τύπου II, οι οποίες φαίνεται να έχουν και μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης των δυναμικών ενέργειας (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Clausen, 2003b; Kereshi, et al., 1983). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας παρέχουν αποδείξεις για την σύνδεση μεταξύ της TA, και ειδικότερα των γρήγορων μυϊκών ινών (TA_{Type II} και TA_{Max}), και της αλτικής απόδοσης. Επομένως, εκτός από την γρήγορη ενεργοποίηση των γρήγορων α-κινητικών νευρώνων και την αυξημένη νευρική διέγερση κατά τα αρχικά χρονικά διαστήματα μιας εκρηκτικής δραστηριότητας (Cormie, et al., 2011a), άλλη μια σημαντική παράμετρος για αυξημένη αλτική επίδοση είναι και η ταχύτερη μετάδοση των δυναμικών ενέργειας κατά μήκος των μυϊκών ινών, και κυρίως των γρήγορων μυϊκών ινών, έτσι όπως φαίνεται και τις υψηλότερες συσχετίσεις που βρέθηκαν για τις TA_{Type II} και TA_{Max}.

Στην παρούσα έρευνα, η μέση TA ήταν $4,90 \pm 0,40 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ (εύρος τιμών 2,3 – 7,93 $\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$). Αυτές οι τιμές ήταν εφάμιλλες με αυτές που έχουν αναφερθεί και προηγουμένως (Sadoyama, et al., 1988; Troni, et al., 1983), αλλά υψηλότερες σε σχέση με άλλες έρευνες (Buchthal & Sten-Knudsen, 1959; Stålberg, 1966; Van der Hoeven, 1995a). Η TA στην παρούσα έρευνα αξιολογήθηκε από τον έξω πλατύ μηριαίο μυ, έναν μυ ο οποίος δεν προτιμάται από τους ερευνητές αυτού του πεδίου, για αυτό και υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα για την TA των μυϊκών ινών του και κυρίως σε υγιή άτομα (για λεπτομέρειες σχετικά με αυτό παρακαλώ δείτε τον Πίνακα 2.7). Ο έξω πλατύς έχει μεγαλύτερες μυϊκές ίνες σε σχέση με τους μύες των άνω άκρων, όπως του δικέφαλου βραχιόνιου (P. Tesch & Larsson, 1982), ο οποίος έχει εξεταστεί στην πλειονότητα των μέχρι τώρα ερευνών του πεδίου. Από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία, η μέση διάμετρος των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, σε άτομα που ανήκουν στην ίδια πληθυσμιακή ομάδα με αυτά που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα, είναι περίπου 80-100 μm , τιμές οι οποίες είναι σαφώς μεγαλύτερες από αυτές των μυϊκών ινών του δικέφαλου βραχιόνιου, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 40 και 70 μm (Trappe et al., 2003). Επομένως, ήταν αναμενόμενο να βρεθούν υψηλότερες τιμές της TA, σε σχέση με προηγούμενες αναφορές. Σύμφωνα με τους Nandedkar και Stålberg (1983) και την παρακάτω εξίσωση που παρουσίασαν για την ανεύρεση της TA των ινών με βάση την μέση διάμετρο [$TA = 2,2 + 0,05 \cdot (\text{διάμετρο ινών} - 25)$], η μέση ταχύτητα για το δείγμα της παρούσας έρευνας θα έπρεπε να είναι γύρω στα $5 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, τιμή η οποία είναι πολύ κοντά στην τιμή που αξιολογήθηκε σε αυτή την εργασία.

Η θερμοκρασία των μυών αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τις διάφορες βιολογικές λειτουργίες, διαφοροποιώντας για παράδειγμα την κινητική των διάφορων βιοχημικών διεργασιών, και επομένως τη μηχανική της

μυϊκής συστολής (Gray, et al., 2006). Για παράδειγμα, η υψηλότερη θερμοκρασία των μυών συνδέεται με την αυξημένη παραγωγή δύναμης και ισχύος (Gray, et al., 2006). Αν και οι επιπτώσεις της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας των μυών στην ΤΑ δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς, φαίνεται ότι η μειωμένη θερμοκρασία των μυών επηρεάζει αρνητικά την ΤΑ, ενώ η αυξημένη θερμοκρασία την αυξάνει (Bishop, 2003; P. I. Brown et al., 2008; Buchthal & Engbæk, 1963; De Ruiter & De Haan, 2000; Drust et al., 2005; Farina, et al., 2005a; Gray, et al., 2006; He et al., 2000; Lionikas et al., 2006; B. J. Martin et al., 1975; Rall & Woledge, 1990b; Rau, et al., 1988; Rutkove, 2001; Rutkove, et al., 1997; Stålberg, 1966; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven & Lange, 1994), πιθανότατα λόγω της αυξημένης κινητικότητας των ιόντων Na^+ μέσα από τους διαύλους Na^+ (Rutkove, et al., 1997). Αν και στην παρούσα εργασία η θερμοκρασία των μυών δεν ελέγχθηκε, η θερμοκρασία του δωματίου που πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της ΤΑ ήταν συνεχώς ρυθμισμένη στους 24°C, εξωτερική θερμοκρασία η οποία δεν φαίνεται να επηρεάζει την ΤΑ (Bishop, 2003; P. I. Brown, et al., 2008; Buchthal & Engbæk, 1963; De Ruiter & De Haan, 2000; Drust, et al., 2005; Farina, et al., 2005a; Gray, et al., 2006; He, et al., 2000; Lionikas, et al., 2006; B. J. Martin, et al., 1975; Rall & Woledge, 1990b; Rau, et al., 1988; Rutkove, 2001; Rutkove, et al., 1997; Stålberg, 1966; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven & Lange, 1994), ενώ όλες οι δοκιμαζόμενες απέιχαν από οποιαδήποτε έντονη φυσική δραστηριότητα-άσκηση για τουλάχιστον 6 ώρες Με τον ερχομό τους στο εργαστήριο, παρέμεναν για 30 λεπτά σε καθιστή θέση στην θερμοκρασία δωματίου, ώστε να επανέλθει η θερμοκρασία των μυών τους στα φυσιολογικά επίπεδα (Bishop, 2003; P. I. Brown, et al., 2008; De Ruiter & De Haan, 2000; Drust, et al., 2005; Gray, et al., 2006; He, et al., 2000; Lionikas, et al., 2006; B. J. Martin, et al., 1975; Rall & Woledge, 1990b; Rau, et al., 1988; Rutkove, 2001; Rutkove, et al., 1997; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven & Lange, 1994). Επομένως, μπορεί να υποτεθεί ότι η θερμοκρασία των μυών, πριν και κατά την διάρκεια της αξιολόγησης της ΤΑ, πρέπει να κυμαίνονταν γύρω στα φυσιολογικά (~30°C) επίπεδα ηρεμίας (Bishop, 2003; P. I. Brown, et al., 2008; De Ruiter & De Haan, 2000; Drust, et al., 2005; Gray, et al., 2006; He, et al., 2000; Lionikas, et al., 2006; B. J. Martin, et al., 1975; Rall & Woledge, 1990b; Rau, et al., 1988; Rutkove, 2001; Rutkove, et al., 1997; Troni, et al., 1991; Van der Hoeven & Lange, 1994).

5.2 Συζήτηση αποτελεσμάτων δεύτερης έρευνας

Το κύριο εύρημα της παρούσας έρευνας ήταν ότι οι παράμετροι της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, μετρημένοι κατά την ηρεμία με ενδομυϊκά ηλεκτρόδια, ειδικότερα η μέση και η μέγιστη ΤΑ, εξαρτάται από την CSA και το %CSA των ινών τύπου II, σε αρχάρια αλλά και καλά προπονημένα άτομα. Ωστόσο, σημαντικότερος παράγοντας για την ΤΑ φαίνεται να είναι η CSA και το %CSA των ινών τύπου IIχ. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας του μυός από τις ίνες τύπου IIχ, τόσο μεγαλύτεροι είναι και οι παράμετροι της ΤΑ. Παράλληλα με αυτό το εύρημα, η παρούσα εργασία επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της 1^{ης} έρευνας, σχετικά με τις στενές σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και της παραγωγής μυϊκής ισχύος, μέγιστης δύναμης και PΕΔ, διαπίστωση η οποία ενισχύει το συμπέρασμα της σημαντικής συμβολής της ΤΑ στην παραγωγή ισχύος και PΕΔ, με

τα άτομα που είχαν υψηλότερες τιμές ΤΑ να έχουν και τις υψηλότερες επιδόσεις στις αξιολογήσεις της ισχύος. Αυτό το εύρημα, επιβεβαιώνεται και από τις συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων, όπου τα άτομα της ομάδας ισχύος που είχαν και τις υψηλότερες τιμές των παραμέτρων της ΤΑ να έχουν και τις υψηλότερες τιμές στις αξιολογήσεις ισχύος, ακολουθούμενα από τα άτομα της ομάδας δύναμης και έπειτα τα άτομα της ομάδας των αρχαρίων και των μαραθωνοδρόμων. Μάλιστα, τα άτομα των 2 τελευταίων ομάδων φαίνεται ότι δεν διαφέρουν στις αξιολογήσεις ισχύος, στοιχείο το οποίο συμβαδίζει με τα αποτελέσματα της σύγκρισης των παραμέτρων της ΤΑ και της κατανομής των μυϊκών ινών.

5.2.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων για το σύνολο των δοκιμαζόμενων

Προηγούμενες μελέτες, σε πειραματόζωα και ασθενείς, παρουσίασαν μέτριες συσχετίσεις μεταξύ του μεγέθους, του τύπου των μυϊκών ινών και της μέσης ΤΑ (Blijham, et al., 2006; Stålberg, 1966; Troni, et al., 1983). Στην παρούσα έρευνα όμως έγινε για πρώτη φορά διερεύνηση των πιθανών σχέσεων μεταξύ όλων των παραμέτρων της ΤΑ και αυτών της κατανομής των μυϊκών ινών, τόσο σε μη ασκούμενους όσο και σε χρόνια καλά γυμνασμένα άτομα, 3 διαφορετικών ειδών προπόνησης. Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας φαίνεται ότι το ποσοστό των μυϊκών ινών έχει μικρή επίδραση πάνω στις παραμέτρους της ΤΑ σε υγιή και καλά προπονημένα άτομα, αφού μόνο κάποιες μέτριες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ του ποσοστού των ινών τύπου I, Ια, Ιχ και ΙΙ, με την μέση και την μέγιστη ΤΑ καθώς και τον λόγο F/S, όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι εξετάζονταν σαν ένα σύνολο. Σε αυτό ίσως να ευθύνεται η ανομοιομορφία του δείγματος όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχθηκαν ως ένα σύνολο. Και αυτό διότι, όταν οι παραπάνω συσχετίσεις ελέγχθηκαν για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά, διαπιστώθηκαν υψηλές και πολύ υψηλές συσχετίσεις, σύμφωνα με την κατάταξη του Hopkins (2000), στις ομάδες των αρχαρίων της ισχύος και της δύναμης, αλλά καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση για την ομάδα των μαραθωνοδρόμων, πιθανότατα λόγω των ειδικών προσαρμογών που υπάρχουν στην κατανομή των μυϊκών ινών ανάλογα με το είδος της συστηματικής άσκησης που πραγματοποιείται.

Συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα τις παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι το ποσοστό των ινών τύπου I, είναι αρνητικός παράγοντας για την μέση και την μέγιστη ΤΑ καθώς και τον λόγο F/S, που σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο ποσοστό ινών τύπου I έχει ένα άτομο, τόσο μικρότεροι είναι οι παράγοντες της ΤΑ, δεδομένο που συμβαδίζει με προηγούμενη μελέτη σε ασθενείς (Linseen et al., 1991). Αντίθετα, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υποδηλώνουν ξεκάθαρα την θετική συμβολή των ινών τύπου ΙΙ στις παραμέτρους της ΤΑ, με τα άτομα που είχαν υψηλότερο ποσοστό ινών τύπου ΙΙ να έχουν υψηλότερες τιμές της μέσης και την μέγιστης ΤΑ καθώς και τον λόγο F/S, δεδομένα τα οποία συμβαδίζουν με προηγούμενες αναφορές για θετικές συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού της MHC τύπου ΙΙ και της μέσης ΤΑ, μετρημένης με επιφανειακά ηλεκτρόδια κατά την διάρκεια της μέγιστης άσκησης, σε μέτρια γυμνασμένους άνδρες (Farina et al., 2007; Taylor et al., 1997).

Ωστόσο, όλες οι συσχετίσεις για το ποσοστό των ινών που βρέθηκαν σε αυτή την έρευνα ήταν ελαφρώς μικρότερες από αυτές που έχουν βρεθεί σε προηγούμενες έρευνες πάνω σε ασθενείς (Farina et al., 2007; Taylor et al., 1997), ενώ είναι σε

αντίθεση με την μη εύρεση συσχέτισης μεταξύ του ποσοστού των ινών τύπου I και II με την μέση TA που αναφέρθηκε σε 12 δρομείς ταχύτητας και 7 αντοχής από τους Sadoyama et al. (1998), αν και τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη με πολύ επιφύλαξη, λόγω των μεθοδολογικών προβλημάτων που υπήρχαν στην έρευνα. Όπως και έχει προαναφερθεί στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (ενότητα 2.5.4.) καθώς και στην συζήτηση της πρώτης έρευνας, ο τύπος των μυϊκών ινών φαίνεται πως επηρεάζει κάπως την TA λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης και πυκνότητας, αλλά και των ισομορφών της $\beta 2$ -υποομάδας των αντλιών Na^+ , K^+ -ATPάσης, μεταξύ των ινών τύπου II και I, με τις τύπου II να έχουν, τουλάχιστον σε πειραματόζωα, μεγαλύτερο αριθμό αυτών (Clausen, 2003b; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006), με αποτέλεσμα να υπάρχει μια γρηγορότερη δημιουργία και μετάδοση των δυναμικών ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες, με αποτέλεσμα οι τύπου II να έχουν υψηλότερες TA από τις τύπου I (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Kereshi, et al., 1983), συνθήκη η οποία αντικατοπτρίζεται και από την δικόρυφη κατανομή των συχνοτήτων της TA που βρίσκεται κατά την εξέταση. Ωστόσο, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι σε υγιή και προπονημένα άτομα, όταν αυτά εξετάζονται ως σύνολο, το ποσοστό των μυϊκών ινών από μόνο του δεν φαίνεται να είναι και από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν και εξηγούν τις παραμέτρους της TA

Σημαντικότερος παράγοντας, σε σχέση με το ποσοστό των ινών, φαίνεται να είναι η εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών, όπου διαπιστώθηκαν τουλάχιστον υψηλές συσχετίσεις, με όλες τις παραμέτρους της TA, εκτός της μικρότερης τιμής, όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι εξετάστηκαν ως ένα σύνολο. Σε κάθε περίπτωση, οι υψηλότερες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για τις ίνες τύπου IIx και II συνολικά, με την μέση και την μέγιστη TA. Οι υψηλές αυτές συσχετίσεις επιβεβαιώθηκαν και από τις αντίστοιχες των διαμέτρων καθώς και των παραγόντων υπερτροφίας των ινών, όπου και πάλι οι υψηλότερες διαπιστώθηκαν για τις ίνες IIx και II. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, όσον αφορά τις συσχετίσεις μεταξύ της εγκάρσιας επιφάνειας, της διαμέτρου των ινών και των παραμέτρων της TA, επιβεβαιώνουν προηγούμενες αναφορές πάνω σε αυτό το θέμα, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε πειραματόζωα και ασθενείς (Blijham, et al., 2006; Hakansson, 1956; Stålberg, 1966, 1980). Τα αποτελέσματα αυτά και συγκεκριμένα ο συνδυασμός των υψηλών συσχετίσεων που διαπιστώθηκαν τόσο για την εγκάρσια επιφάνεια, όσο και για τους παράγοντες υπερτροφίας και ειδικότερα για τις ίνες τύπου IIx και II, υποδηλώνουν ξεκάθαρα ότι η ταχύτητα αγωγής, και μάλιστα η μέση και η μέγιστη, εξαρτώνται σημαντικά από το μέγεθος των ινών αυτών, με τις μεγαλύτερες να επιτρέπουν και τις μεγαλύτερες τιμές της TA. Με απλά λόγια, όσο μεγαλύτερες σε μέγεθος είναι οι τύπου IIx και II ίνες γενικά, τόσο υψηλότερη είναι η TA του έξω πλατύ μηριαίου μυός.

Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν με την δήλωση των Blijham και συν. (2006), όπου σε ασθενείς με μυϊκές ίνες με διάμετρο πάνω από $292\mu\text{m}$ διαπιστώθηκε μέγιστη TA πάνω από $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, υποδηλώνοντας έτσι την συμβολή των υπερτροφικών μυϊκών ινών στην μέγιστη TA. Ωστόσο, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, σε υγιή και χρόνια προπονημένα άτομα, μια διάμετρος των ινών τύπου II πάνω από $60\mu\text{m}$ έως και $70\mu\text{m}$ μπορεί να αποδώσει

μια μέγιστη TA από $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ έως $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, επειδή σε αυτά τα άτομα οι μηχανισμοί προώθησης των δυναμικών ενέργειας δεν έχουν υποστεί μεταβολές και παθολογικές βλάβες όπως συμβαίνει σε ασθενείς με μυασθένειες και μυοπάθειες (Arendt-Nielsen & Mills, 1988; Brody, et al., 1991; Eberstein & Beattie, 1985; Gray, et al., 2006; Hanayama, 1994; Houtman, et al., 2003; Katz, 1948; Klaver-Krol, et al., 2012; Krogh-Lund, 1993; Krogh-Lund & Jørgensen, 1991; Linssen, et al., 1991; Macdonald, et al., 2008; K. Masuda, et al., 1999; Naeije & Zorn, 1982; Naumann & Reiners, 1996a; M. C. Pereira, et al., 2013; Piitulainen, et al., 2011; Sangrey & B Levy, 2005; Schmitz, et al., 2012; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Stewart, et al., 2011; Yaar & Niles, 1992; Zwarts, et al., 1987).

Όπως έχει προαναφερθεί και προηγουμένως στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (ενότητα 2.5.4), βασικός λόγος για τον οποίο το μέγεθος των μυϊκών ινών επηρεάζει την TA είναι ο τρόπος μετάδοσης του νευρικού σήματος κατά μήκος της μυϊκής ίνας, ο οποίος εξαρτάται από την R_m και την R_i (Blaustein & Lederer, 1999; Broman, et al., 1985b; Buchthal, et al., 1955a, 1955b; Clausen, 1986, 2003b; Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hakansson, 1956; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Morimoto, 1986; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Zhang, et al., 2006). Το ηλεκτρικό ρεύμα του δυναμικού ενέργειας κατά την μετάδοσή του στις μυϊκές ίνες ακολουθεί πάντα την πορεία με την λιγότερη αντίσταση (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Στις μυϊκές ίνες η R_m είναι πολύ μεγαλύτερη από την R_i , με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της μετάδοσης των νευρικών ώσεων να πραγματοποιείται μέσω του σαρκοπλάσματος. Επομένως, το μέγεθος των μυϊκών ινών φαίνεται να είναι ένας σημαντικός ρυθμιστής του τρόπου αλλά κυρίως της ταχύτητας της μετάδοσης αυτών των ώσεων (Stålberg, 1966, 1979, 1980). Παράλληλα, όσο μεγαλύτερη είναι μια μυϊκή ίνα, τόσο περισσότερους ιοντικούς διαύλους φέρει στην περιφέρειά της, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η διαπερατότητα και η αγωγιμότητά της, διαδικασία η οποία οδηγεί στην σημαντική μείωση της R_m και στην πιο γρήγορη και έντονη εκπόλωσή της (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hodgkin & Nakajima, 1972; Kandel, et al., 2000). Παράλληλα, η R_i εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από το μέγεθος της μυϊκής ίνας, διότι επηρεάζεται από τον βαθμό των «συγκρούσεων» μεταξύ των ιόντων του νευρικού ρεύματος που προωθείται μέσω της ίνας και των ιόντων που υπάρχουν ήδη στο σαρκόπλασμα, καθώς και από το γεγονός ότι μέσα από τις μεγάλες διατομές μπορούν να μεταφερθούν μεγαλύτερα φορτία, με αποτέλεσμα την γρηγορότερη μετάδοση του νευρικού σήματος (Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000). Αποτέλεσμα των παραπάνω τροποποιήσεων της R_m και R_i είναι ότι οι μεγάλες μυϊκές ίνες έχουν μεγαλύτερη σταθερά μήκους (Blaustein & Lederer, 1999; Clausen, 1986; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Kandel, et al., 2000).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, ο συνδυασμός του ποσοστού και του μεγέθους, δηλαδή το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών είναι ο παράγοντας της κατανομής των μυϊκών ινών που μπορεί να επηρεάσει και να εξηγήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις παραμέτρους της TA του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Ειδικότερα, φαίνεται πως το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου II και ακόμα περισσότερο των IIx

είναι που επηρεάζουν σημαντικότερα τις παραμέτρους της ΤΑ Σε αντίθεση, φαίνεται ότι το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου Ι έχει αρνητική επίδραση στο μέγεθος της ΤΑ Επομένως, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ, τόσο υψηλότερες είναι οι τιμές των παραμέτρων της ΤΑ Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει την αναφορά των Sadoyama και συν. (1998), για την ύπαρξη πολύ υψηλής συσχέτισης μεταξύ της μέσης ΤΑ και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ, η οποία βρέθηκε σε δρομείς ταχύτητας και αντοχής (Sadoyama, et al., 1988). Ωστόσο, η αναφορά των Sadoyama και συν. (1998) θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με επιφύλαξη, διότι αναφέρει ότι το %CSA των ινών τύπου ΙΙ στους δρομείς ταχύτητας κυμαινόταν μεταξύ 75%-93%, ενώ στους δρομείς αντοχής από 40% έως 75%, τιμές οι οποίες σήμερα θεωρούνται εξαιρετικά ακραίες και μεγάλες (Billeter, et al., 2003; Crowther, et al., 2002; Widrick, et al., 2002), ενώ παράλληλα οι τιμές της ΤΑ (4,13 έως 5,20 m·s⁻¹) ήταν εφάμιλλες με αυτές που παρατηρούνται σε αγύμναστα άτομα (A. D. Taylor, et al., 1997), στοιχείο τα οποία προέκυψαν από μια όχι και τόσο αξιόπιστη μεθοδολογική προσέγγιση κατά την αξιολόγηση τόσο της ΤΑ όσο και της κατανομής των μυϊκών ινών. Αντίθετα, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία, έχει ελεγχθεί για την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της (για λεπτομέρειες παρακαλώ δείτε ενότητες 3.1.5.2. και 3.2.6), με αποτέλεσμα να αποφέρει τιμές της κατανομής των μυϊκών ινών και των παραμέτρων της ΤΑ οι οποίες είναι μέσα στις αναμενόμενες τιμές και μέσα στα όρια προηγούμενων αναφορών για το επίπεδο των συμμετεχόντων (Billeter, et al., 2003; Crowther, et al., 2002; Klaver-Król, et al., 2010; A. D. Taylor, et al., 1997; Widrick, et al., 2002).

Ο λόγος για τον οποίο, όπως φαίνεται, το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ είναι οι παράγοντες αυτοί οι οποίοι εξηγούν και επηρεάζουν περισσότερο τους παράγοντες της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίο μυός, είναι ότι αυτή η παράμετρος της κατανομής συνδυάζει τα 2 χαρακτηριστικά που όπως φαίνεται επηρεάζουν την ΤΑ, δηλ. το ποσοστό και το μέγεθος των ινών (Brooke & Engel, 1969; Brooke & Kaiser, 1970a; Costill, et al., 1979; Costill et al., 1976; Crowther, et al., 2002; Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007; Fitts & Widrick, 1996; Staron, et al., 2000; Staron & Hikida, 1992; Staron et al., 1983; Widrick, et al., 2002; Zierath & Hawley, 2004). Επομένως, το αυξημένο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου ΙΙ, οδηγεί σε αυξημένες τιμές ΤΑ, και κυρίως της μέσης και της μέγιστης, διότι από την μια συνδυάζει το μεγάλο μέγεθος των ινών, άρα και κατά επέκταση την χαμηλή κυτταροπλασματικής και μεμβρανική αντίσταση, οι οποίες οδηγούν σε πολύ υψηλές σταθερές μήκους (Blaustein & Lederer, 1999; Broman, et al., 1985b; Buchthal, et al., 1955a, 1955b; Clausen, 1986, 2003b; Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hakansson, 1956; Hodgkin & Nakajima, 1972; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Morimoto, 1986; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Zhang, et al., 2006), ενώ από την άλλη συνδυάζει και τον αυξημένο αριθμό και πυκνότητα των αντλιών Na⁺, K⁺ -ΑΤΡάσης με το β2 ισόμορφο, που υπάρχει στις ίνες τύπου ΙΙ έναντι των ινών τύπου Ι (Clausen, 2003b; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006), με αποτέλεσμα να υπάρχει μια γρηγορότερη δημιουργία και μετάδοση των δυναμικών

ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες, με αποτέλεσμα οι τύπου II να έχουν υψηλότερες ΤΑ από τις τύπου I (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Kereshi, et al., 1983; Zhang, et al., 2006). Επομένως, με βάση τα παραπάνω εξηγείται ο μηχανισμός με τον οποίο σε έναν μυ που έχει μεγάλο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου II οι ταχύτητες αγωγής των δυναμικών ενέργειας είναι υψηλότερες σε σχέση με έναν μυ όπου υπάρχει μεγάλο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου I. Ωστόσο, πιθανότατα, για τις υψηλότερες συσχετίσεις που διαπιστώθηκαν, τόσο για την εγκάρσια επιφάνεια όσο και για το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου Ιχ σε σχέση με τις τύπου Ια, να ευθύνεται ο ακόμα υψηλότερος αριθμός και πυκνότητα των αντλίων Na^+ , K^+ -ΑΤΡάσης με το $\beta 2$ ισόμορφο που μπορεί να υπάρχει στις ίνες τύπου Ιχ έναντι των Ια, αν και αυτό είναι κάτι το οποίο πρέπει να διερευνηθεί.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να γίνει μια μικρή αναφορά σχετικά με την εγκάρσια επιφάνεια και την διάμετρο των μυϊκών ινών και τις συσχετίσεις τους με τις παραμέτρους της ΤΑ Γενικά, στην μέχρι τώρα βιβλιογραφία πάνω στο θέμα της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες και την επίδραση που έχει πάνω της το μέγεθος των ινών, έχει διερευνηθεί πολύ περισσότερο η διάμετρος ως μεταβλητή του μεγέθους των μυϊκών ινών, παρουσιάζοντας συσχετίσεις από 0,400 έως 0,700, μεταξύ της μέσης διαμέτρου και της μέσης ΤΑ (Blijham, et al., 2006; Hakansson, 1956; Stålberg, 1966, 1980), συσχετίσεις οι οποίες είναι εφάμιλλες αυτών που διαπιστώθηκαν και στην παρούσα έρευνα. Ο λόγος της προτίμησης της διαμέτρου στις μέχρι τώρα έρευνες πάνω στο θέμα αυτό είναι ότι οι περισσότερες έχουν πραγματοποιηθεί σε ασθενείς, όπου η διάμετρος είναι η παράμετρος αυτή που χρησιμοποιείται από τους νευρολόγους για την εκτίμηση της κατάστασης των μυϊκών ινών και την γνωμάτευση τυχόν παθήσεων και ασθενειών (Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007). Αντίθετα, στην αθλητική επιστήμη έχει καθιερωθεί η εγκάρσια επιφάνεια. Στην παρούσα έρευνα, αναλύθηκαν και οι τρεις παράμετροι που υποδηλώνουν το μέγεθος των μυϊκών ινών, σε μια προσπάθεια διερεύνησης τυχόν σημαντικών διαφοροποιήσεων, ώστε να βρεθεί ποια από τις παραμέτρους παρουσιάζει καλύτερες συσχετίσεις με τις παραμέτρους της ΤΑ Όπως φαίνεται και από τους Πίνακες 4.6, 4.8 και 4.10, οι συσχετίσεις που παρουσιάστηκαν για την εγκάρσια επιφάνεια ήταν ελαφρώς υψηλότερες σε σχέση με αυτές της διαμέτρου των μυϊκών ινών και των παραγόντων υπερτροφίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι συσχετίσεις τόσο της εγκάρσιας επιφάνειας όσο και της διαμέτρου και των παραγόντων υπερτροφίας των μυϊκών ινών με τις παραμέτρους της ΤΑ συμβάδισαν, υποδηλώνοντας έτσι μια αντιστοιχία.

Ο λόγος της μικρής διαφοράς όσον αφορά την σύγκριση των συσχετίσεων, πιθανότατα να είναι η μεθοδολογία προσέγγισης που ακολουθείται για την εκτίμηση του κάθε παράγοντα. Ο κανόνας για την αξιολόγηση της διαμέτρου των μυϊκών ινών είναι ότι αξιολογείται η μικρότερη διάμετρος, λόγω του φαινομένου του σωλήνα, φαινόμενο κατά το οποίο κατά την προετοιμασία των τομών για την χρώση της ΑΤΡάσης, μπορεί να υπάρχει μια παραμόρφωσή στη μορφή της ίνας, λόγω «τραβήγματος» της (Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007). Ωστόσο, αυτή η τεχνική έχει και το αρνητικό ότι επιτρέπει την εσφαλμένη εκτίμηση (σφάλμα μέτρησης) της διαμέτρου κατά 5% έως 8%, σε αντίθεση με την τεχνική

που ακολουθείται για την εκτίμηση της εγκάρσιας επιφάνειας που η οποία έχει ένα λάθος μέτρησης της τάξεως του 2% έως 4% (Kim et al., 2007). Επομένως, η μικρή διαφοροποίηση η οποία παρατηρήθηκε στο μέγεθος των συσχετίσεων ίσως να είναι αποτέλεσμα του μεγαλύτερου σφάλματος λάθους που μπορεί να υπάρχει κατά την εκτίμηση της διαμέτρου σε σχέση με την εγκάρσια επιφάνεια. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε οι διαφορές είναι αμελητέες, ενώ έχουν και την ίδια τάση. Παράλληλα, όπως φάνηκε και από τον Πίνακα 4.5β, οι παράμετροι αυτοί της κατανομής των μυϊκών ινών παρουσιάζουν πολύ υψηλές συσχετίσεις μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, από αυτό το σημείο και μετά θα γίνει συζήτηση περισσότερο για την εγκάρσια επιφάνεια, η οποία είναι πιο διαδεδομένη στην αθλητική επιστήμη, και όχι τόσο στην μέση διάμετρο. Ωστόσο, ότι διατυπωθεί για την εγκάρσια επιφάνεια, θα ισχύει και για την διάμετρο των ινών.

Για πρώτη φορά, στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκαν οι τιμές του λόγου F/S, ο οποίος αντιπροσωπεύει την διασπορά των ταχυτήτων σε κάθε εξεταζόμενο (Blijham, et al., 2004c; Cruz-Martinez & Arpa, 1999; Lange, et al., 2002; Troni, et al., 1983), σε χρόνια καλά γυμνασμένα άτομα που πραγματοποιούσαν συστηματικά προπόνηση είτε δύναμης, είτε ισχύος είτε μαραθωνίου, καθώς και η πιθανή σχέση του λόγου F/S με την κατανομή των μυϊκών ινών. Υπό κανονικές, φυσιολογικές συνθήκες παρατηρείται μέτρια συσχέτιση ($r=0,400$, $p<0,050$) μεταξύ της μικρότερης (S) και της μεγαλύτερης (F) τιμής της TA (Van der Hoeven, 1995c), με αποτέλεσμα ο λόγος F/S στα υγιή άτομα να κυμαίνεται μεταξύ 1,50 και 2,10 (Blijham, et al., 2011; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Martínez A Cruz, 1988; Hopf, et al., 1974; Mitrovic, et al., 1999; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995a, 1995b; Vogt & Fritz, 2006). Ο λόγος F/S όμως φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά στις μυασθένειες (λεπτομέρειες στον Πίνακα 2.2) και αποτελεί σημαντικό παράγοντα γνωμάτευσης (Van der Hoeven, 1995a, 1995d). Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι στα παραπάνω άτομα υπάρχει μια αύξηση του εύρους τιμών της TA, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο λόγος F/S, σε σημείο που ξεπερνάει κατά πολύ τα όρια που έχουν τεθεί μέχρι τώρα για τα υγιή άτομα, όριο το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 1,50 και 2,10 (Blijham, et al., 2011; Buchthal, et al., 1955b; Chino, et al., 1984; Martínez A Cruz, 1988; Hopf, et al., 1974; Mitrovic, et al., 1999; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Troni, et al., 1983; Van der Hoeven, 1995a, 1995b; Vogt & Fritz, 2006). Μάλιστα από την παρούσα έρευνα προκύπτει ότι σε υγιή χρόνια καλά προπονημένα άτομα, το εύρος διακύμανσης του λόγου F/S μπορεί να κυμαίνεται από 1,47 έως 4,70, τιμή η οποία είναι πολύ υψηλότερη από τις μέχρι τώρα αναφορές σε αγύμναστα άτομα και ασθενείς.

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο, ότι καταρχάς οι ίνες τύπου II είναι μεγαλύτερες από τις τύπου I, ενώ η άσκηση αντιστάσεων για δύναμη και ισχύ αυξάνει το μέγεθος των ινών τύπου II περισσότερο από τις ίνες τύπου I. Αντίθετα, η αερόβια άσκηση προκαλεί μόνο ελάχιστες μεταβολές στο μέγεθος των ινών (Saltin & Gollnick, 2010). Αποτέλεσμα αυτής της επιλεκτικής μεγαλύτερης υπερτροφίας των ινών τύπου II έναντι του τύπου I είναι ότι η συστηματική προπόνηση οδηγεί σε αύξηση του λόγου F/S.

Επομένως, σημαντικό εύρημα της παρούσας έρευνας ήταν η ανεύρεση υψηλών συσχετίσεων (Hopkins, 2000) μεταξύ του λόγου F/S, της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας (το r κυμαινόταν μεταξύ 0,732 και

0,801), με τις υψηλότερες να διαπιστώνονται για τις ίνες τύπου ΙΙχ και ΙΙ, ενώ ήταν αρνητικές με το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου Ι. Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι μέγεθος και το %CSA των ινών τύπου ΙΙ τόσο μεγαλύτερος είναι και ο λόγος F/S, στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις υψηλές συσχετίσεις που διαπιστώθηκαν μεταξύ των παραγόντων υπερτροφίας των ινών τύπου ΙΙ και του λόγου F/S, σε αντίθεση με την μικρή συσχέτιση που υπάρχει για τον παράγοντα υπερτροφίας των μυϊκών ινών τύπου Ι. Για τις υψηλές συσχετίσεις που διαπιστώθηκαν μεταξύ της εγκάρσιας επιφάνειας, του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας, του παράγοντα υπερτροφίας των τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ, με τον λόγο F/S ίσως να ευθύνεται η επιλεκτική υπερτροφία που υπάρχει ανάλογα το είδος της συστηματικής προπόνησης σε αυτές τις ίνες (Terzis, Georgiadis, et al., 2008; Zaras, et al., 2013) επηρεάζοντας έτσι τον λόγο F/S, αυξάνοντας τον. Επομένως, αυτό είναι ένα σημείο το οποίο χρήζει προσοχής και περισσότερης έρευνας, διότι ο λόγος F/S χρησιμοποιείται συχνά σε γνωμάτευσεις παθήσεων και ασθενειών των μυών, και ένας αυξημένος λόγος F/S λόγω της ασκησιογενούς επιλεκτικής υπερτροφίας των ινών τύπου ΙΙ μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη γνωμάτευση.

Σε ταχυδυναμικές δραστηριότητες, όπως είναι οι αθλητικές αλλά και σε καθημερινές κινήσεις, όπως για παράδειγμα η αποφυγή των πτώσεων, ο υψηλός ΡΕΔ φαίνεται να αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα επιτυχίας, αφού επιτρέπει την πολύ γρήγορη εφαρμογή όσο το δυνατόν μεγαλύτερου ποσοστού της μέγιστης δύναμης, στα κρίσιμα χρονικά διαστήματα μεταξύ 100ms και 250ms (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a; Aagaard, et al., 2010; Bean, et al., 2003; Cormie, et al., 2011a; Fitts, et al., 1991; Foldvari, et al., 2000; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; K. Hakkinen, et al., 1988; Sale, 1988; Stone, et al., 2002; Stone, O'Bryant, et al., 2003; Stone, Sanborn, et al., 2003). Είναι γενικά αποδεκτό, ότι ο ΡΕΔ και η μυϊκή ισχύς επηρεάζονται σημαντικά, πρωτίστως από την λειτουργία και την κατάσταση του νευρικού συστήματος (Aagaard & Andersen, 1998; Aagaard, et al., 2001; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; Narici, et al., 1989). Σε ενίσχυση αυτών, οι Aagaard και συν., ανέφεραν ότι η ασκησιογενής αύξηση της νευρικής λειτουργίας στα αρχικά χρονικά διαστήματα της μυϊκής σύσπασης, συνδεόταν με την αύξηση του ΡΕΔ στα αντίστοιχα διαστήματα (Aagaard, et al., 2002a). Όσον αφορά την ΤΑ, προηγούμενες έρευνες έχουν αναφέρει μέτριες συσχετίσεις μεταξύ της διακύμανσης της μέσης ΤΑ, αξιολογούμενη μέσω επιφανειακών ηλεκτροδίων, και της αύξησης της παραγόμενης δύναμης κατά την διάρκεια μέγιστων ισομετρικών προσπαθειών (Sadoyama & Masuda, 1987; Van der Hoeven & Lange, 1994). Ωστόσο, σε αυτές τις έρευνες εκτός από την χρήση των επιφανειακών ηλεκτροδίων, και την εξέταση μόνο της μέσης ΤΑ, η αξιολόγηση της δύναμης πραγματοποιήθηκε σε μονοαρθρική άσκηση. Αντίθετα, η παρούσα έρευνα, καθώς και η πρώτη που αποτελεί την παρούσα διδακτορική διατριβή, αποκαλύπτουν, για πρώτη φορά, την στενή σχέση μεταξύ του ΡΕΔ κατά την εκτέλεση μιας πολυαρθρικής άσκησης και της ΤΑ των πιο γρήγορων μυϊκών ινών, εκτιμώμενη μάλιστα κατά την ηρεμία και όχι κατά την εκτέλεση της άσκησης, σε υγιή άτομα.

Η παρούσα έρευνα επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της πρώτης έρευνας, για την στενή σχέση της μέσης και της μέγιστης ΤΑ με τον ΡΕΔ και την παραγωγή μυϊκής ισχύος, αυτή τη φορά και σε άτομα τα οποία είναι χρόνια προπονημένα. Και αυτό διότι, φαίνεται ότι εκτός από την γρήγορη ενεργοποίηση των α-κινητικών νευρώνων τύπου ΙΙ, που χρειάζεται για την μεγάλη παραγωγή ΡΕΔ και μυϊκής ισχύος (Aagaard & Andersen, 1998; Aagaard, et al., 2002a; Alkner et al., 2000; L. L. Andersen, et al., 2010; T. W. Beck et al., 2004; Bobbert & van Zandwijk, 1999; Broman, et al., 1985b; Cadore, et al., 2014; Cormie, et al., 2011a; Duchateau, et al., 2006; Farina, Gazzoni, et al., 2005; Fitts & Widrick, 1996; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen & Keskinen, 1989; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 1998; K. Hakkinen, et al., 1988; K. Hakkinen et al., 1992; Hedayatpour, et al., 2007; A. Holtermann, et al., 2007; Kyrolainen, et al., 2005; Merlo et al., 2005b; Peñailillo et al., 2014; Semmler, 2002), η παρούσα έρευνα καθώς και η προηγούμενη, αναδεικνύουν την σημαντική σημασία της ταχύτητας προώθησης των δυναμικών ενέργειας κατά μήκος των μυϊκών ινών στην παραγωγή υψηλού ΡΕΔ και μυϊκής ισχύος. Μάλιστα, όπως ακριβώς διαπιστώθηκε και στην προηγούμενη έρευνα, η παρούσα έρευνα φανέρωσε ότι ο ΡΕΔ συνδέεται στενότερα με την ΤΑ των ινών τύπου ΙΙ και κυρίτερα με την μέγιστη ΤΑ. Επομένως, η μεγαλύτερη παραγωγή ισχύος και ΡΕΔ εξαρτάται και από την ταχύτερη μετάδοση των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες, με αποτέλεσμα τα άτομα που έχουν υψηλότερη μέση, τύπου ΙΙ και μέγιστη ΤΑ να παρουσιάζουν και υψηλότερη ικανότητα παραγωγής ΡΕΔ και μυϊκής ισχύος (πίνακες 4.16 και 4.17). Ανάλυση και συζήτηση για τους λόγους που συμβάλουν στην υψηλή επίδραση της μέσης, τύπου ΙΙ αλλά κυρίτερα της μέγιστης ΤΑ στον ΡΕΔ και στην μυϊκή ισχύ έχει πραγματοποιηθεί στην συζήτηση της πρώτης έρευνας (ενότητα 5.1), και για τον λόγο αυτό σε αυτό το σημείο δεν θα γίνει εκτενέστερη αναφορά, προς αποφυγή επανάληψης. Για περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στο θέμα αυτό παρακαλώ ανατρέξτε στην ενότητα 5.1.

Παράλληλα, ο ΡΕΔ και η παραγωγή μυϊκής ισχύος γενικά, εκτός από την λειτουργία του νευρικού συστήματος, επηρεάζονται και από τον τύπο αλλά και το μέγεθος των μυϊκών ινών. Η παρούσα έρευνα παρουσίασε ότι ο ΡΕΔ και η μυϊκή ισχύς, όπως αυτή αξιολογήθηκε από το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση, συνδέεται μέτρια (το r κυμαινόταν από 0,399 έως 0,526; πίνακες 4.12 και 4.14) με το ποσοστό των ινών, και συγκεκριμένα θετικά με το ποσοστό των ινών τύπου ΙΙχ και ΙΙ, ενώ αρνητικά με το ποσοστό ινών τύπου Ι. Αντίθετα, οι συσχετίσεις μεταξύ της εγκάρσιας επιφάνειας-διαμέτρου-παραγόντων υπερτροφίας των ινών παρουσίασαν πολύ υψηλότερες συσχετίσεις με τον ΡΕΔ και την μυϊκή ισχύ (το r κυμαινόταν από 0,569 έως 0,899; Πίνακες 4.12 και 4.14), με τις μεγαλύτερες συσχετίσεις να διαπιστώνονται και πάλι για τις ίνες τύπου ΙΙχ. Ωστόσο, για άλλη μια φορά, όπως δηλαδή συμβαίνει και με την ΤΑ, φαίνεται ότι το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών είναι η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο και εξηγεί καλύτερα με τον ΡΕΔ και την μυϊκή ισχύ (το r κυμαινόταν από 0,569 έως 0,938; Πίνακες 4.12 και 4.14). Μάλιστα, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου Ι είναι αρνητικός παράγοντας για την υψηλή παραγωγή ΡΕΔ και μυϊκής ισχύος, σε αντίθεση με τις ίνες τύπου ΙΙ και ειδικότερα τις ΙΙχ. Επομένως, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, τα

άτομα που έχουν υψηλότερο ποσοστό εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II και ειδικότερα II_χ, είναι σε θέση να παράγουν πολύ υψηλότερο ΡΕΔ και μυϊκή ισχύ, σε πολυαρθρικές ασκήσεις.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, συμβαδίζουν με αυτά των προηγούμενων ερευνών, όπου αναφέρουν ότι τα άτομα που έχουν περισσότερες και μεγαλύτερες μυϊκές ίνες τύπου II, είναι σε θέση να πετυχαίνουν καλύτερες επιδόσεις σε δραστηριότητες που κρίνονται από την ικανότητα του κάθε ατόμου για πολύ γρήγορη εφαρμογή της δύναμης (Aagaard & Andersen, 1998; L. L. Andersen, et al., 2010), επειδή οι μυϊκές ίνες τύπου II έχουν πολύ πιο γρήγορο κύκλο ολίσθησης εγκάρσιων γεφυρών, σε σχέση με τις τύπου I (Bottinelli, et al., 1996; Larsson & Moss, 1993), ενώ έχουν μικρότερο χρόνο ενεργοποίησης των κινητικών νευρώνων τους και γρηγορότερη μεταφορά του νευρικού σήματος στον κινητικούς νευρώνες τους (Adrian, 1932; Blair & Erlanger, 1933; Connolly et al., 1999; Enoka, 2008; Enoka & Fuglevand, 2001; Erlanger & Gasser, 1937; Gasser & Erlanger, 1929; Gerdle et al., 1991; Gibson, et al., 2001; Hendelman, 2005; Hodes et al., 1948; Hodgkin, 1937; Hursh, 1939; Huxley & Stämpeli, 1949; Kandel, et al., 2000; V. Komi, 1984; T. Masuda & De Luca, 1991; Moritani & Muro, 1987; Purves, Augustine, et al., 2008; Purves et al., 2012; Rushton, 1951; Schulte, et al., 2004; Wakeling et al., 2006) με αποτέλεσμα να παράγουν και μεγαλύτερη δύναμη και ισχύ (Bottinelli, et al., 1996; Larsson & Moss, 1993). Τέλος, προηγούμενες μελέτες προπόνησης έχουν αναφέρει ότι η ασκησιογενής αύξηση του ποσοστού της βαριάς αλυσίδας της μυοσύνης τύπου II_χ, συνδέεται στενά με την αύξηση του ΡΕΔ και μάλιστα στα πρώιμα στάδια της προσπάθειας (Aagaard, 2003; J. L. Andersen & Aagaard, 2000), στοιχείο το οποίο συμβαδίζει και ενισχύει τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω, αλλά κυρίως των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας είναι ότι όταν χρειάζεται υψηλός ΡΕΔ και μυϊκή ισχύς, είναι αναγκαία η διατήρηση του ποσοστού των ινών τύπου II_χ και η παράλληλη αύξηση του μεγέθους τους, ώστε να αυξηθεί το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II_χ. Προηγούμενες έρευνες του εργαστηρίου μας έχουν παρουσιάσει ότι για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί προπόνηση ισχύος (Zaras, et al., 2013) και όχι τόσο καθαρή προπόνηση δύναμης, η οποία φαίνεται να μειώνει το ποσοστό των ινών τύπου II_χ (Terzis, Stratakos, et al., 2008).

Μέτριες αλλά σημαντικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ των 3 παραμέτρων της ΤΑ, και κυρίως των ΤΑ_{Τype II} και ΤΑ_{Max}, εκτιμώμενη μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων στον έξω πλατύ μηριαίο μυ, και της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, κατά την πολυαρθρική άσκηση των πιέσεων ποδιών. Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν και με προηγούμενες αναφορές που ανέφεραν μέτριες συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ, εκτιμώμενη μέσω επιφανειακών ηλεκτροδίων, και της μέγιστης δύναμης (Arendt-Nielsen, et al., 1989; Broman, et al., 1985b; Houtman, et al., 2003; Kilen, et al., 2012; Li & Sakamoto, 1996; Mase, et al., 2006; T. Masuda, et al., 1996; Morimoto & Masuda, 1984; Sadoyama & Masuda, 1987; Stålberg, 1966; Van der Hoeven & Lange, 1994). Ωστόσο, αυτές οι έρευνες, εξέτασαν τις παραπάνω συσχετίσεις, μόνο όσον αναφορά την μέση ΤΑ, σε μονοαρθρικές ασκήσεις και κυρίως σε ασθενείς με προβλήματα στους μύες τους. Αντίθετα, η παρούσα έρευνα αποκαλύπτει και επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της πρώτης

έρευνας, όσον αφορά την στενή σχέση μεταξύ της μέγιστης δύναμης κατά την εκτέλεση μιας πολυαρθρικής άσκησης και της ΤΑ των πιο γρήγορων μυϊκών ινών, εκτιμώμενη μάλιστα κατά την ηρεμία και όχι κατά την εκτέλεση της άσκησης, σε υγιή άτομα.

Άλλο ένα βασικό σημείο της παρούσας έρευνας, το οποίο επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της πρώτης έρευνας, ήταν ότι οι παράμετροι της ΤΑ των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, και κυριότερα οι $TA_{Type II}$ και $T.A.Max$, συνδέονται στενότερα με τον ΡΕΔ μέχρι τα 250ms παρά με την μέγιστη δύναμη. Τα αποτελέσματα αυτά φανερώνουν τον κρίσιμο ρόλο της ΤΑ στον ΡΕΔ, και κυρίως του πρωίμου ΡΕΔ, και είναι σε εναρμονία με προηγούμενες αναφορές για συσχετίσεις μεταξύ της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των α-κινητικών νευρών και του ΡΕΔ σε σχέση με την μέγιστη δύναμη (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; K. Hakkinen, et al., 1988; Sale, 1988). Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, διαπιστώνεται ότι η ΤΑ είναι σημαντικότερη για στην παραγωγή μεγαλύτερου ΡΕΔ, σε σχέση με την μέγιστη δύναμη, πιθανότατα διότι η κατάσταση και η λειτουργία του νευρικού συστήματος είναι σημαντικότερος παράγοντας για τον ΡΕΔ από ότι για την μέγιστη ισομετρική δύναμη.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, μέχρι τώρα, διαπιστώθηκε ότι ο ΡΕΔ στην άσκηση πιέσεων ποδιών, και οι παράμετροι της μυϊκής ισχύος, όπως αυτοί αξιολογήθηκαν κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση, σχετίζονται στενά με τις παραμέτρους τόσο της κατανομής όσο και της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Αυτό το στοιχείο οδήγησε στην διατύπωση του ερωτήματος της πιθανής επίδρασης της κατανομής των μυϊκών ινών στις συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και του ΡΕΔ και της μυϊκής ισχύος, διότι όπως έχει βρεθεί και συζητηθεί σε προηγούμενη παράγραφο, η ΤΑ εξαρτάται από το ποσοστό και το μέγεθος των ινών, ενώ είναι καθιερωμένο, τόσο από προηγούμενες μελέτες όσο και από την παρούσα, ότι η κατανομή των μυϊκών ινών σχετίζεται με τον ΡΕΔ και την μυϊκή ισχύ (αναφορά σχετικά με αυτό έχει γίνει σε προηγούμενες παραγράφους). Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της μερικής συσχέτισης.

Όπως διαπιστώθηκε από τα αποτελέσματα τις μερικής συσχέτισης (πίνακες 4.18 και 4.19), το επίπεδο των συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και του ΡΕΔ στην άσκηση πιέσεων ποδιών, και της μυϊκής ισχύος, μειώνεται σημαντικά, και πολλές φορές γίνεται μη στατιστικά σημαντικό, όταν ελέγχεται η επίδραση της εγκάρσιας επιφάνειας, αλλά κυρίως του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ. Τα αποτελέσματα αυτά φανερώνουν λοιπόν την σημαντική επίδραση που έχουν οι ίνες τύπου ΙΙχ. Παράλληλα, διαπιστώνεται ότι αν και η αυξημένη μέση, τύπου ΙΙ και κυριότερα η μέγιστη ΤΑ είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες που οδηγούν σε αυξημένο ΡΕΔ στην άσκηση πιέσεων ποδιών και την παραγωγή υψηλής μυϊκής ισχύος, ουσιαστικά ο ρόλος τους είναι έμμεσος και όχι άμεσος. Και αυτό διότι, από ότι φαίνεται από τα συνολικά αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, η αυξημένη ΤΑ είναι μια παράμετρος του νευρομυϊκού συστήματος που αποκτείνεται, , ως αποτέλεσμα της αυξημένης εγκάρσιας επιφάνειας, αλλά κυρίως του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας

των μυϊκών ινών τύπου II και ειδικότερα των IIx. Ουσιαστικά, διαπιστώνεται ότι η ΤΑ εξαρτάται και διαφοροποιείται από την εγκάρσια επιφάνεια και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου IIx. Οι λόγοι για τους οποίους, όπως φαίνεται από την παρούσα έρευνας, η αυξημένη εγκάρσια επιφάνεια και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II και ειδικότερα των IIx, οδηγούν σε υψηλότερες τιμές των παραμέτρων της ΤΑ, έχουν συζητηθεί αναλυτικά σε προηγούμενες παραγράφους. Επομένως, για αυξημένο ΡΕΔ και παραγωγή υψηλής μυϊκής ισχύος, απαιτείται μια αυξημένη εγκάρσια επιφάνεια, αλλά κυρίως ένα αυξημένο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας του μυός από τις μυϊκές ίνες τύπου II και ειδικότερα από τις IIx, στοιχείο το οποίο από μόνο του θα οδηγήσει σε μεγαλύτερες ΤΑ, πιθανότατα λόγω του πιο γρήγορου μηχανισμού προώθησης των δυναμικών ενέργειας που φαίνεται να έχουν αυτές οι ίνες, με αποτέλεσμα να υπάρχει πιο γρήγορη ενεργοποίηση και σύσπαση αυτών των ινών και ως εκ τούτου υψηλότερος ΡΕΔ και υψηλότερη μυϊκή ισχύ.

**Αυξημένο Ποσοστό
Καταλαμβανόμενης
Επιφάνειας Ινών Τύπου
II & IIx**



Προκαλεί

**Αυξημένη Ταχύτητα
Αγωγής
(Κυρίως Total, Type II & Max)**



Προκαλεί

**Γρηγορότερη
Ενεργοποίηση Ινών
τύπου II & IIx**



Προκαλεί

**Αυξημένο Ρυθμός
Εφαρμογής της
Δύναμης & Μυϊκή Ισχύ**



Σχήμα 5.1. Ανάλυση του μηχανισμού κατά τον οποίο το αυξημένο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου II και κυρίως των IIx οδηγεί στον αυξημένο ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και την μεγαλύτερη παραγωγή μυϊκής ισχύος.

Το τελευταίο κομμάτι των αποτελεσμάτων που θα συζητηθεί σε αυτή την ενότητα, είναι τα αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης για την διερεύνηση εξισώσεων πρόβλεψης των παραμέτρων της κατανομής των μυϊκών ινών από τις παραμέτρους της TA και της μυϊκής ισχύος. Η παρούσα ανάλυση φανέρωσε δύο (2) πολύ σημαντικές εξισώσεις πρόβλεψης, για το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου Ια και ΙΙ, και 3 για την εγκάρσια επιφάνεια όλων των τύπων των μυϊκών ινών. Μέσα από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διάφορες εξισώσεις πρόβλεψης της TA από την διάμετρο των μυϊκών ινών τόσο σε υγιή αγύμναστα άτομα (1) $TA=0,05 \cdot \text{διάμετρο ίνας} + 0,95$ (Nandedkar & Stålberg, 1983b), (2) $TA=2,2 + 0,05 \cdot [\text{διάμετρο ίνας} - 25]$ (Nandedkar & Stålberg, 1983a), όσο και σε άτομα με μυασθένειες (3) $TA=0,043 \cdot \text{διάμετρο ίνας} + 0,83$ (Blijham, et al., 2006). Ωστόσο, οι μέχρι τώρα εξισώσεις έχουν να κάνουν μόνο με την ανεύρεση της TA μέσα από την κατανομή των μυϊκών ινών. Η παρακολούθηση της κατάστασης της κατανομής των μυϊκών ινών, είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος της υφιστάμενης κατάστασης του νευρομυϊκού ιστού, η οποία μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες, τόσο στους ερευνητές της αθλητικής επιστήμης κατά την πραγματοποίηση διάφορων ερευνητικών πρωτοκόλλων, όσο και στους προπονητές, για την πορεία και την αποτελεσματικότητα της προπονητικής διαδικασίας που ακολουθείται. Ωστόσο, η πραγματοποίηση συχνών δειγματοληψιών μυϊκού ιστού μέσω μυϊκής βιοψίας, είναι μια δαπανηρή αλλά κυρίως επίπονη διαδικασία, η οποία μπορεί να βγάλει εκτός προγραμματισμού έναν αθλητή. Επομένως, η ανεύρεση ενός πολύ λιγότερου επεμβατικού και οικονομικότερου τρόπου εκτίμησης της κατανομής των μυϊκών ινών, είναι ένα σημαντικό και πρακτικό ζήτημα. Η παρούσα έρευνα είναι η πρώτη που παρουσιάζει 5 εξισώσεις για την ανεύρεση του ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας και την εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών. Μάλιστα, οι εξισώσεις πρόβλεψης της παρούσας έρευνας, ελέγχθηκαν για την εγκυρότητα, αξιοπιστία και επαναληψιμότητα τους, σε σύγκριση με τις πραγματικές τιμές, έτσι όπως προέκυψαν από την ανάλυση των μυϊκών βιοψιών. Όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση Chi-Square Goodness of Fit Test, οι κατανομές συχνοτήτων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών-μετρημένων τιμών δεν διαφέρουν καθόλου. Παράλληλα, είναι γενικά αποδεκτό πως τιμές ICC πάνω από 0,800, CV μικρότερο του 10%, μέσου όρου διαφοράς κοντά στο 0, μικρές τιμές ή/και εύρη τιμών για τις αναλύσεις του LOA, μικρό τυπικό σφάλμα και συντελεστής επαναληψιμότητας είναι δείκτες υψηλής αξιοπιστίας, εγκυρότητας και επαναληψιμότητας των μετρήσεων (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986). Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα του πίνακα 4.20, όλοι οι απαραίτητοι στατιστικοί δείκτες οι οποίοι φανερώνουν το μέγεθος της αξιοπιστίας, εγκυρότητας και επαναληψιμότητας των μετρήσεων, μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών-μετρημένων τιμών, είναι μέσα στα αποδεκτά όρια τα οποία έχουν τεθεί (Atkinson & Nevill, 1998; Bland & Altman, 1986; Bruton, et al., 2000; Watkins & Portney, 2009). Από τα αποτελέσματα αυτά διαπιστώνεται ότι μέσα από την χρήση των προτεινόμενων εξισώσεων πρόβλεψης της εγκάρσιας επιφάνειας και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας, οι ερευνητές αλλά και οι προπονητές μπορούν να έχουν αξιόπιστες εκτιμήσεις της υφιστάμενης κατάστασης

αυτών των παραμέτρων, ενώ μέσα από την επανάληψη των παραπάνω αξιολογήσεων που χρειάζονται για την εκτίμηση της κατανομής των ινών, οι οποίες είναι πιο ανώδυνες, οικονομικές και εύχρηστες σε σχέση με την μυϊκή βιοψία, θα είναι σε θέση να παρακολουθούν την πορεία της προπονητικής διαδικασίας, ώστε να προβαίνουν στους κατάλληλους χειρισμούς ώστε για να πετύχουν την αύξηση ή την διατήρηση ενός αυξημένου ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας ινών τύπου II και να είναι σε θέση οι αθλητές ταχυδυναμικών αθλημάτων να μπορούν να παράγουν υψηλό ΡΕΔ και μυϊκή ισχύ, άρα και κατά επέκταση καλύτερη αθλητική επίδοση και απόδοση, ενώ από την άλλη τις εξισώσεις αυτές μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν και όλοι οι επαγγελματίες υγείας, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο (Aagaard, et al., 2002a; Collins, et al., 2004; Fielding, et al., 2002; Herzog, 2008; Hibbs, et al., 2008; Hikida, et al., 2000; McGill, 2010; Neptune, et al., 2009; O'Brien, et al., 2009; A. Pereira, et al., 2012; Stone, et al., 2002; Stone, O'Bryant, et al., 2003; Trappe, et al., 2001; Trappe, et al., 2000).

5.2.2. Συζήτηση αποτελεσμάτων για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά

Το κύριο εύρημα, όσον αφορά τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μεταξύ των ομάδων, ήταν ότι οι παράμετροι της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, μετρημένοι κατά την ηρεμία με ενδομυϊκά ηλεκτρόδια, ειδικότερα η μέση, τύπου II και η μέγιστη ΤΑ, διαφοροποιούνται ανάλογα το είδος της συστηματικής προπόνησης, διαπίστωση η οποία συμβαδίζει με τις διαφοροποιήσεις όσον αφορά τις συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων για την κατανομή των ινών (%CSA Ια, Ιχ και ΙΙ) και τις παραμέτρους της απόδοσης και της ισχύος που αξιολογήθηκαν σε αυτή την έρευνα. Συγκεκριμένα, τόσο για το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου Ια, Ιχ και ΙΙ, όσο και για τις παραμέτρους της ΤΑ, οι υψηλότερες τιμές διαπιστώθηκαν για την ομάδα ισχύος, ακολουθούμενη από την ομάδα δύναμης, ενώ οι ομάδες των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων είχαν τις χαμηλότερες τιμές, χωρίς στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Στην παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι οι παράμετροι της ΤΑ διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των πειραματικών ομάδων. Φαίνεται ότι τα άτομα που πραγματοποιούν προπόνηση ισχύος έχουν μεγαλύτερες τιμές για την μέση, του τύπου ΙΙ και κυρίως την μέγιστη ΤΑ, ενώ αυτά της προπόνησης δύναμης έπονται. Ωστόσο, η αερόβια άσκηση φαίνεται ότι δεν προκαλεί σημαντικές διαφοροποιήσεις στις παραμέτρους αυτές της ΤΑ σε σχέση με τα άτομα που δεν πραγματοποιούν κανένα είδος προπόνησης. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, επιβεβαιώνουν προηγούμενες αναφορές, οι οποίες διαπίστωσαν ότι οι δρομείς ταχύτητας έχουν υψηλότερες τιμές της ΤΑ κατά την ηρεμία και έναντι εξωτερικής αντίστασης σε σχέση με τους δρομείς αντοχής (Klaver-Król, et al., 2010), ενώ φαίνεται ότι οι δρομείς αντοχής έχουν υψηλότερες τιμές μέσης ΤΑ σε σχέση με τους κολυμβητές (Kilen, et al., 2012). Ωστόσο, τα αποτελέσματα και των 2 ερευνών όμως διαπιστώθηκαν στον δικέφαλο βραχιόνιο μυ, ο οποίος δεν είναι από τους πρωταγωνιστές σε αυτούς τους αθλητές, με αποτέλεσμα να μην αποτελούν σημαντικό στόχο βελτίωσης κατά την προπονητική τους διαδικασία, ενώ παράλληλα αξιολογήθηκε μόνο η μέση ΤΑ και μάλιστα μέσω επιφανειακών ηλεκτροδίων, ενώ παράλληλα σε καμία από αυτές δεν ελέγχθηκαν οι παράγοντες

που συντελούν σε αυτές τις διαφοροποιήσεις, αν και σύμφωνα με εικασίες των συγγραφέων, πιθανότατα να ευθύνονται οι προπονητικές προσαρμογές στη κατανομή των μυϊκών ινών και στο νευρικό σύστημα των ατόμων αυτών. Αντίθετα, στην παρούσα έρευνα αξιολογήθηκαν όλοι οι παράμετροι της ΤΑ, μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων, στον έξω πλατύ μηριαίο μυ, έναν μυ ο οποίος συμμετέχει σημαντικά σε όλες τις αθλητικές κινήσεις των αθλητών που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα, καθώς και στην πλειονότητα των καθημερινών κινήσεων (Ackland, et al., 2009; Alexander, 2007; Bobbert et al., 1987; Cardinale, et al., 2011; Dugan & Bhat, 2005; Hamill & Knutzen, 2006; James & Brubaker, 1973; Lieber & Fridén, 2000; Mann & Hagy, 1980; McComas, 1996; Mero et al., 1992; Ounpuu, 1990; Thordarson, 1997; Tyldesley & Grieve, 2009; K. R. Williams, 1985) και έγινε προσπάθεια εξήγησης των διαφοροποιήσεων μέσα από τις διαφορές στην κατανομή των ινών.

Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι η συστηματική άσκηση-προπόνηση, αλλά και το είδος της προκαλούν συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρικό και μυϊκό σύστημα (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen, et al., 2005; Cormie, et al., 2010; Duchateau, et al., 2006; Gibson, et al., 2001; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2001; A. Holtermann, et al., 2007; Sale, 1988; Semmler, 2002; Tillin & Folland, 2014). Συγκεκριμένα, οι κυριότερες νευρικές προσαρμογές που λαμβάνουν χώρα μέσα από την συστηματική προπόνηση είναι η αύξηση του αριθμού των επιστρατευμένων κινητικών μονάδων, ο συγχρονισμός των κινητικών μονάδων, η αύξηση της έντασης, της συχνότητας και του ρυθμού πυροδότησης των νευρικών ώσεων και ο ενδο- και μέσο-μυϊκός συντονισμός (Aagaard, 2003; Bandy & Hanten, 1993; Duchateau, et al., 2006; Enoka, 2008; Gruber & Gollhofer, 2004; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; Judge, et al., 2003; Kyrolainen, et al., 2005; Sale, 1988; Semmler, 2002). Ωστόσο, το μέγεθος της ποσοστιαίας αύξησης αυτών των παραγόντων φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από το είδος της συστηματικής προπόνησης, με την προπόνηση ισχύος να προκαλεί τις σημαντικότερες βελτιώσεις και να ακολουθείται από την προπόνηση δύναμης, υπερτροφίας και τελευταία την αερόβια (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; Cormie, et al., 2010, 2011a, 2011b; Duchateau, et al., 2006; Andreas Holtermann, et al., 2007; Kyrolainen, et al., 2005; Sale, 1988; Schoenfeld, et al., 2014; Tillin & Folland, 2014). Σημαντικό εύρημα της παρούσας έρευνας είναι ότι άλλη μια ειδική νευρομυϊκή προσαρμογή, η οποία εξαρτάται από το είδος της συστηματικής προπόνησης, είναι και η ΤΑ, με την προπόνηση ισχύος να οδηγεί σε υψηλότερες τιμές, ενώ η αερόβια σε αμελητέες.

Πιθανότατα, για την διαφοροποίηση στις παραμέτρους της ΤΑ που παρατηρήθηκε ανάμεσα στις ομάδες να ευθύνεται η κατανομή των μυϊκών ινών. Ήδη στην προηγούμενη ενότητα, διαπιστώθηκε ο σημαντικός ρόλος της εγκάρσιας επιφάνειας αλλά κυρίως του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ στην ΤΑ.

Στην παρούσα έρευνα, διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων όσον αφορά την κατανομή των μυϊκών ινών. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα 4.5 και από τα σχήματα 4.9 έως 4.11, οι αθλητές ισχύος είχαν το μεγαλύτερο ποσοστό ινών τύπου ΙΙ, ενώ είχαν και αρκετά υψηλό ποσοστό ινών τύπου ΙΙχ, στοιχείο το οποίο με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα, μπορεί να εξηγήσει τις

αυξημένες παραμέτρους της ΤΑ. Αντίθετα, οι μαραθωνοδρόμοι είχαν υψηλό ποσοστό τύπου Ι, όπου όπως είδαμε και προηγουμένως είναι αρνητικός παράγοντας για την ΤΑ, ενώ παράλληλα είχαν και το μικρότερο ποσοστό ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων όσον αφορά το ποσοστό των ινών μεταξύ των ομάδων συμβαδίζει με τις διαφοροποιήσεις των παραμέτρων της ΤΑ που παρατηρήθηκαν μεταξύ των ομάδων, με τις υψηλότερες να παρατηρούνται για την ομάδα ισχύος και τις μικρότερες για την ομάδα των μαραθωνοδρόμων.

Σε ενίσχυση των παραπάνω, έρχονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και του ποσοστού των μυϊκών ινών ανά μια ομάδα ξεχωριστά. Όπως προαναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, το ποσοστό των μυϊκών ινών έχει μικρή επίδραση πάνω στις παραμέτρους της ΤΑ σε υγιή και καλά προπονημένα άτομα, αφού μόνο κάποιες μέτριες συσχετίσεις διαπιστώθηκαν μεταξύ του ποσοστού των ινών τύπου Ι, Ια, Ιχ και ΙΙ, με την μέση και την μέγιστη ΤΑ καθώς και τον λόγο F/S, όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι εξετάζονταν σαν ένα σύνολο. Σε αυτό ίσως να ευθύνεται η ανομοιομορφία του δείγματος, όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχθηκαν ως ένα σύνολο. Και αυτό διότι, όταν οι παραπάνω συσχετίσεις ελέγχθηκαν για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά, διαπιστώθηκαν υψηλές και πολύ υψηλές συσχετίσεις, σύμφωνα με την κατάταξη του Hopkins (2000), στις ομάδες των αρχάριων της ισχύος και της δύναμης, για τις συσχετίσεις μεταξύ του ποσοστού των ινών τύπου Ι (αρνητικές συσχετίσεις), Ιχ και ΙΙ (θετικές συσχετίσεις) και της μέσης-μέγιστης ΤΑ και του λόγου F/S, αλλά καμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση για την ομάδα των μαραθωνοδρόμων. Η μη ύπαρξη σημαντικών συσχετίσεων για την ομάδα των μαραθωνοδρόμων πιθανότατα να προκύπτει λόγω του μικρού ποσοστού των ινών τύπου Ιχ, όπου στην παρούσα έρευνα υπήρχαν μαραθωνοδρόμοι στους οποίους δεν διαπιστώθηκε ούτε μία ίνα τύπου Ιχ, στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνει προηγούμενες μελέτες πάνω στο θέμα αυτό (Gavin, et al., 2007; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979; Leblanc, et al., 2004; Putman, et al., 2004; Vollaard, et al., 2009). Αντίθετα, οι άλλες ομάδες είχαν υψηλότερο ποσοστό ινών τύπου ΙΙ και ειδικά Ιχ ινών, με τους αθλητές ισχύος να έχουν το υψηλότερο ποσοστό. Στα αρχάρια άτομα, όπου δεν υπάρχουν προπονητικές προσαρμογές (Adams, et al., 1993; Antonio & Gonyea, 1993; Cardinale, et al., 2011; Staron, 1997; Staron, et al., 2000; Staron et al., 1984; Wilson, Loenneke, et al., 2012), παρατηρήθηκε υψηλότερο ποσοστό ινών Ιχ και κατά επέκταση ΙΙ, σε σχέση με τα άτομα της ομάδας δύναμης, στοιχείο το οποίο συμβαδίζει με προηγούμενες μελέτες (Aagaard, et al., 2001; Adams, et al., 1993; J. L. Andersen & Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen, et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Haddad & Adams, 2002; Harridge, 1996; Harridge, et al., 1996; Terzis, Stratakis, et al., 2008; Vissing, et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Ανάλυση για τους λόγους για τους οποίους το ποσοστό των ινών τύπου ΙΙ και ειδικά των Ιχ, φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τις παραμέτρους της ΤΑ, έχει γίνει σε προηγούμενη ενότητα, και (για λόγους χώρου) δεν θα ξανά αναλυθεί σε αυτό το σημείο (παρακαλώ ανατρέξτε στην ενότητα 5.2.1). Συμπερασματικά, από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι για υψηλές τιμές ΤΑ είναι αναγκαίο ένα υψηλό ποσοστό ινών τύπου ΙΙ, το οποίο να προκύπτει από το υψηλό ποσοστό των ινών τύπου Ιχ. Δηλαδή, ένα άτομο με αυξημένο ποσοστό ινών τύπου Ιχ θα έχει

υψηλότερες τιμές ΤΑ σε σχέση με ένα άτομο με χαμηλό ή/και καθόλου ποσοστό ινών Πχ.

Είναι πλέον γνωστό ότι το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Πα αυξάνεται (από 8% έως 14%), ενώ εκείνο των ινών τύπου Πχ μειώνεται (από 7% έως 10%) μέσα από την προπόνηση δύναμης και υπερτροφίας, διάρκειας 4 έως και 19 εβδομάδων (Aagaard, et al., 2001; Adams, et al., 1993; J. L. Andersen & Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen, et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Haddad & Adams, 2002; Harridge, 1996; Harridge, et al., 1996; Terzis, Stratakos, et al., 2008; Vissing, et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Αντίθετα μέσα από την συστηματική προπόνηση ισχύος, δηλαδή την προπόνηση που περιλαμβάνει είτε μικρά φορτία της τάξεως του 30%-60% της μέγιστης δύναμης, είτε πλειομετρικές ασκήσεις, είτε συνδυασμό τους, φαίνεται ότι τα ποσοστά των μυϊκών ινών τύπου Πα και Πχ παραμένουν αμετάβλητα, όταν η διάρκεια της προπόνησης κυμαίνεται από 6 έως 15 εβδομάδες (Kyrolainen, et al., 2005; Winchester, et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Τέλος, μέσα από την αερόβια συστηματική προπόνηση διαπιστώνεται και πάλι μείωση του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου Πχ και αύξηση των Πα (Gavin, et al., 2007; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979; Leblanc, et al., 2004; Putman, et al., 2004; Vollaard, et al., 2009). Οι διαφορετικές προσαρμογές στο ποσοστό των ινών τύπου I και II ανάλογα το είδος της συστηματικής προπόνησης που ακολουθεί ο κάθε αθλητής, φαίνεται να μπορούν να εξηγήσουν τις διαφορές που διαπιστώθηκαν στην ΤΑ, και επομένως να στηριχθεί ακόμα περισσότερο το συμπέρασμα ότι το μέγεθος της ΤΑ στις μυϊκές ίνες του έξω πλατύ μηριαίου μυός είναι ένα χαρακτηριστικό, το οποίο «έρχεται» ως αποτέλεσμα των ειδικών προπονητικών προσαρμογών ανάλογα τον τύπο της συστηματικής προπόνησης, στις μυϊκές ίνες τύπου II και ειδικότερα στις Πχ, λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης και πυκνότητας, αλλά και των ισομορφών της β2-υποομάδας των αντλιών Na^+ , K^+ - ΑΤΡάσης, (Clausen, 2003b; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006). Σε ενίσχυση αυτού, μέσα από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία, πάνω στο θέμα της ρύθμισης του αριθμού και της πυκνότητας των αντλιών Na^+ - K^+ - ΑΤΡάσης, διαπιστώθηκε ότι την άσκηση αντιστάσεων και γενικά η αναερόβια άσκηση αυξάνει σε μεγαλύτερο βαθμό τον αριθμό και την πυκνότητα τους (Aughey, et al., 2007b; Dela, et al., 2004; Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1984; Kjeldsen, et al., 1994; Klitgaard & Clausen, 1989; McKenna, et al., 2003; McKenna, et al., 1993; Medbø, et al., 2001), σε σχέση με την αερόβια (Aughey, et al., 2007a; Bangsbo, et al., 2009; Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1994; Madsen, et al., 1994; McCutcheon, et al., 1999; Murphy, et al., 2007; Rankinen, et al., 2000). Τέλος, φαίνεται ότι εκτός από την αύξηση του αριθμού και της πυκνότητας των αντλιών Na^+ - K^+ - ΑΤΡάσης υπάρχει και μια επιλεκτική διαφοροποίηση της αύξησης των ισομορφών της β-υποομάδας, με την αερόβια άσκηση να προκαλεί αύξηση της β1 ισομορφής, ενώ η άσκηση αντιστάσεων της β2 (Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Wyckelsma, et al., 2015). Ωστόσο, αυτοί οι πιθανοί μηχανισμοί δεν έχουν τεκμηριωθεί επαρκώς.

Όπως έχει προαναφερθεί και προηγουμένως, πιο σημαντικός παράγοντας της κατανομής των μυϊκών ινών σε σχέση με το ποσοστό, φαίνεται να είναι το μέγεθος των ινών, δηλ. η εγκάρσια επιφάνεια και η διάμετρος, όσον αφορά την ΤΑ

(ανάλυση και συζήτηση για τους λόγους έχει πραγματοποιηθεί στην ενότητα 5.2.1). Όσον αφορά το μέγεθος των ινών, μεγαλύτερες τιμές διαπιστώθηκαν για τα άτομα της ομάδας δύναμης, ακολουθούμενες από την ομάδα ισχύος. Αντίθετα, δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της ομάδας των αρχαρίων και των μαραθωνοδρόμων. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα. Μέσα από την συστηματική προπόνηση δύναμης και υπερτροφίας αυξάνεται το μέγεθος των μυϊκών ινών τύπου Ια και Ιγ σε σημαντικό βαθμό, ενώ μικρότερη υπερτροφία παρατηρείται μέσα από την προπόνηση ισχύος ((Aagaard, et al., 2001; Adams, et al., 1993; Ahtiainen, et al., 2003; J. L. Andersen & Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen, et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Baar & Esser, 1999; Chilibeck, et al., 1998; Erskine, et al., 2014; Green, Goreham, et al., 1999; Haddad & Adams, 2002; K. Hakkinen, Aien, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; Harridge, 1996; Harridge, et al., 1996; Higbie, et al., 1996; Holm, et al., 2008; Lamas, et al., 2010; D. L. Mayhew, et al., 2009; Putman, et al., 2004; Rahbek, et al., 2014; Seynnes, et al., 2007; Staron, et al., 1991; Terzis, Georgiadis, et al., 2008; Terzis, Spengos, et al., 2008; Terzis, Stratakos, et al., 2008; Vissing, et al., 2008; Volek, et al., 1999; West, et al., 2010; Widrick, et al., 2002; Zaras, et al., 2013). Αντίθετα, μέσα από την συστηματική αερόβια προπόνηση διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια πολύ μικρή αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών τύπου Ι και σχεδόν καμία αλλαγή στο μέγεθος των μυϊκών ινών τύπου Ια και Ιγ (Baumann, et al., 1987; Di Donato, 2012; Donges, et al., 2012; Ferketich, et al., 1998; Gavin, et al., 2007; Gibala & McGee, 2008; K. Hakkinen, et al., 2003; Harber, Crane, et al., 2009; Harber, Konopka, et al., 2009; Joyner, 1991; P. V. Komi & Karlsson, 1978; Kraemer, et al., 1995; Mero, et al., 1991; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Scribbans, et al., 2014; A. Tesch, 2014; Wilson, Loenneke, et al., 2012). Τα αποτελέσματα των διαφοροποιήσεων όσον αφορά το μέγεθος των ινών ανάμεσα στις ομάδες, μπορεί να εξηγήσει εν μέρει τις διαφοροποιήσεις στην ΤΑ που έχουν παρατηρηθεί ανάμεσα τους.

Σε ενίσχυση αυτών, μέσα από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων μεταξύ του μεγέθους των μυϊκών ινών και των παραμέτρων της ΤΑ, διαπιστώνεται ότι η επίδραση του μεγέθους των ινών είναι ένας σταθερός παράγοντας επιρροής της ΤΑ, ανεξαρτήτου εάν κάποια ομάδα είχε μεγαλύτερες ίνες σε σχέση με τις άλλες. Σε αυτή την διαπίστωση συνηγορούν και τα αποτελέσματα των υψηλών και θετικών συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και των παραγόντων υπερτροφίας των μυϊκών ινών, και κυρίως των ινών τύπου Ι και Ιγ, για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά, δεδομένα τα οποία επιβεβαιώνουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Με απλά λόγια, το μέγεθος των μυϊκών ινών καθορίζει πάντα την ΤΑ, ανεξαρτήτου του πόσο μεγάλες είναι αυτές οι ίνες, καθώς οι παράμετροι της ΤΑ είναι πάντα σε αναλογία με το μέγεθος των ινών (μικρές ίνες=μικρές Τ.Α, μεσαίες ίνες=μεσαίες ΤΑ και μεγάλες ίνες=μεγάλες ΤΑ). Αυτή η διαπίστωση οδηγεί ξεκάθαρα στο συμπέρασμα ότι για αυξημένες ΤΑ είναι αναγκαίο να υπάρχουν μεγάλες μυϊκές ίνες και κυρίως τύπου Ιγ και Ι. Συζήτηση σχετικά με το θέμα αυτό έχει γίνει αναλυτικά στην ενότητα 5.2.1. Ωστόσο, συμπληρωματικά με την συζήτηση που έχει πραγματοποιηθεί πάνω στο θέμα αυτό

στην ενότητα 5.2.1, αξίζει να αναφερθεί ότι έχει βρεθεί ότι η αναερόβια άσκηση προκαλεί μια αύξηση που κυμαίνεται από 25 έως 40% (Klitgaard & Clausen, 1989; McKenna, et al., 1993), ενώ η αερόβια μεταξύ 10-20% (Klitgaard & Clausen, 1989; Madsen, et al., 1994) σε σχέση με τα αρχικά επίπεδα, στον αριθμό και στη πυκνότητα των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$. Σημαντικό στοιχείο σε αυτό, όπως αναφέρουν και οι συγγραφείς των παραπάνω ερευνών, είναι ότι η ρύθμιση του αριθμού και της πυκνότητας των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$ πιθανόν να είναι ανάλογη της αύξησης του μεγέθους των ινών τύπου II, η οποία διαφέρει μεταξύ των ειδών της συστηματικής προπόνησης, αν και αυτό δεν έχει αποδειχθεί ακόμα. Ωστόσο, αυτοί οι πιθανοί μηχανισμοί δεν έχουν τεκμηριωθεί επαρκώς.

Όπως έχει προαναφερθεί στην ενότητα 5.2.1, ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει και εξηγεί καλύτερα τις ΤΑ είναι το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών και ειδικότερα των ινών τύπου II και IIx. Και σε αυτή την περίπτωση, οι υψηλότερες τιμές για το %CSA των ινών τύπου II και IIx διαπιστώθηκαν για την ομάδα ισχύος, ενώ οι μικρότερες για τις ομάδες των αρχαρίων και των μαραθωνοδρόμων, στοιχεία τα οποία συμβαδίζουν απόλυτα και με τις διαφορές μεταξύ των ομάδων αυτών όσον αφορά τις παραμέτρους της ΤΑ. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι λόγω των προαναφερόμενων μεταβολών στο ποσοστό και το μέγεθος των ινών τύπου II και ειδικότερα των IIx, ανάλογα με το είδος της συστηματικής προπόνησης που ακολουθείται προκαλούνται σημαντικές αλλαγές στο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου II και IIx, με την συστηματική προπόνηση δύναμης να προκαλεί σημαντική αύξηση του %CSA των ινών τύπου IIα και μείωση του %CSA των IIx (Terzis, Stratakos, et al., 2008; Zaras, et al., 2013), ενώ η προπόνηση ισχύος να έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση των ποσοστών των μυϊκών ινών τύπου IIα και IIx, με την παράλληλη αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας και του %CSA τους (Zaras, et al., 2013). Τέλος, η αερόβια προπόνηση, μικρής προς μεσαίας έντασης και μεγάλης διάρκειας, προκαλεί μια μικρή αύξηση του %CSA των ινών τύπου I (Gavin, et al., 2007; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979; Leblanc, et al., 2004; Putman, et al., 2004; Vollaard, et al., 2009). Επομένως, οι διαφορές μεταξύ των ομάδων όσον αφορά την ΤΑ, μπορούν να εξηγηθούν με ακρίβεια από τις διαφορές τους όσον αφορά το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II και IIx, όπου και στις δύο περιπτώσεις ίσχυε το εξής: Ομάδα ισχύος > Ομάδα δύναμης > Ομάδα μαραθωνοδρόμων = Ομάδα αρχαρίων. Λόγος για τους πιθανούς μηχανισμούς που καθιστούν το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II και IIx έχει γίνει στην ενότητα 5.2.1.

Σε ενίσχυση όλων των μέχρι τώρα συμπερασμάτων για τον σημαντικό ρόλο του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου II και IIx πάνω στην ΤΑ είναι ότι ακόμα και κατά την εξέταση των συσχετίσεων μεταξύ του %CSA και των παραμέτρων της ΤΑ, για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά, διαπιστώθηκε ότι το μέγεθος και η σπουδαιότητα των συσχετίσεων ήταν εφάμιλλες με αυτές που παρατηρήθηκαν για το σύνολο των δοκιμαζόμενων. Και πάλι οι υψηλότερες θετικές συσχετίσεις διαπιστώθηκαν για το %CSA των ινών τύπου II και IIx, με την μέση, τύπου II και μέγιστη ΤΑ, καθώς και τον λόγο F/S, ενώ το %CSA των ινών τύπου I είχε πάντα αρνητικές αλλά υψηλές συσχετίσεις (ανάλυση και συζήτηση για τους λόγους έχει πραγματοποιηθεί στην ενότητα 5.2.1). Άρα διαπιστώνεται ότι

ανεξαρτήτου του είδους της συστηματικής προπόνησης, όσο μεγαλύτερο είναι το %CSA των ινών τύπου II και ειδικότερα των IIx τόσο μεγαλύτερες είναι και οι παράμετροι της TA των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός. Ωστόσο, το είδος της προπόνησης θα προκαλέσει σημαντικές τροποποιήσεις στο %CSA των ινών τύπου II και ειδικότερα των IIx, αλλαγές οι οποίες πιθανόν να οδηγήσουν σε εφάμιλλες μεταβολές στις παραμέτρους της TA, αν και αυτό δεν έχει τεκμηριωθεί ακόμα. Επομένως, επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν για το σύνολο των δοκιμαζόμενων, κατά τα οποία, εάν στόχος είναι οι υψηλές TA βασική προϋπόθεση είναι το αυξημένο %CSA των ινών τύπου II και IIx. Παράλληλα, τα αποτελέσματα για κάθε μία ομάδα ξεχωριστά, καθώς και οι συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων όσον αφορά το %CSA των ινών τύπου II και IIx και των παραμέτρων της TA επιβεβαιώνουν το συμπέρασμα ότι η TA είναι ένα χαρακτηριστικό, το οποίο εξαρτάται από τις ειδικές προπονητικές προσαρμογές του κάθε είδους προπόνησης πάνω στο %CSA των ινών τύπου II και IIx, με τα αθλήματα που οδηγούν σε αυξημένο %CSA των ινών τύπου II και IIx να προκαλούν και αυξημένες τιμές των παραμέτρων της TA, ενώ τα αθλήματα που προκαλούν αυξημένο %CSA των ινών τύπου I και μειωμένο %CSA των ινών τύπου II και IIx, να προκαλούν και μειωμένες τιμές των παραμέτρων της TA.

Όπως ήταν αναμενόμενο, διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων όσον αφορά τις παραμέτρους των αξιολογήσεων της μυϊκής δύναμης και ισχύος. Εκτός, από την μέγιστη ισομετρική δύναμη όπου η ομάδα δύναμης είχε τις υψηλότερες επιδόσεις, σε όλες τις παραμέτρους του PΕΔ και της μυϊκής ισχύος, η ομάδα ισχύος είχε τις υψηλότερες τιμές. Αντίθετα, οι ομάδες των μαραθωνοδρόμων και των αρχάριων είχαν τις μικρότερες τιμές οι οποίες δεν διέφεραν και σημαντικά μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα τις παρούσας έρευνας συμβαδίζουν με προηγούμενες έρευνες οι οποίες έχουν αναφερθεί ότι τα άτομα που πραγματοποιούν συστηματική προπόνηση δύναμης αυξάνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την μέγιστη δύναμή τους, ενώ αντίθετα, η προπόνηση ισχύος δεν αυξάνει την μέγιστη δύναμη σε πολύ υψηλό βαθμό, αλλά βελτιώνει σε μεγαλύτερο βαθμό ο PΕΔ, ιδιαίτερα στα κρίσιμα χρονικά διαστήματα μέχρι τα 250ms, και την μυϊκή ισχύ σε σχέση με την προπόνηση δύναμης, κάνοντας πιο ταχυδυναμικούς τους ασκούμενους-αθλητές (Newton & Kraemer, 1994), ενώ η αερόβια άσκηση δεν διαφοροποιεί σημαντικά τον PΕΔ και την μυϊκή ισχύ (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; Cormie, et al., 2010, 2011a, 2011b; Duchateau, et al., 2006; Andreas Holtermann, et al., 2007; Kyrolainen, et al., 2005; Sale, 1988; Schoenfeld, et al., 2014; Tillin & Folland, 2014).

Ο λόγος των διαφοροποιήσεων αυτών έχει να κάνει αρχικά με τις συγκεκριμένες προσαρμογές στο νευρομυϊκό σύστημα από το κάθε είδος της συστηματικής άσκησης, οι οποίες αντικατοπτρίζονται χαρακτηριστικά και στην διαφοροποίηση του PΕΔ, της μέγιστης δύναμης και της παραγωγής μυϊκής ισχύος (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a, 2002b; L. L. Andersen, et al., 2005; Cormie, et al., 2010; Dolezal & Potteiger, 1998; Duchateau, et al., 2006; Gibson, et al., 2001; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1988; Hawley, 2009; A. Holtermann, et al., 2007; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Sale, 1988; Semmler, 2002; Tillin & Folland, 2014). Το ποιος είναι αυτές οι συγκεκριμένες νευρικές προσαρμογές και

το πως διαφοροποιούνται ανάλογα το είδος της συστηματικής προπόνησης, έχει αναλυθεί σε προηγούμενη παράγραφο.

Ωστόσο, η παρούσα έρευνα φανέρωσε ότι άλλη μία ειδική νευρομυϊκή προσαρμογή είναι και το μέγεθος της ταχύτητας αγωγής των δυναμικών ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες, αφού οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των ομάδων όσον αφορά την ΤΑ συμβαδίζουν με τις διαφοροποιήσεις τους στις παραμέτρους του ΡΕΔ και της μυϊκής ισχύος. Σε ενίσχυση αυτού, έρχονται τα αποτελέσματα των συσχετίσεων, για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά, μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και αυτών των εξεταζόμενων επιδόσεων, όπου στις ομάδες των αρχάριων και των μαραθωνοδρόμων, διαπιστώθηκε σημαντική μείωση της ισχύος τους (Hopkins, 2000), και πολλές φορές εξαφάνιση των συσχετίσεων. Αντίθετα, οι συσχετίσεις μεταξύ των παραπάνω όσον αφορά την ομάδα ισχύος, διαπιστώθηκε να είναι σημαντικότερες και υψηλότερες (Hopkins, 2000), σε σχέση με όλες τις ομάδες, καθώς και με τις αντίστοιχες συσχετίσεις όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχθηκαν ως ένα σύνολο.

Και πάλι, όπως και στην πρώτη έρευνα, όπως και στο σύνολο των δοκιμαζόμενων της δεύτερης έρευνας, οι συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και των παραμέτρων της ΤΑ, ήταν μέτριες και πάντα μικρότερες σε σχέση με τον ΡΕΔ. Τα αποτελέσματα αυτά αναδεικνύουν ακόμα περισσότερο τον κρίσιμο ρόλο της ΤΑ στον ΡΕΔ, και κυρίως του πρωίμου ΡΕΔ, και είναι σε εναρμονία με προηγούμενες αναφορές για τις υψηλότερες συσχετίσεις μεταξύ της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των α-κινητικών νευρών και του ΡΕΔ σε σχέση με την μέγιστη δύναμη (Aagaard, 2003; Aagaard, et al., 2002a; Cormie, et al., 2011a; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; K. Hakkinen, et al., 1988; Sale, 1988).

Ωστόσο, όπως έχει προαναφερθεί και τεκμηριωθεί παραπάνω, η ΤΑ είναι ένα χαρακτηριστικό, το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος και κυρίως το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικά των ΙΙχ. Παράλληλα, παραπάνω αποδείχτηκε ότι το μέγεθος και κυρίως το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικά των ΙΙχ, επηρεάζουν σημαντικά τις συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και αυτών του ΡΕΔ και της μυϊκής ισχύος. Είναι γενικά αποδεκτό, ότι ο ΡΕΔ και η μυϊκή ισχύς επηρεάζονται σημαντικά και από τον τύπο αλλά και το μέγεθος των μυϊκών ινών, με τα άτομα που έχουν περισσότερες και μεγαλύτερες μυϊκές ίνες τύπου ΙΙ να πετυχαίνουν καλύτερες επιδόσεις σε δραστηριότητες που κρίνονται από την ικανότητα του κάθε ατόμου για πολύ γρήγορη εφαρμογή της δύναμης (Aagaard & Andersen, 1998; L. L. Andersen, et al., 2010). Ωστόσο, όπως έχει σχολιαστεί και παραπάνω, ανάλογα το είδος της προπόνησης που ακολουθείται διαφοροποιείται το ποσοστό, το μέγεθος και κυρίως το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ. Οι προηγούμενες αναφορές των μέχρι τώρα ερευνών της βιβλιογραφίας, συμβαδίζουν με τα αποτελέσματα της κατανομής των μυϊκών ινών για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, η ομάδα ισχύος είχε το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ, στοιχείο το οποίο συμβάδιζε με τις μεγαλύτερες τιμές των παραμέτρων της ΤΑ, του ΡΕΔ και της μυϊκής ισχύος που παρατηρήθηκαν σε σχέση με τις άλλες ομάδες, καθώς και με τις υψηλότερες συσχετίσεις που

διαπιστώθηκαν. Η ομάδα δύναμης, είχε τις δεύτερες σε κατάταξη τιμές της ΤΑ και του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ, ενώ οι άλλες δύο ομάδες είχαν τις μικρότερες τιμές όλων, καθώς και τις πιο μειωμένες συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και των παραμέτρων της επίδοσης.

Με βάση όλα τα παραπάνω αποτελέσματα ενισχύεται ακόμα περισσότερο το συμπέρασμα ότι το μέγεθος της ΤΑ είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από την κατανομή των μυϊκών ινών (λόγοι για τους οποίους η κατανομή των μυϊκών ινών καθορίζει την ΤΑ έχουν αναφερθεί αναλυτικά σε προηγούμενες παραγράφους και ενότητες), με την τελευταία να επηρεάζεται σημαντικά από το είδος της συστηματικής άσκησης που πραγματοποιείται. Επομένως, τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μεταξύ των ομάδων καθώς και των συσχετίσεων που πραγματοποιήθηκαν για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά, επιβεβαιώνουν το αποτέλεσμα της παρούσας έρευνας, όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχθηκαν ως ένα σύνολο, ότι για υψηλό ΡΕΔ και υψηλή μυϊκή ισχύ, είναι αναγκαία η αύξηση του ποσοστού καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ, αύξηση η οποία θα προκαλέσει αύξηση των παραμέτρων της ΤΑ με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται και να συσπώνονται σε μικρότερο χρόνο αυτές οι ίνες, παράγοντας υψηλότερη δύναμη στα κρίσιμα χρονικά διαστήματα που καθορίζουν την απόδοση σε ταχυδυναμικές δραστηριότητες. Επομένως, όταν ο υψηλός ρυθμός εφαρμογής της δύναμης και η υψηλή μυϊκή ισχύ είναι αναγκαία, φαίνεται ότι για την πραγματοποίηση των παραπάνω προπονητικών προσαρμογών, το καλύτερο είδος είναι η προπόνηση ισχύος.

5.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων τρίτης έρευνας

Το κύριο εύρημα της τρίτης έρευνας ήταν ότι 6 εβδομάδες προπόνησης ισχύος μεταβάλουν σημαντικά τις παραμέτρους της ΤΑ των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, το ύψος - μέγιστη ισχύ κατά το άλμα με αιώρηση, την εγκάρσια επιφάνεια των ινών τύπου ΙΙ, ενώ προκαλείται σημαντικότερη βελτίωση στην μέγιστη ισομετρική δύναμη - ΡΕΔ στην ισομετρική άσκηση πιέσεων ποδιών. Αντίθετα, όταν το ίδιο πρωτόκολλο προπόνησης ισχύος ακολουθείται από μια ήπιας έντασης αερόβια άσκηση, δεν διαπιστώνονται οι παραπάνω μεταβολές. Βασικό εύρημα της παρούσας έρευνας ήταν οι σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της ποσοστιαίας μεταβολής του μεγέθους των ινών, της ποσοστιαίας μεταβολής των παραμέτρων της ΤΑ και αυτών της μυϊκής ισχύος, οι οποίες μάλιστα διαπιστώθηκαν να υπάρχουν ανεξαρτήτως των ομάδων. Το στοιχείο αυτό παρέχει περαιτέρω υποστήριξη στα αποτελέσματα της πρώτης και δεύτερης έρευνας σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων ΤΑ, και κυριότερα την μέση, του τύπου ΙΙ και την μέγιστη ΤΑ, και της παραγωγής μυϊκής ισχύος, ενώ επιβεβαιώνει την άμεση σχέση που διαπιστώθηκε στην δεύτερη έρευνα μεταξύ του μεγέθους των ινών και την ΤΑ. Ωστόσο, φαίνεται και ότι η ποσοστιαία μεταβολή, τόσο των παραμέτρων της ΤΑ, όσο και αυτών της μυϊκής ισχύος και της κατανομής, έχει να κάνει με το αρχικό επίπεδο, με τα άτομα που είχαν υψηλότερες αρχικές τιμές, να εμφανίζουν τις μικρότερες ποσοστιαίες μεταβολές μετά την εφαρμογή των 2 πρωτοκόλλων άσκησης που εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας φανερώνουν ότι η μυϊκή ισχύς, μπορεί να βελτιωθεί αρκετά μέσα από το πρόγραμμα προπόνησης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα. Ωστόσο, όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, όταν στην προπονητική μονάδα υπάρχει συνδυασμός της προπόνησης ισχύος και της αερόβιας άσκησης, ήπιας έντασης, η τελευταία φαίνεται ότι αναστρέφει ή μετριάξει τις προσαρμογές και τις βελτιώσεις της προπόνησης ισχύος στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, συμβαδίζουν με εκείνα μιας σχετικά πρόσφατης μετα-ανάλυσης, πάνω στο θέμα της επίδρασης του συνδυασμού της προπόνησης δύναμης ή υπερτροφίας με την αερόβια άσκηση, στην μεταβολή των διάφορων παραμέτρων της δύναμης και της ισχύος (Wilson, Marin, et al., 2012), ενώ ενισχύουν παλαιότερες αναφορές ότι ο συνδυασμός προπόνησης δύναμης και αερόβιας άσκησης προκαλεί μειωμένες αυξήσεις στην μέγιστη δύναμη και στο ΡΕΔ, σε σχέση με όταν πραγματοποιούνταν μόνο άσκηση αντιστάσεων (Dolezal & Potteiger, 1998; Donges, et al., 2012; Fyfe, et al., 2014; K. Hakkinen, et al., 2003; Hawley, 2009; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Verney, et al., 2008). Παράλληλα, ο συνδυασμός της προπόνησης ισχύος και της ήπιας αερόβιας άσκησης, όπως φάνηκε και στην παρούσα έρευνα, δεν προκαλεί αύξηση του μεγέθους της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών, άρα υπερτροφία, σε αντίθεση με το εάν πραγματοποιείται μόνο προπόνηση ισχύος. Αυτό το αποτέλεσμα, συμβαδίζει με προηγούμενες αναφορές, σχετικά με την επίδραση του συνδυασμού προπόνησης υπερτροφίας ή δύναμης με αερόβια άσκηση, που όπως φαίνεται προκαλεί την μετρίαση της μυϊκής υπερτροφίας, σε σχέση με το εάν θα πραγματοποιούνταν μόνο προπόνηση δύναμης ή υπερτροφίας (Dolezal & Potteiger, 1998; Donges, et al., 2012; Fyfe, et al., 2014; K. Hakkinen, et al., 2003; Hawley, 2009; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Verney, et al., 2008).

Όπως διαπιστώθηκε και από τα αποτελέσματα της δεύτερης έρευνας, αλλά και από αρκετές της μέχρι τώρα βιβλιογραφίας πάνω στο θέμα αυτό, το μέγεθος των μυϊκών ινών, και κυρίως των Πα και Πχ, επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ. Στην παρούσα έρευνα, σημαντική αύξηση του μεγέθους των ινών διαπιστώθηκε μόνο στην ομάδα Π.Ι. και όχι στην ομάδα του συνδυασμού της προπόνησης ισχύος και της αερόβιας. Πιθανότατα, για την μειωμένη ή μηδενική μεταβολή της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ που διαπιστώθηκε στην ομάδα Π.Ι.Α., να ευθύνεται και η μη μεταβολή του μεγέθους των ινών που παρατηρήθηκε σε αυτή την ομάδα, εκτός από τις ήδη τεκμηριωμένες μηδενικές ή μειωμένες νευρικές προσαρμογές που αναμένονται να υπάρχουν στα αρχάρια άτομα μέσω του συνδυασμού της προπόνησης αντιστάσεων και της αερόβιας (Cadore, et al., 2014; Cormie, et al., 2010; Duchateau, et al., 2006; K. Hakkinen, 1989; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, Komi, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1992; A. Holtermann, et al., 2007; Judge, et al., 2003; Sale, 1988; Tillin & Folland, 2014).

Γενικά, οι προπονητικές προσαρμογές χαρακτηρίζονται από τις αρχές της «Συγκεκριμενοποίησης» και της «Αλληλεπίδρασης των προπονητικών ερεθισμάτων» (Bompa & Haff, 2009; Cardinale, et al., 2011; Dick, 2002; Hoffman, 2012). Με βάση αυτές τις δύο προπονητικές αρχές, κάθε είδος συστηματικής

προπόνησης θα προκαλέσει μόνο συγκεκριμένες προσαρμογές, οι οποίες όμως θα μετριάζονται όταν συνδυάζονται τα διάφορα είδη (Berent, et al., 2011; Coffey, et al., 2009; Dolezal & Potteiger, 1998; Donges, et al., 2012; Ferketich, et al., 1998; Gehlert, et al., 2012; Hawley, 2009; Knuttgen, 2007; Kraemer, et al., 1995; Mandic, et al., 2012; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Schumann, Walker, et al., 2014; Tipton, et al., 1996; Wilkinson, et al., 2008). Ανάλυση των διάφορων προσαρμογών που προκαλούνται είτε μέσω της προπόνησης δύναμης, είτε της ισχύος, είτε της αερόβιας, είτε του συνδυασμού αυτών έχει γίνει αναλυτικά στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και στην συζήτηση της δεύτερης έρευνας.

Για τον λόγο που ο συνδυασμός της προπόνησης ισχύος και της αερόβιας άσκησης δεν κατάφερε να αυξήσει το μέγεθος των ινών, σε αυτό το σημείο, διαφωτιστική θα ήταν μια μικρή αναφορά πάνω στα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών, που εξέταζαν την προπονητική επίδραση του κάθε είδους άσκησης (αερόβια-άσκηση αντιστάσεων κυρίως για υπερτροφία) καθώς και την επίδραση του συνδυασμού τους στην κυτταρική σηματοδότηση και στην μυϊκή πρωτεϊνοσύνθεση. Μέσα από αυτές τις έρευνες διαπιστώνεται ότι το κάθε είδος άσκησης ενεργοποιεί διαφορετικούς κυτταρικούς μηχανισμούς, που ελέγχουν τα διάφορα είδη της πρωτεϊνοσύνθεσης, με την άσκηση αντιστάσεων να αυξάνει την ενεργοποίηση-λειτουργία κυρίως του κυτταρικού μηχανισμού («κυτταρικού καταρράκτη») της AKT-mTOR, ο οποίος ελέγχει την μυοϊνδική πρωτεϊνοσύνθεση, η οποία προκαλεί την σημαντική αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών, και κατά επέκταση την υπερτροφία των μυών ενώ η αερόβια άσκηση ενεργοποιεί κυρίως τους κυτταρικούς μηχανισμούς που ελέγχουν την μιτοχονδριακή πρωτεϊνοσύνθεση, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται οι αερόβιες προσαρμογές.

Ο συνδυασμός τους όμως επιφέρει την μετριοποίηση των προσαρμογών της καθεμιάς, σε σχέση με τις προσαρμογές που θα είχαν εάν δεν συνδυάζονταν. Και αυτό διότι, όπως είδαμε και παραπάνω, το κάθε είδος προπονητικού ερεθίσματος, όπως η άσκηση αντιστάσεων και η αερόβια, οι οποίες είναι διαμετρικά αντίθετες η μια από την άλλη, ρυθμίζουν διαφορετικά τα επιμέρους τμήματα της μυϊκής πρωτεϊνοσύνθεσης, τα οποία είναι πολλές φορές αντίθετα (Gehlert, et al., 2012; Wilkinson, et al., 2008). Ωστόσο, αυτοί οι αντίθετοι μοριακοί μηχανισμοί έρχονται σε σύγκρουση μέσα στο κάθε κύτταρο, λόγω του ότι διαθέτουν μηχανισμούς καταστολής, με τους οποίους η αύξηση της ενεργοποίησης του ενός προκαλεί μείωση της ενεργοποίησης του άλλου (Gehlert, et al., 2012; Hawley, 2009).

Ειδικότερα μέσα στον μοριακό καταρράκτη που ενεργοποιείται, κυρίως, μέσω της αερόβιας άσκησης, υπάρχει μια πρωτεΐνη-ένζυμο, η AMPK (activated mitogen protein kinase), η οποία ενεργοποιείται όταν υπάρχει μεγάλη ενεργειακή απαίτηση, όπως συμβαίνει στην αερόβια άσκηση, και ειδικότερα όταν ο λόγος μεταξύ ATP/ADP μειωθεί δραματικά, ως μια προσπάθεια του οργανισμού να μετριάσει την αυξημένη ενεργειακή απώλεια (Atherton et al., 2005; Chen et al., 2003; Coffey et al., 2006; Egan et al., 2010; Hawley, 2009; Lee-Young et al., 2009; J. N. Nielsen et al., 2003; Wojtaszewski et al., 2003; Yu et al., 2003). Η ενεργοποίηση αυτής της πρωτεΐνης οδηγεί στην ενεργοποίηση μιας πρωτεΐνης-ενζύμου στόχου της, το σύμπλεγμα TSC 1/2, ενεργοποίηση η οποία επιδρά αρνητικά πάνω στον μοριακό μηχανισμό της AKT-mTOR, αναστέλλοντας έτσι την ενεργοποίησή του (Hawley,

2009), με αποτέλεσμα την μετρίαση της ασκησιογενούς αύξησης της μυοϊνδικής πρωτεϊνοσύνθεσης και ως εκ τούτου της μυϊκής υπερτροφίας (Atherton et al., 2009; Carraro et al., 1990; Coffey, et al., 2006; Di Donato, 2012; Donges, et al., 2012; Fyfe, et al., 2014; Gehler, et al., 2012; Harber, Crane, et al., 2009; Harber, Konopka, et al., 2009; Holm et al., 2010; Kumar et al., 2009; Nader, 2006; Phillips et al., 2009; Pikosky et al., 2006; Tipton, et al., 1996; Wilkinson, et al., 2008). Αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι ότι ο συνδυασμός προπόνησης υπερτροφίας και αερόβιας προκαλεί την μετρίαση της μυϊκής υπερτροφίας, σε σχέση με το εάν θα πραγματοποιούνταν μόνο προπόνηση δύναμης ή υπερτροφίας (Dolezal & Potteiger, 1998; Donges, et al., 2012; Fyfe, et al., 2014; K. Hakkinen, et al., 2003; Hawley, 2009; Nader, 2006; Putman, et al., 2004; Reed, et al., 2013; Verney, et al., 2008), αποτέλεσμα το οποίο διαπιστώθηκε να υπάρχει και μέσα από τον συνδυασμό της προπόνησης ισχύος και της ήπιας αερόβιας άσκησης, στην παρούσα έρευνα.

Στην παρούσα έρευνα, ως αερόβια άσκηση χρησιμοποιήθηκε το τρέξιμο ήπιας έντασης για 30 λεπτά. Αυτή η δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη διάρκειας μεταφοράς του σωματικού βάρους, με αποτέλεσμα να έχει μεγάλη ενεργειακή δαπάνη σε σχέση με άλλα είδη αερόβιας άσκησης, όπως είναι το ποδήλατο (Achten et al., 2003; Bonomi et al., 2009; Millet et al., 2009; Scott et al., 2006), διαδικασία η οποία αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τον λόγο ATP/ADP (Bartlett et al., 2012; Benziane et al., 2008; Chen, et al., 2003; Egan, et al., 2010; Lee-Young, et al., 2009; Scribbans, et al., 2014; Yu, et al., 2003), με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ενεργοποίηση της AMPK (Hardie, 2005, 2008; Hardie et al., 2006; Lage et al., 2008), και ως εκ τούτου την πιθανότερη μεγαλύτερη μετρίαση ή και εκμηδένιση της μυϊκής υπερτροφίας, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

Από πρακτικής άποψης, τα μέχρι τώρα δεδομένα της παρούσας έρευνας, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι προσαρμογές στην μυϊκή ισχύ και στην υπερτροφία, που προκαλούνται μέσα από την προπόνηση ισχύος 6 εβδομάδων, εκμηδενίζονται εάν πραγματοποιείται και αερόβια άσκηση ήπιας έντασης.

Είναι πλέον γνωστό ότι το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου Ια αυξάνεται (από 8% έως 14%), ενώ εκείνο των ινών τύπου ΙΙχ μειώνεται (από 7% έως 10%) μέσα από την προπόνηση δύναμης και υπερτροφίας, διάρκειας 4 έως και 19 εβδομάδων (Aagaard, et al., 2001; Adams, et al., 1993; J. L. Andersen & Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen, et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Haddad & Adams, 2002; Harridge, 1996; Harridge, et al., 1996; Terzis, Stratakis, et al., 2008; Vissing, et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Αντίθετα μέσα από την συστηματική προπόνηση ισχύος, δηλαδή την προπόνηση που περιλαμβάνει είτε μικρά φορτία της τάξεως του 30%-60% της μέγιστης δύναμης, είτε πλειομετρικές ασκήσεις, είτε συνδυασμό τους, φαίνεται ότι τα ποσοστά των μυϊκών ινών τύπου Ια και ΙΙχ παραμένουν αμετάβλητα, όταν η διάρκεια της προπόνησης κυμαίνεται από 6 έως 15 εβδομάδες (Kyrolainen, et al., 2005; Vissing, et al., 2008; Winchester, et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Αντίθετα, μέσα από την αερόβια συστηματική προπόνηση διαπιστώνεται και πάλι μείωση του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου ΙΙχ και αύξηση των Ια (Gavin, et al., 2007; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979;

Leblanc, et al., 2004; Putman, et al., 2004; Vollaard, et al., 2009). Φαίνεται όμως ότι οι συνδυασμός προπόνησης αντιστάσεων για δύναμη-υπερτροφία και αερόβιας άσκησης να προκαλεί σημαντικές μεταβολές στην κατανομή των μυϊκών ινών των Πχ μειώνοντας τις (K. Hakkinen, et al., 2003; Schumann, Kõuasmaa, et al., 2014). Αντίθετα, ο συνδυασμός προπόνησης δύναμης και ισχύος, φαίνεται να μην προκαλεί μείωση του ποσοστού των ινών τύπου Πχ (Stasinaki, et al., In press). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, παρέχουν περαιτέρω υποστήριξη σε προηγούμενες μελέτες, οι οποίες διαπίστωσαν ότι η προπόνηση ισχύος δεν μειώνει τις ίνες τύπου Πχ (Kyrolainen, et al., 2005; Vissing, et al., 2008; Winchester, et al., 2008; Zaras, et al., 2013). Πιθανότατα, ο λόγος για την διαφοροποίηση αυτή να είναι καθαρά τα ερεθίσματα που δέχεται ο σκελετικός μυς κατά την προπόνηση ισχύος, η οποία λόγω της υψηλής απαίτησης που έχει ως προς την πολύ γρήγορη ανάπτυξη της δύναμης, ενεργοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό τις ίνες τύπου Πχ (Bouchard et al., 1981; Connes, et al., 2010; Costantin, 2011; Kandel, et al., 2000; Keynes et al., 2001; McArdle et al., 2006; Neptune, et al., 2009; Purves, Brannon, et al., 2008; A. M. Taylor et al., 2002; Trappe, et al., 2003; Vander et al., 2003), διότι έχουν πολύ μικρότερο χρόνο ενεργοποίησης (Connolly, et al., 1999; Enoka, 2008; Enoka & Fuglevand, 2001; Felici, 2006; Gibson, et al., 2001; Jacobs et al., 1996; Kandel, et al., 2000; Moritani & Muro, 1987; Purves, et al., 2008; Purves, et al., 2012), και σύσπασης (Bottinelli, et al., 1996; Larsson & Moss, 1993), ενώ μπορούν να παράγουν την υψηλότερη δύναμη και ισχύ σε σχέση με τους άλλους τύπους των μυϊκών ινών (Bottinelli et al., 1996). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι ο οργανισμός τις «χρειάζεται» για να μπορέσει να ανταποκριθεί σε αυτό το απαιτητικό ερέθισμα (Bottinelli et al., 1996), διαδικασία η οποία όπως φαίνεται οδηγεί στην διατήρησή τους.

Ωστόσο, μέσα από την παρούσα έρευνα διαπιστώνεται για πρώτη φορά ότι εάν συνδυαστεί η προπόνηση ισχύος με ήπιας έντασης αερόβια άσκηση το ποσοστό των ινών τύπου Πχ θα παραμένει αμετάβλητο, πιθανότατα λόγω του ότι το ερέθισμα της ήπιας αερόβιας προπόνησης δεν είναι ικανό να μετριάσει εκείνο της προπόνησης ισχύος, με αποτέλεσμα να μην ενεργοποιούνται οι νευρομυϊκοί και κυτταρικοί μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν στην μετατροπή των Πχ σε Πα (Gehlert, et al., 2012). Το αποτέλεσμα αυτό ίσως να έχει σημαντικό πρακτικό αντίκτυπο, κατά την προετοιμασία των αθλητών ταχυδύναμης αλλά και αντοχής της ταχυδύναμης, όπου όταν σκοπός της προπόνησης ή/και του αθλήματος-αγωνίσματος είναι η ικανότητα για υψηλή παραγωγή μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ, η ενσωμάτωση στοιχείων προπόνησης ισχύος, όπως αυτά που συγκαταλέχθηκαν στην παρούσα έρευνα, θα είναι σε θέση να προκαλέσουν την διατήρηση του ποσοστού των ινών τύπου Πχ, ανεξαρτήτως των υπόλοιπων προπονητικών ερεθισμάτων.

Στην παρούσα έρευνα, αν και διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στους παράγοντες της αλτικής ικανότητας-ισχύος, μεταξύ των ομάδων, πριν και μετά την προπόνηση, οι οποίες μπορούν να δικαιολογηθούν και από τις διαφορές στην μεταβολή της εγκάρσιας επιφάνειας των ινών, αφού οι μεταβολές των δύο σχετίζονταν υψηλά, ο ΡΕΔ αυξήθηκε και στις δύο ομάδες. Μάλιστα, δεν διαπιστώθηκε καμία σημαντική συσχέτιση μεταξύ της ποσοστιαίας μεταβολής της εγκάρσιας επιφάνειας και αυτής του μεγέθους των μυϊκών ινών. Αυτό σε

συνδυασμό και με τις μη στατιστικά σημαντικές αλλαγές στο ποσοστό των μυϊκών ινών, που διαπιστώθηκαν στην παρούσα έρευνα, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του ΡΕΔ που διαπιστώθηκε και στις 2 ομάδες, πιθανότατα να οφείλεται σε νευρικές προσαρμογές (αύξηση κινητικών νευρώνων, ρυθμού πυροδότησης κ.τ.λ.) της προπόνησης ισχύος (Cormie, et al., 2011a, 2011b), οι οποίες, δυστυχώς δεν αξιολογήθηκαν στην παρούσα έρευνα. Το ίδιο πιθανότατα να ισχύει και για την μέγιστη δύναμη. Επομένως, με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις, φαίνεται ότι η ήπια αερόβια άσκηση δεν επηρεάζει την βελτίωση του ΡΕΔ και της μέγιστης δύναμης, τουλάχιστον για τις πρώτες 6 εβδομάδες σε αρχάρια άτομα.

Το κύριο ερώτημα το οποίο καλούταν να απαντήσει η παρούσα έρευνα ήταν εάν 6 εβδομάδες προπόνησης ισχύος, μόνη ή σε συνδυασμό με αερόβια άσκηση ήπιας έντασης, προκαλεί μεταβολές στην ΤΑ, καθώς και το πόσο ήταν αυτές οι μεταβολές. Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, διαπιστώνεται ότι η προπόνηση ισχύος προκαλεί σημαντικές βελτιώσεις στις παραμέτρους της ΤΑ των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, μεταβολές οι οποίες όμως εκμηδενίζονται όταν πραγματοποιείται και αερόβια άσκηση στην ίδια προπονητική μονάδα. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμβαδίζουν με αυτά προηγούμενης, όπου 6 εβδομάδες προπόνησης είτε με σύγκεντρη είτε με έκκεντρη άσκηση αυξάνουν σημαντικά την ΤΑ (Cadore, et al., 2014), ενώ είναι αντίθετα με προηγούμενη αναφορά ότι η ΤΑ αυξάνεται μέσα από την αερόβια άσκηση 6 εβδομάδων πάλι (Hassanlouei, et al., 2014). Ωστόσο, και στις 2 αυτές έρευνες, η αξιολόγηση της ΤΑ έγινε με ηλεκτρόδια επιφανείας και δεν εξετάστηκαν οι λόγοι για τους οποίους μεταβλήθηκε η ΤΑ

Παράλληλα, στην έρευνα των Hassanlouei et al. (2014), η αερόβια άσκηση που πραγματοποιήθηκε ήταν σε εργοποδήλατο και μάλιστα με αντίσταση μέχρι εξάντλησης, άσκηση η οποία θυμίζει παρατεταμένη άσκηση με αντίσταση, στοιχείο το οποίο διαφέρει σημαντικά από την αερόβια άσκηση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα. Μάλιστα, έχει διαπιστωθεί ότι ο ρυθμός περιστροφών και η αντίσταση κατά την ποδηλάτηση είναι 2 μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν την ΤΑ, με τον πιο έντονο ρυθμό και την μεγαλύτερη αντίσταση να οδηγούν σε αύξηση της ΤΑ κατά την προσπάθεια (Arendt-Nielsen, et al., 1989; Broman, et al., 1985b; Farina, et al., 2007; Farina, Macaluso, et al., 2004; Sadoyama & Masuda, 1987). Πιθανότατα, η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων μεταξύ της έρευνας των Hassanlouei et al. (2014) και της παρούσας να έγκειται σε αυτό το στοιχείο, καθώς μέσα από τα πρωτόκολλα άσκησης σαν και αυτό των Hassanlouei et al. (2014), παρατηρείται μεγαλύτερη ενεργοποίηση των ινών τύπου II (Umberger et al., 2006), καθώς και αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας τους (Aagaard et al., 2011; Gavin, et al., 2007; Gibala & McGee, 2008; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979; Scribbans, et al., 2014), η οποία πιθανών να προκάλεσε την αύξηση στην ΤΑ, αύξηση η οποία μάλιστα συμβάδιζε με την αύξηση της μέγιστης δύναμης που παρατηρήθηκε στα άτομα της έρευνας των Hassanlouei et al. (2014). Αντίθετα, η ενεργοποίηση των ινών τύπου II και κυρίως των ΙΙχ κατά την ήπια αερόβια άσκηση με τρέξιμο δεν είναι μεγάλη, σε αντίθεση με τις τύπου I (Neptune, et al., 2009), με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται σημαντική υπερτροφία των II (Gavin, et al., 2007; Gibala & McGee, 2008; Green, et al., 2012; Ingjer, 1979; Scribbans, et al., 2014). Σε ενίσχυση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας, έχει διαπιστωθεί

ότι ο συνδυασμός προπόνησης αντιστάσεων για δύναμη-υπερτροφία και αερόβιας, δεν αυξάνει σημαντικά την εγκάρσια επιφάνεια των ινών τύπου II, ενώ η όποια αύξηση προκληθεί είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη όταν πραγματοποιείται μόνο άσκηση αντιστάσεων, στοιχείο το οποίο συμβάδιζε με τις μεταβολές στην δύναμη και στην ισχύ μετά την εφαρμογή των 2 πρωτοκόλλων προπόνησης (Aagaard, et al., 2011). Μάλιστα, πρόσφατη μετα-ανάλυση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αερόβια άσκηση σε ποδήλατο με αντίσταση, προκαλεί αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών, ενώ δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα των προπονητικών προσαρμογών στην άσκηση αντιστάσεων, όταν αυτά τα δύο ερεθίσματα συνδυάζονται μέσα σε μια προπονητική μονάδα (Wilson, Marin, et al., 2012).

Πιθανότατα, ο λόγος της αύξησης των παραμέτρων της TA μόνο στην ομάδα Π.Ι., να είναι η αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας η οποία διαπιστώθηκε σε αυτή την ομάδα μόνο. Όπως αποδείχτηκε στην δεύτερη έρευνα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, το μέγεθος και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών, και κυρίως των Ιχ και ΙΙ, συνδέεται στενά με τις παραμέτρους της TA Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται και με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, κατά τα οποία, η ποσοστιαία μεταβολή του μέσου όρου της εγκάρσιας επιφάνειας όλων των μυϊκών ινών συνδεόταν υψηλά με την ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων της TA και ειδικότερα της μέσης, του τύπου ΙΙ και της μέγιστης. Ανάλυση για τους λόγους όπου η TA επηρεάζεται και συνδέεται στενά με το μέγεθος και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών έχει πραγματοποιηθεί εξονυχιστικά σε προηγούμενη ενότητα, τόσο στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (ενότητα 2.5.4.) καθώς και στην συζήτηση της δεύτερης έρευνας, και για αποφυγή επανάληψης δεν θα πραγματοποιηθεί στην ενότητα αυτή.

Εν συντομία μόνο θα αναφερθεί ότι η αύξηση του μεγέθους των ινών αναμένεται να αυξήσει την σταθερά μήκους, λόγω του ότι η αύξηση του μεγέθους των ινών, θεωρητικά, συνεπάγεται με μείωση της σαρκοπλασματικής, με αποτέλεσμα να μεταφέρεται στην μονάδα του χρόνου ακόμα μεγαλύτερος αριθμός ιόντων και να προκαλείται πιο γρήγορα δυναμικό δράσης και αναπαραγωγή του έντονου δυναμικού ενέργειας (Blaustein & Lederer, 1999; Broman, et al., 1985b; Buchthal, et al., 1955a, 1955b; Clausen, 1986, 2003b; Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hakansson, 1956; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Morimoto, 1986; Rutkove, et al., 1997; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Zhang, et al., 2006), καθώς και μεμβρανικής αντίστασης (Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hodgkin & Nakajima, 1972; Kandel, et al., 2000), πιθανότατα μέσω της αύξησης του αριθμού και της πυκνότητας των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$ (Aughey, et al., 2007a, 2007b; Bangsbo, et al., 2009; Clausen, 1986, 2003a, 2003b; Dela, et al., 2004; Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1994; Klitgaard & Clausen, 1989; Leivseth & Reikerås, 1994; Madsen, et al., 1994; McCutcheon, et al., 1999; McKenna, et al., 2003; McKenna, et al., 1993; Medbø, et al., 2001; Murphy, et al., 2007).

Σε ενίσχυση των παραπάνω, φαίνεται να υπάρχουν και ειδικές προσαρμογές του είδους της άσκησης στις αντλίες $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$. Φαίνεται ότι η άσκηση αντιστάσεων/αναερόβια αυξάνει σε μεγαλύτερο βαθμό τον αριθμό και την πυκνότητα τους (Aughey, et al., 2007b; Dela, et al., 2004; Green, et al., 1993;

Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1984; Kjeldsen, et al., 1994; Klitgaard & Clausen, 1989; McKenna, et al., 2003; McKenna, et al., 1993; Medbø, et al., 2001), σε σχέση με την αερόβια (Aughey, et al., 2007a; Bangsbo, et al., 2009; Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Juel, 2006; Kjeldsen, et al., 1994; Madsen, et al., 1994; McCutcheon, et al., 1999; Murphy, et al., 2007; Rankinen, et al., 2000), και συγκεκριμένα, τουλάχιστον στον έξω πλατύ μηριαίο, η άσκηση αντιστάσεων/αναερόβια προκαλεί μια αύξηση που κυμαίνεται από 25 έως 40% (Klitgaard & Clausen, 1989; McKenna, et al., 1993), ενώ η αερόβια μεταξύ 10-20% (Klitgaard & Clausen, 1989; Madsen, et al., 1994) σε σχέση με τα αρχικά επίπεδα. Παράλληλα, όπως ήταν αναμενόμενο, η αερόβια άσκηση προκαλεί αύξηση της β1 ισομορφής των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$, ενώ η άσκηση αντιστάσεων της β2 (Green, et al., 1993; Green, Dahly, et al., 1999; Wyckelsma, et al., 2015). Ωστόσο, σε καμία από τις έρευνες αυτές, οι συγγραφείς δεν αιτιολόγησαν για πιο λόγο παρουσιάστηκαν αυτές οι διαφορές στις μεταβολές. Πιθανόν για αυτές τις διαφορές να ευθύνεται η διαφορετική ενεργοποίηση και χρήση του κάθε τύπου των μυϊκών ινών ανάλογα το είδος του ερεθίσματος (Neptune, et al., 2009) η οποία οδηγεί και στην επιλεκτική υπερτροφία των μυϊκών ινών που αναφέρθηκε παραπάνω, με την αερόβια άσκηση να προκαλεί αύξηση του μεγέθους των ινών τύπου I και η άσκηση αντιστάσεων των ινών τύπου II (Aagaard, et al., 2011; Aagaard, et al., 2001; Adams, et al., 1993; Ahtiainen, et al., 2003; J. L. Andersen & Aagaard, 2000, 2010; J. L. Andersen, et al., 1994; L. L. Andersen & Aagaard, 2006; L. L. Andersen, et al., 2005; L. L. Andersen, et al., 2006; P. Andersen & Henriksson, 1977; Baar & Esser, 1999; Baumann, et al., 1987; Chilibeck, et al., 1998; Di Donato, 2012; Donges, et al., 2012; Erskine, et al., 2014; Ferketich, et al., 1998; Gavin, et al., 2007; Gibala & McGee, 2008; Green, et al., 2012; Green, Goreham, et al., 1999; Haddad & Adams, 2002; K. Hakkinen, Aien, et al., 1985; K. Hakkinen, et al., 2003; K. Hakkinen, et al., 2001; K. Hakkinen, et al., 1998; Harber, Crane, et al., 2009; Harber, Konopka, et al., 2009; Harridge, 1996; Harridge, et al., 1996; Higbie, et al., 1996; Holm, et al., 2008; Ingjer, 1979; Joyner, 1991; P. V. Komi & Karlsson, 1978; Kraemer, et al., 1995; Lamas, et al., 2010; Leblanc, et al., 2004; D. L. Mayhew, et al., 2009; Mero, et al., 1991; Putman, et al., 2004; Rahbek, et al., 2014; Reed, et al., 2013; Scribbans, et al., 2014; Seynnes, et al., 2007; Staron, et al., 1991; Terzis, Georgiadis, et al., 2008; Terzis, Spengos, et al., 2008; Terzis, Stratakis, et al., 2008; A. Tesch, 2014; Vissing, et al., 2008; Volek, et al., 1999; Vollaard, et al., 2009; West, et al., 2010; Widrick, et al., 2002; Wilson, Loenneke, et al., 2012; Zaras, et al., 2013)). Ωστόσο, εάν η επιλεκτική μεταβολή του αριθμού, της πυκνότητας και των β-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$, σχετίζεται με την μεταβολή του μεγέθους των μυϊκών και αν υπάρχει κάποια διαφορά μεταξύ των ινών τύπου Πα και Πχ δεν έχει διερευνηθεί ακόμα, οπότε παραμένει μόνο ως ένα θεωρητικό μοντέλο. Παράλληλα, παραμένει αδιευκρίνιστο τι μεταβολές προκαλεί ο συνδυασμός αερόβιας και άσκησης αντιστάσεων στον αριθμό, τη πυκνότητα και τις β-ισομορφές των αντλιών $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPάσης}$, στοιχείο το οποίο θα μπορούσε να δώσει περαιτέρω εκβάθυνση της γνώσης των λόγων που οδήγησαν στις διαφορές που παρουσιάστηκαν ανάμεσα στις ομάδες όσον αφορά τις μεταβολές των παραμέτρων της ΤΑ

Όπως διαπιστώθηκε στην δεύτερη έρευνα, η ΤΑ συνδέεται στενά με το %CSA των ινών τύπου ΙΙ και κυρίως των ΙΙχ. Στην παρούσα έρευνα, μόνο η ομάδα Π.Ι. εμφάνισε σημαντικές αυξήσεις στις μυϊκές ίνες τύπου Ια και ΙΙχ, ενώ το ποσοστό των ινών τύπου ΙΙχ δεν μεταβλήθηκε ακόμα και εάν μετά την προπόνηση ισχύος ακολουθούσε ήπιας έντασης αερόβια άσκηση. Ωστόσο, αποτέλεσμα της διαφορετικής μεταβολής του μεγέθους των ινών τύπου ΙΙχ που παρουσιάστηκε στην ομάδα Π.Ι. ήταν ότι το %CSA των ινών τύπου ΙΙχ αυξήθηκε. Ίσως, η μεγάλη αύξηση των παραμέτρων της ΤΑ και κυρίως της μέγιστης ΤΑ που διαπιστώθηκε στην ομάδα Π.Ι. να έχει να κάνει και με την αύξηση του %CSA των ινών τύπου ΙΙχ που υπήρχε σε αυτή την ομάδα, στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνει το αποτέλεσμα της δεύτερης έρευνας, για τον σημαντικό ρόλο του %CSA των ινών τύπου ΙΙχ στις παραμέτρους της ΤΑ και κυρίως της μέγιστης. Τέλος, η αύξηση του %CSA των ινών ΙΙχ της ομάδα Π.Ι. θα μπορούσε να εξηγήσει την πολύ μεγάλη προς τα δεξιά μετατόπιση της κατανομής των συχνοτήτων της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίου μυός που διαπιστώθηκε μετά την προπόνηση στην ομάδα Π.Ι.

Ο λόγος για τον οποίο, όπως φαίνεται, το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ είναι οι παράγοντες αυτοί οι οποίοι εξηγούν και επηρεάζουν περισσότερο τους παράγοντες της ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίο μυός, είναι ότι αυτή η παράμετρος της κατανομής συνδυάζει τα 2 χαρακτηριστικά που όπως φαίνεται επηρεάζουν την ΤΑ, δηλαδή το ποσοστό και το μέγεθος των ινών (Brooke & Engel, 1969; Brooke & Kaiser, 1970a; Costill, et al., 1979; Costill, et al., 1976; Crowther, et al., 2002; Dubowitz, 1974; Dubowitz & Sewry, 2007; Fitts & Widrick, 1996; Staron, et al., 2000; Staron & Hikida, 1992; Staron, et al., 1983; Widrick, et al., 2002; Zierath & Hawley, 2004). Επομένως, το αυξημένο ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου ΙΙ, οδηγεί σε αυξημένες τιμές ΤΑ, και κυρίως της μέσης και της μέγιστης, διότι από την μια συνδυάζει το μεγάλο μέγεθος των ινών, άρα και κατά επέκταση την χαμηλή κυτταροπλασματική και μεμβρανική αντίσταση, οι οποίες οδηγούν σε πολύ υψηλές σταθερές μήκους (Blaustein & Lederer, 1999; Broman, et al., 1985b; Buchthal, et al., 1955a, 1955b; Clausen, 1986, 2003b; Costantin, 2011; Engel & Franzini-Armstrong, 1994; Hakansson, 1956; Hodgkin & Nakajima, 1972; Kandel, et al., 2000; Levenson, 1994; Morimoto, 1986; Stålberg, 1966, 1979, 1980; Zhang, et al., 2006), ενώ από την άλλη συνδυάζει και τον αυξημένο αριθμό και πυκνότητα των αντλιών Na^+ , K^+ -ΑΤΡάσης με το $\beta 2$ ισόμορφο, που υπάρχει στις ίνες τύπου ΙΙ έναντι των ινών τύπου Ι (Clausen, 2003b; Levenson, 1994; Zhang, et al., 2006), με αποτέλεσμα να υπάρχει μια γρηγορότερη δημιουργία και μετάδοση των δυναμικών ενέργειας πάνω στις μυϊκές ίνες, με αποτέλεσμα οι τύπου ΙΙ να έχουν υψηλότερες ΤΑ από τις τύπου Ι (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989; Kereschi, et al., 1983; Zhang, et al., 2006).

Ένα σημαντικό στοιχείο το οποίο παρουσιάστηκε στην παρούσα έρευνα ήταν η αρνητική σχέση μεταξύ των αρχικών τιμών της ΤΑ και της ποσοστιαίας μεταβολής τους μετά το τέλος της προπονητικής διαδικασίας. Αν και όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας τα άτομα που είχαν υψηλότερες αρχικές τιμές της τύπου ΙΙ και της μέγιστης ΤΑ, είχαν και τις υψηλότερες μετά το τέλος της προπονητικής παρέμβασης, φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση όσον αφορά την ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων της ΤΑ, με τα άτομα που είχαν

τις υψηλότερες αρχικές τιμές να παρουσιάζουν τις μικρότερες ποσοστιαίες μεταβολές, ενώ τα άτομα με τις μικρότερες αρχικές τιμές να παρουσιάζουν μεγαλύτερες ποσοστιαίες μεταβολές. Αυτές οι αρνητικές συσχετίσεις ακολουθούνταν και από αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των αρχικών τιμών της εγκάρσιας επιφάνειας των μυϊκών ινών και της ποσοστιαίας μεταβολής τους μετά τη προπονητική παρέμβαση, στοιχείο το οποίο, όπως διαπιστώθηκε και από την δεύτερη έρευνα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, μπορεί να εξηγήσει τις μεταβολές αυτές, αφού η TA σχετίζεται με το μέγεθος και το %CSA των μυϊκών ινών. Ουσιαστικά, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προκύπτει ότι τα άτομα που είχαν μεγαλύτερες μυϊκές ίνες και %CSA, μετά από την προπονητική παρέμβαση που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα, παρουσίασαν τις μικρότερες ποσοστιαίες μεταβολές, δηλαδή αύξησαν σε μικρότερο βαθμό το μέγεθος και το %CSA μυϊκών ινών τους, στοιχείο το οποίο οδήγησε και σε μικρότερες αυξήσεις της TA σε σχέση με τα άτομα που αρχικά είχαν μικρότερες μυϊκές ίνες. Υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των αρχικών τιμών και αυτών μετά το τέλος κάποιας προπονητικής παρέμβασης έχουν αναφερθεί και προηγουμένως στην διεθνή βιβλιογραφία (Aagaard, et al., 2001), στοιχείο το οποίο ήταν και λίγο πολύ αναμενόμενο. Ωστόσο, οι αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των αρχικών τιμών των παραμέτρων της TA, της εγκάρσιας επιφάνειας και των ποσοστιαίων μεταβολών τους αναφέρονται για πρώτη φορά. Μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των αρχικών τιμών και της ποσοστιαίας βελτίωσης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, σε παιδιά όμως με άσθμα (Neder et al., 1999), χωρίς όμως να εξηγούν τους λόγους της ύπαρξης αυτής της σχέσης, ενώ δεν διαπιστώθηκε κάποια έρευνα που να αφορά σε συναφή με την παρούσα έρευνα δεδομένα. Είναι γενική παραδοχή, ότι μέσα από μια προπονητική παρέμβαση, τα άτομα που έχουν την χαμηλότερη φυσική κατάσταση και απόδοση παρουσιάζουν πολύ γρήγορα και εύκολα σημαντικές βελτιώσεις στις παραμέτρους αυτές (Baechle, 2004; Baechle & Earle, 2008; Cardinale, et al., 2011; Dick, 2002; Fleck & Kraemer, 2009; Jackson et al., 1990; Peterson et al., 2004; Rhea, 2004; Rhea et al., 2003). Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα οι συμμετέχοντες είχαν μια καλή φυσική κατάσταση, όπως διαπιστώνεται και από τα αποτελέσματα της πρόβλεψης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Aubert et al., 2003; McArdle, et al., 2006; Vander, et al., 2003; Β Κλεισούρας, 2001; Β. Κλεισούρας, 2004). Επομένως, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, φαίνεται ότι υπάρχει ένα βιολογικό όριο ή/και μηχανισμός κατά το οποίο να μην επιτρέπεται η ανεξέλεγκτη αύξηση των ήδη υψηλών τιμών. Ωστόσο, αυτό είναι κάτι το οποίο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης σε μελλοντικές εργασίες, ώστε να διερευνηθούν οι λόγοι για την διαπίστωση αυτή, καθώς και τι αντίκτυπο έχει στην αθλητική προετοιμασία και επίδοση.

Παράλληλα, εκτός από το βιολογικό υπόβαθρο το οποίο οδηγεί σε αυτή την διαπίστωση, σημαντικό είναι να ληφθεί υπόψη και το ψυχολογικό κομμάτι της αθλητικής προπονητικής. Πολλοί ερευνητές της αθλητικής ψυχολογίας οι οποίοι εξετάζουν την ψυχολογία των αθλητών που έχουν χαρακτηριστεί από μικρά παιδιά ως «ταλέντα», καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι πολλά από αυτά τα παιδιά, λόγω αυτού του χαρακτηρισμού, οδηγούνται σε μια διαφορετική αντίληψη όσο αφορά το πώς και πόσο προπόνηση θα πρέπει να κάνουν (Dries, 2013; Martindale et al.,

2010; Pearson et al., 2006). Συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί ότι οι αθλητές οι οποίοι έχουν χαρακτηριστεί ως «ταλέντα» φαίνεται ότι σχεδόν επαναπαύονται σε αυτή την συνθήκη, με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιούν την προπόνηση που θα έπρεπε να κάνουν ή να μην προσπαθούν πολύ ή να μην ακολουθούν ένα γενικότερο τρόπο ζωής αθλητού, με αποτέλεσμα να μην έχουν και την υποτιθέμενη αναλογική βελτίωση της απόδοσης τους (Dries, 2013; Singer et al., 1993; J. M. Williams, 1993). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι πολλές φορές, τα άτομα τα οποία είχαν σε μικρή ηλικία αναδειχτεί ως ταλέντα, δεν κατάφεραν ποτέ να κάνουν πολύ μεγάλη αθλητική καριέρα, ενώ αντίθετα τα άτομα που δεν είχαν χαρακτηριστεί ως ταλέντα, λόγω της σκληρής και εντατικής προπόνησης που πραγματοποιούσαν κατάφεραν να κάνουν μια λαμπρή αθλητική καριέρα. Πιθανότατα, και το ψυχολογικό κομμάτι συντέλεσε σε αυτή την διαφορετική ποσοστιαία μεταβολή των επιδόσεων και των βιολογικών παραμέτρων, που παρατηρήθηκε σε αυτή την έρευνα, λόγω του ότι οι δοκιμαζόμενες ήταν συμφοιτήτριες και τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων καθώς και η πορεία που είχαν κατά την προπονητική διαδικασία, πιθανόν να συζητήθηκαν μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να εμφανίστηκε το παραπάνω φαινόμενο. Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα προς αποφυγή του φαινομένου ότι οι δοκιμαζόμενοι δεν δίνουν το 100% των προσπαθειών τους, κατά την διάρκεια των προπονήσεων όλες οι προσπάθειες, και στα βάρη και στα άλματα και στο τρέξιμο, καταγραφόνταν συνεχώς και υπήρχε άμεση ανατροφοδότηση στις δοκιμαζόμενες, ώστε να προσπαθούν για το 100%. Όμως, ποτέ δεν μπορεί ένας ερευνητής να είναι 100% σίγουρος ότι οι δοκιμαζόμενοι του πραγματοποιούν την κάθε προσπάθεια με το μέγιστο των δυνατοτήτων τους (Hackney & Viru, 2008).

Στην παρούσα έρευνα, εκτός από την συμβολή της εγκάρσιας επιφάνειας των ινών τύπου Ια και Ιγ στην ΤΑ, επιβεβαιώθηκε για άλλη μια φορά η συμβολή της ΤΑ στην παραγωγή μυϊκής ισχύος. Συγκεκριμένα, η ποσοστιαία μεταβολή, κυρίως της μέγιστης ΤΑ, όπου όπως διαπιστώθηκε από την πρώτη και την δεύτερη έρευνα της παρούσας έρευνας σχετίζεται υψηλότερα με την μυϊκή ισχύ και τον ΡΕΔ, σχετιζόταν σε αυτή την έρευνα υψηλά με τις ποσοστιαίες μεταβολές της ισχύος. Λόγος για τις σχέσεις και την σημασία της ΤΑ με την/στην μυϊκή ισχύ έχει γίνει αναλυτικότερα στην συζήτηση της πρώτης και της δεύτερης έρευνας. Ωστόσο, και σε αυτή την έρευνα όπως και στην δεύτερη της παρούσας διδακτορικής διατριβής, φαίνεται ότι οι συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος ελέγχονται και επηρεάζονται από το μέγεθος των ινών, διότι όπως διαπιστώθηκε από τα αποτελέσματα τις μερικής συσχέτισης (πίνακας 4.25), οι παραπάνω συσχετίσεις εκμηδενίζονταν όταν ελεγχόταν η επίδραση της ποσοστιαίας μεταβολής της εγκάρσιας επιφάνειας, στοιχείο το οποίο επιβεβαιώνει το αντίστοιχο αποτέλεσμα και συμπέρασμα της δεύτερης έρευνας, ενισχύοντας έτσι το συμπέρασμα της δεύτερης έρευνας, ότι η ΤΑ είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από το μέγεθος και το %CSA των μυϊκών ινών. Επομένως, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας μπορεί να διεξαχθεί το συμπέρασμα ότι μέσα από την ασκησιογενή αύξηση της εγκάρσιας γέφυρας των μυϊκών ινών, θα διαπιστωθεί μια εφάμιλλη αύξηση της ΤΑ και ως εκ τούτου να παρουσιαστεί μια αντίστοιχη αύξηση μυϊκή ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1. Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και προτάσεις της πρώτης έρευνας

6.1.1. Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα της πρώτης έρευνας

Σκοπός της πρώτης έρευνας ήταν η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ΤΑ στον έξω πλατύ μηριαίο μυός από τη μια μεριά και της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ από την άλλη. Το ερευνητικό ερώτημα της πρώτης έρευνας ήταν εάν υπάρχει σχέση μεταξύ της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ με την ΤΑ του έξω πλατύ μηριαίου μυ, σε πολυαρθρικές ασκήσεις σε υγιή άτομα, αντικείμενο το οποίο δεν έχει μελετηθεί ποτέ είτε σε πολυαρθρική άσκηση είτε σε υγιή άτομα. Τα αποτελέσματα της πρώτης έρευνας φανέρωσαν μέτριες έως πολύ υψηλές συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ_{Total} αλλά κυρίως των ΤΑ_{Type II} και ΤΑ_{Max} με την μέγιστη ισχύ κατά το επιτόπιο άλμα με αιώρηση, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και του ΡΕΔ μέχρι τα 250ms, στην άσκηση «πίεση ποδιών». Από τα αποτελέσματα της πρώτης έρευνας, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η ταχύτητα μετάδοσης των δυναμικών ενέργειας πάνω στο σαρκείλημα των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, συνδέεται στενά με την απόδοση σε εκρηκτικές πολυαρθρικές δραστηριότητες. Παράλληλα, φαίνεται ότι τη ΤΑ συνδέεται καλύτερα με τον ΡΕΔ κατά την πραγματοποίηση εκρηκτικών δραστηριοτήτων, παρά με την μέγιστη δύναμη, αντικείμενο το οποίο παρουσιάζεται για πρώτη φορά. Πιθανόν, αυτή η διαπίστωση να υπάρχει λόγω του ότι η λειτουργία του νευρικού συστήματος είναι πιο σημαντικός παράγοντας στον ΡΕΔ, παρά στην επίτευξη της μέγιστης δύναμης. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας ίσως να συνδέονται με το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια αυτών των δραστηριοτήτων, οι μυϊκές ίνες τύπου II είναι που επιστρατεύονται σε σημαντικό βαθμό και είναι οι βασικότερες για την επίδοση.

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της πρώτης έρευνας, σχετικά με τις μηδενικές υποθέσεις που διατυπώθηκαν για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της πρώτης έρευνας, μπορεί να απορριφθούν οι μηδενικές υποθέσεις και να υιοθετηθούν οι εναλλακτικές υποθέσεις, η διατύπωση των οποίων έχει ως εξής:

- i. Υπάρχει σημαντική σχέση μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και της ΤΑ.
- ii. Υπάρχει σημαντική και υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και των ΤΑ_{Type II} και ΤΑ_{Max}.

6.1.2. Πρακτικές εφαρμογές της πρώτης έρευνας

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της πρώτης έρευνας, προκύπτουν οι εξής πρακτικές εφαρμογές:

- i. Η ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες του έξω πλατύ μηριαίου μυός συνδέεται με την παραγωγή ισχύος σε πολυαρθρικές δραστηριότητες των κάτω άκρων.
- ii. Η μέγιστη ταχύτητα αγωγής των δυναμικών ενέργειας στις μυϊκές ίνες του έξω πλατύ μηριαίου μυός είναι αυτή που καθορίζει καλύτερα την παραγωγή ισχύος σε πολυαρθρικές δραστηριότητες των κάτω άκρων.

6.1.3. Προτάσεις για επόμενες μελέτες, που προκύπτουν από την πρώτη έρευνα

Από τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της πρώτης έρευνας προκύπτουν οι εξής προτάσεις για επόμενες μελέτες:

- i. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης και τεκμηρίωσης των πιθανών διαφοροποιήσεων των παραμέτρων της ΤΑ, ανάμεσα σε άτομα που είτε δεν κάνουν κανενός είδους συστηματικής άσκησης, είτε πραγματοποιούν διάφορα είδη χρόνιας προπόνησης, καθώς και αν υπάρχουν, ποιοι είναι οι παράγοντες αυτοί που συντελούν σε αυτή την διαφοροποίηση.
- ii. Υπάρχει ανάγκη για διερεύνηση των πιθανών σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ, αξιολογούμενοι μέσω ενδομυϊκών ηλεκτροδίων στον έξω πλατύ μηριαίο μυ κατά την ηρεμία, με την κατανομή, το μέγεθος και το %CSA των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυ, σε υγιή άτομα και αθλητές.
- iii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης της πιθανής συμβολής της κατανομής, του μέγεθος και του %CSA των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυ, στις συσχετίσεις των παραμέτρων της ΤΑ του έξω πλατύ με την επίδοση σε εκρηκτικές δραστηριότητες, σε υγιή άτομα και αθλητές.
- iv. Σημαντικό στοιχείο για την αθλητική επιστήμη θα ήταν η δημιουργία εξισώσεων πρόβλεψης του μεγέθους και του %CSA των μυϊκών ινών μέσω της αξιολόγησης της ΤΑ και της επίδοσης σε εκρηκτικές δραστηριότητες.

6.2 Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και προτάσεις της δεύτερης έρευνας

6.2.1. Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα της δεύτερης έρευνας

Σκοπός της δεύτερης έρευνας ήταν η διερεύνηση πιθανών διαφορών στην ΤΑ μεταξύ αθλητών δύναμης, ισχύος και αντοχής. Τα αποτελέσματα της δεύτερης έρευνας φανέρωσαν ότι η ΤΑ των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, διαφέρουν μεταξύ ατόμων που πραγματοποιούν διαφορετικά είδη προπόνησης. Μάλιστα οι αθλητές ισχύος έχουν υψηλότερες τιμές, ακολουθούμενοι από τους αθλητές δύναμης, με τελευταίους αυτούς του μαραθωνίου και τους αγύμναστους, με τις δύο τελευταίες ομάδες να μην διαφέρουν μεταξύ τους. Αυτές οι διαφορές στην ΤΑ συμβάδιζαν με τις διαφορές ανάμεσα στις ομάδες για τις παραμέτρους της μυϊκής ισχύος και του %CSA των ινών τύπου II και ειδικότερα των IIx. Παράλληλα, η παρούσα έρευνα επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της πρώτης, όσον αφορά τις σχέσεις μεταξύ της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ και μάλιστα αυτή την φορά σε άτομα με διαφορετικό προπονητικό υπόβαθρο. Επομένως, ενισχύεται το συμπέρασμα της πρώτης έρευνας ότι η ταχύτητα μετάδοσης των δυναμικών ενέργειας πάνω στο σαρκείλημα των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, συνδέεται στενά με την απόδοση σε εκρηκτικές πολυαρθρικές δραστηριότητες, καθώς και το ότι η ΤΑ συνδέεται καλύτερα με τον ΡΕΔ κατά την πραγματοποίηση εκρηκτικών δραστηριοτήτων, παρά με την μέγιστη δύναμη.

Η παρούσα έρευνα φανέρωσε και τη στενή σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων των αξιολογήσεων της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ με το μέγεθος και το %CSA των ινών τύπου IIx και II. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας ίσως να συνδέονται με το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια αυτών των δραστηριοτήτων, οι μυϊκές ίνες τύπου II είναι που επιστρατεύονται σε σημαντικό βαθμό και είναι οι βασικότερες

για την επίδοση. Σημαντικό εύρημα της παρούσας έρευνας ήταν ότι οι παράμετροι της ΤΑ συνδέονται στενά με το μέγεθος και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των ινών τύπου ΙΙ και κυρίως των ΙΙχ, όταν όλοι οι δοκιμαζόμενοι ελέγχονται ως ένα σύνολο αλλά και όταν ελέγχονται οι παραπάνω συσχετίσεις για κάθε μια ομάδα ξεχωριστά. Μάλιστα, φαίνεται ότι το μέγεθος και το %CSA των ινών τύπου ΙΙχ επηρεάζει σημαντικά τις συσχετίσεις της ΤΑ με την μυϊκή ισχύ και τον ΡΕΔ, που είτε τις μετριάζει είτε τις εξαφανίζει. Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας συνηγορούν στο ότι η ΤΑ επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος και το %CSA των ινών τύπου ΙΙ και κυρίως των ΙΙχ. Σε ενίσχυση αυτού, στις ομάδες της δύναμης και αντοχής όπου το %CSA των ινών τύπου ΙΙχ ήταν πολύ μικρό, οι συσχετίσεις μεταξύ της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ, είτε είχαν μικρότερη ισχύ είτε εξαφανίστηκαν, σε σχέση με τις αντίστοιχες, τόσο στο σύνολο των δοκιμαζόμενων όσο και στις ομάδες ισχύος και αρχαρίων, όπου οι δύο τελευταίες είχαν υψηλότερο %CSA των ινών τύπου ΙΙχ. Πιθανότατα, ο λόγος που η παρούσα έρευνα φανέρωσε αυτή την μεγάλη συμβολή των ΙΙχ στην ΤΑ, να είναι το γεγονός ότι αυτές οι ίνες μπορεί να έχουν ακόμα μεγαλύτερη σταθερά μήκους σε σχέση με τις ΙΙα, λόγω της μειωμένης σαρκοπλασματικής αντίστασης, του μεγέθους τους, αλλά και της μειωμένης μεμβρανικής αντίστασης, του ακόμα μεγαλύτερου αριθμού, πυκνότητας και β2-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -ΑΤΡάσης, αν και αυτή η υπόθεση πρέπει να διερευνηθεί. Τέλος, η παρούσα εργασία φανέρωσε ότι το %CSA των ΙΙα και ΙΙ, καθώς και η εγκάρσια επιφάνεια όλων των ινών μπορούν να εκτιμηθούν, με αξιοπιστία, μέσα από τον συνδυασμό παραμέτρων της ΤΑ, της μυϊκής ισχύος και του RFD.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμπεραίνεται ότι η ΤΑ διαφέρει μεταξύ ατόμων που πραγματοποιούν διαφορετικά είδη προπόνησης, ενώ η συμβολή της στην παραγωγή μυϊκής ισχύος και στον ΡΕΔ, είναι έμμεση, διότι φαίνεται ότι είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο καθορίζεται πρωτίστως από το μέγεθος και κυρίως από το %CSA των ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ, με τα άτομα που είτε λόγω γενετικών παραγόντων είτε λόγω των ειδικών προπονητικών προσαρμογών έχουν αυξημένο %CSA των ινών τύπου ΙΙ και ειδικότερα των ΙΙχ, να έχουν υψηλότερες ΤΑ, με αποτέλεσμα να πυροδοτούν σε συντομότερο χρόνο τον κύκλο των εγκάρσιων γεφυρών και να έχουν πιο γρήγορη σύσπαση μυών, και κατά επέκταση να παράγουν υψηλότερη μυϊκή ισχύ και ΡΕΔ, σε σύγκριση με άτομα που έχουν χαμηλό %CSA των ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ.

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της δεύτερης έρευνας, σχετικά με τις μηδενικές υποθέσεις που διατυπώθηκαν για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της δεύτερης έρευνας, μπορεί να απορριφθούν οι μηδενικές υποθέσεις και να υιοθετηθούν οι εναλλακτικές υποθέσεις, η διατύπωση των οποίων έχει ως εξής:

- i. Ισχύουν οι ίδιες σχέσεις, μεταξύ της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ, σε άτομα με διαφορετικό προπονητικό υπόβαθρο.
- ii. Οι αθλητές ισχύος έχουν υψηλότερες τιμές ΤΑ στους πρωταγωνιστές μύες, σε σχέση με τους αθλητές δύναμης, μαραθωνίου και τα αγύμναστα άτομα, ενώ οι αγύμναστοι και οι μαραθωνοδρόμοι δεν διαφέρουν μεταξύ τους
- iii. Υπάρχει σχέση μεταξύ της κατανομής των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, και κυρίως του μεγέθους και του %CSA των ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ, και της ΤΑ των ινών του, σε υγιή και καλά προπονημένα άτομα.

- iv. Οι σχέσεις μεταξύ της μυϊκής ισχύος, του ΡΕΔ και της ΤΑ επηρεάζονται από την κατανομή των μυϊκών ινών, και κυρίως του μεγέθους και του %CSA των ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ.
- v. Διαφοροποιείται η σχέση μεταξύ της ΤΑ και της κατανομής των μυϊκών ινών και του ΡΕΔ μεταξύ ατόμων που πραγματοποιούν διαφορετικά είδη συστηματικής προπόνησης, ανάλογα με το μέγεθος και το %CSA των ινών τύπου ΙΙ και ΙΙχ.
- vi. Μπορεί η κατανομή των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός να εκτιμηθεί μέσα από τον συνδυασμό των παραμέτρων της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος-ΡΕΔ, και συγκεκριμένα μπορεί να εκτιμηθεί το %CSA των ΙΙα και ΙΙ, καθώς και η εγκάρσια επιφάνεια όλων των ινών μπορούν να εκτιμηθούν, με μεγάλη αξιοπιστία.

6.2.2. Πρακτικές εφαρμογές της δεύτερης έρευνας

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της δεύτερης έρευνας, προκύπτουν οι εξής πρακτικές εφαρμογές:

- i. Για υψηλή παραγωγή μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ είναι αναγκαίες οι υψηλές ΤΑ των μυϊκών ινών.
- ii. Όταν η υψηλή παραγωγή μυϊκής ισχύος και ΡΕΔ κρίνεται αναγκαία κατά την αθλητική απόδοση, ο στόχος της προπόνησης θα πρέπει να είναι και η διατήρηση ή/και η αύξηση του %CSA των ινών τύπου ΙΙχ.
- iii. Οι εξισώσεις πρόβλεψης της κατανομής των ινών που αναπτύχθηκαν στην συγκεκριμένη έρευνα, αποτελούν ένα αξιόπιστο, εύχρηστο, ανώδυνο και οικονομικό τρόπο εκτίμησης του μεγέθους και του %CSA των ινών, ενώ η μέτρηση της ΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά τακτά διαστήματα, κατά τη διάρκεια της αθλητικής προετοιμασίας, ώστε να παρακολουθούνται και να καταγράφονται οι ασκησιογενείς προσαρμογές του μυϊκού ιστού, ώστε να είναι σε θέση ο προπονητής να προβεί στους κατάλληλους χειρισμούς.

6.2.3. Προτάσεις για επόμενες μελέτες, που προκύπτουν από την δεύτερη έρευνα

Από τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της δεύτερης έρευνας προκύπτουν οι εξής προτάσεις για επόμενες μελέτες:

- i. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των πιθανών διαφοροποιήσεων στον αριθμό, πυκνότητα και β2-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPάσης}$, μεταξύ των ινών τύπου ΙΙα και ΙΙχ.
- ii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης της υπόθεσης της υψηλότερης σταθεράς μήκους των ινών τύπου ΙΙχ έναντι των ΙΙα.
- iii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης, μέσα από ερευνητικά προπονητικά πρωτόκολλα, των ασκησιογενών προσαρμογών της ΤΑ.
- iv. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των προσαρμογών στην ΤΑ μέσα από τον συνδυασμό προπονητικών ερεθισμάτων, π.χ. άσκηση αντιστάσεων και αερόβιας.
- v. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης της ύπαρξης των σχέσεων μεταξύ της ΤΑ και της μυϊκής ισχύος και του ΡΕΔ, μετά από την εφαρμογή προπονητικών πρωτοκόλλων.

- vi. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης της πιθανής σχέσης μεταξύ των μεταβολών της ΤΑ και της κατανομής των μυϊκών ινών μέσα από την εφαρμογή προπονητικών πρωτοκόλλων.
- vii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των μεταβολών στον αριθμό, στην πυκνότητα και στην ποσότητα των 2 τύπων των β-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -ΑΤΡάσης, μέσα από τα διάφορα είδη συστηματικής προπόνησης.

6.3 Ανακεφαλαίωση, συμπεράσματα και προτάσεις της τρίτης έρευνας

6.3.1. Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα της τρίτης έρευνας

Σκοπός της τρίτης εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της προπόνησης ισχύος και του συνδυασμού προπόνησης ισχύος με ήπια αερόβια προπόνηση στην ΤΑ. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής φανέρωσαν ότι 6 εβδομάδες προπόνησης ισχύος αυξάνουν την ΤΑ και το μέγεθος των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, καθώς και την παραγωγή μυϊκής ισχύος. Ωστόσο, εάν η προπόνηση ισχύος συνδυαστεί με ήπιας έντασης αερόβια άσκηση, διαπιστώνεται ότι η ΤΑ παραμένει αμετάβλητη. Σε καμία όμως από τις 2 ομάδες δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση όσον αφορά το ποσοστό των μυϊκών ινών, πριν και μετά την εφαρμογή των 2 πρωτοκόλλων, καθώς και διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων όσον αφορά την μεταβολή του ΡΕΔ. Επίσης, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι η ΤΑ μεταβάλλεται κατά αντιστοιχία με την μεταβολή του μεγέθους των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός, και κυρίως της αύξησης του μεγέθους των ινών Ια και Ιγ, λόγω του ότι βρέθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ της ποσοστιαίας μεταβολής της ΤΑ και της ποσοστιαίας μεταβολής του μεγέθους των μυϊκών ινών. Παράλληλα, η ποσοστιαία μεταβολή της ΤΑ, αλλά και αυτή του μεγέθους των μυϊκών ινών συσχετιζόταν υψηλά με την ποσοστιαία μεταβολή της μυϊκής ισχύος, όπως αυτή αξιολογήθηκε μέσα από το κατακόρυφο άλμα με αιώρηση. Ωστόσο, και σε αυτή την έρευνα, όπως και στην δεύτερη, διαπιστώθηκε ότι οι συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ και αυτών της μυϊκής ισχύος, επηρεάζονται σημαντικά από το μέγεθος και το %CSA των μυϊκών ινών. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώνεται ότι όσο αυξάνεται το μέγεθος των μυϊκών ινών, και κυρίως των ινών τύπου ΙΙ, μέσα από μια προπονητική παρέμβαση, τόσο θα αυξηθεί και η ΤΑ, διαδικασία η οποία οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας παραγωγής ισχύος.

Τα παραπάνω στοιχεία επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα της πρώτης και δεύτερης έρευνας σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων της ΤΑ, και κυριότερα την μέση, των ινών του τύπου ΙΙ και της μέγιστης ΤΑ, και της παραγωγής μυϊκής ισχύος, ενώ επιβεβαιώνει την άμεση σχέση που διαπιστώθηκε στην δεύτερη έρευνα μεταξύ του μεγέθους των ινών και την ΤΑ. Παράλληλα, όπως και στην δεύτερη έρευνα, διαπιστώνεται ότι η ΤΑ είναι ένα χαρακτηριστικό των μυϊκών ινών, το οποίο καθορίζεται σχεδόν εξολοκλήρου από το μέγεθος και το ποσοστό καταλαμβανόμενης επιφάνειας των μυϊκών ινών, κυρίως των ΙΙ, ενώ η όποια συμβολή έχει η ΤΑ στην μυϊκή ισχύ είναι έμμεση.

Ωστόσο, φαίνεται και ότι η ποσοστιαία μεταβολή, τόσο των παραμέτρων της ΤΑ, όσο και αυτών της μυϊκής ισχύος και της κατανομής, έχει να κάνει με το αρχικό επίπεδο, με τα άτομα που είχαν υψηλότερες αρχικές τιμές, να εμφανίζουν τις

μικρότερες ποσοστιαίες μεταβολές μετά την εφαρμογή των 2 πρωτοκόλλων άσκησης που εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα.

Επομένως, από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συμπεραίνεται ότι η ΤΑ μπορεί να αυξηθεί μέσα από την προπόνηση ισχύος, λόγω της ασκησιογενούς αύξησης του μεγέθους των μυϊκών ινών, αλλά η προσθήκη ήπιας έντασης αερόβιας άσκησης, θα οδηγήσει στην αναίρεση αυτών των προσαρμογών, με αποτέλεσμα να μην αυξάνεται η ικανότητα παραγωγής μυϊκής ισχύος. Ωστόσο, ο συνδυασμός των 2 αυτών προπονητικών ερεθισμάτων δεν είναι σε θέση να προκαλέσει την μη βελτίωση του ΡΕΔ και της μέγιστης δύναμης, τουλάχιστον για τις πρώτες 6 εβδομάδες σε αρχάρια άτομα, πιθανότατα λόγω του ότι μεσολαβούν και άλλες νευρικές προσαρμογές, οι οποίες φαίνεται να μην επηρεάζονται από την αερόβια άσκηση ήπιας έντασης, τουλάχιστον στα αρχάρια άτομα.

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της τρίτης έρευνας, σχετικά με τις μηδενικές υποθέσεις που διατυπώθηκαν για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της δεύτερης έρευνας, μπορούν να διατυπωθούν ως εξής:

- iv. Η προπόνηση ισχύος επηρεάζει την ΤΑ
- v. Ο συνδυασμός προπόνησης ισχύος και ήπιας αερόβιας άσκησης δεν μεταβάλλει την ΤΑ
- vi. Οι μεταβολές της ΤΑ μέσα από τα 2 παραπάνω προπονητικά πρωτόκολλα σχετίζονται με τις αλλαγές στην κατανομή των μυϊκών ινών.

6.3.2. Πρακτικές εφαρμογές της τρίτης έρευνας

Με βάση τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της τρίτης έρευνας, προκύπτουν οι εξής πρακτικές εφαρμογές:

- i. Η προπόνηση ισχύος μπορεί να προκαλέσει αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών, αύξηση η οποία θα οδηγήσει σε αύξηση της ΤΑ και στην μυϊκή ισχύ.
- ii. Οι προσαρμογές στην μυϊκή ισχύ και στην υπερτροφία, που προκαλούνται μέσα από την προπόνηση ισχύος 6 εβδομάδων, εκμηδενίζονται εάν πραγματοποιείται και αερόβια άσκηση ήπιας έντασης.
- iii. Η προπόνηση ισχύος και ο συνδυασμός της με ήπιας έντασης αερόβια άσκηση δεν μειώνει το ποσοστό των ινών τύπου ΙΙχ.
- iv. Η ήπιας έντασης αερόβια άσκηση δεν μειώνει τις προσαρμογές της προπόνησης ισχύος στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης και στη μέγιστη ισομετρική δύναμη.
- v. Για βελτίωση της μυϊκής ισχύος και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, θα πρέπει η προπόνηση ισχύος, εκτός των ειδικών νευρικών προσαρμογών που προσφέρει, να στοχεύει και στην έστω και μικρή αύξηση της μυϊκής υπερτροφίας ή τουλάχιστον στην διατήρηση της υφιστάμενης μυϊκής υπερτροφίας.
- vi. Όταν σκοπός της προπόνησης είναι η αύξηση της μυϊκής ισχύος, η ήπιας έντασης αερόβια άσκηση θα πρέπει να αποφεύγεται.
- vii. Για βελτίωση της μυϊκής ισχύος και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης, θα πρέπει η προπόνηση που θα πραγματοποιείται να προκαλεί αύξηση της ΤΑ.

6.3.3. Προτάσεις για επόμενες μελέτες, που προκύπτουν από την τρίτη έρευνα

Από τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της δεύτερης έρευνας προκύπτουν οι εξής προτάσεις για επόμενες μελέτες:

- i. Υπάρχει ανάγκη διερεύνηση των προσαρμογών της ΤΑ, καθώς και των μηχανισμών που οδηγούν σε αυτές τις προσαρμογές, μέσα από προγράμματα προπόνησης που στόχο έχουν την μυϊκή υπερτροφία, δύναμη, αντοχή, αντοχή στη ταχυδύναμη.
- ii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των προσαρμογών της ΤΑ, καθώς και των μηχανισμών που οδηγούν σε αυτές τις προσαρμογές, μέσα από τον συνδυασμό προπόνησης αντιστάσεων, που στόχο έχουν την μυϊκή ισχύ, υπερτροφία, δύναμη, αντοχή, αντοχή στη ταχυδύναμη, και της αερόβιας άσκησης διαλλειματικού τύπου.
- iii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των προσαρμογών της ΤΑ, καθώς και των μηχανισμών που οδηγούν σε αυτές τις προσαρμογές, μέσα από τον συνδυασμό προπόνησης αντιστάσεων, που στόχο έχουν την μυϊκή ισχύ, υπερτροφία, δύναμη, αντοχή.
- iv. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των προσαρμογών της ΤΑ, καθώς και των μηχανισμών που οδηγούν σε αυτές τις προσαρμογές, μέσα από τη μακροχρόνια προπόνηση αντιστάσεων, που στόχο έχει την αύξηση της μυϊκής ισχύος, υπερτροφίας, δύναμης, αντοχής, αντοχή στη ταχυδύναμη.
- v. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των προσαρμογών της ΤΑ, καθώς και των μηχανισμών που οδηγούν σε αυτές τις προσαρμογές, μέσα από τη μακροχρόνια προπόνηση αντιστάσεων, που στόχο έχει την αύξηση της μυϊκής ισχύος, υπερτροφίας, δύναμης, αντοχής, αντοχή στη ταχυδύναμη, και της αερόβιας άσκησης διαλλειματικού τύπου.
- vi. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης των μεταβολών στον αριθμό, στην πυκνότητα και στην ποσότητα των 2 τύπων των β-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPάσης}$, μέσα από τα διάφορα είδη συστηματικής προπόνησης.
- vii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης της πιθανής σχέσης μεταξύ των μεταβολών στον αριθμό, στην πυκνότητα και στην ποσότητα των 2 τύπων των β-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPάσης}$ της, με αυτών της ΤΑ και της κατανομής των μυϊκών ινών μέσα από την εφαρμογή προπονητικών πρωτοκόλλων.
- viii. Υπάρχει ανάγκη διερεύνησης της πιθανής επιλεκτικής μεταβολής του αριθμού, της πυκνότητας και των β-ισομορφών των αντλιών $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPάσης}$, σχετίζεται με την μεταβολή του μεγέθους των μυϊκών και αν υπάρχει κάποια διαφορά μεταξύ των ινών τύπου Ια και Ιβ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(2), 61-67.
- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (1998). Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 30(8), 1217-1222.
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., et al. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(6), e298-e307.
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S. P., et al. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol*, 534(Pt. 2), 613-623.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002a). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 93(4), 1318-1326.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002b). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol*, 92(6), 2309-2318.
- Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S. P., & Kjaer, M. (2010). Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports*, 20(1), 49-64.
- Abe, T., Fukashiro, S., Harada, Y., & Kawamoto, K. (2001). Relationship Between Sprint Performance and Muscle Fascicle Length in Female Sprinters. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 20(2), 141-147.
- Abe, T., Harada, Y., Kawamoto, K., & Fukashiro, S. (2011). Relationship Between Body Composition and 100-M Running Time in an Elite Female Sprinter: A 7-Year Retrospective Study. *Medicina Sportiva*, 15(4), 227-229.
- Achten, J., Venables, M. C., & Jeukendrup, A. E. (2003). Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism*, 52(6), 747-752.
- Ackland, T. R., Elliott, B., & Bloomfield, J. (2009). *Applied anatomy and biomechanics in sport*: Human Kinetics Champaign, IL.
- Adams, G. R., Hather, B. M., Baldwin, K. M., & Dudley, G. A. (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol*, 74(2), 911-915.
- Adrian, E. D. (1932). The Mechanism of Nervous Action, Electrical Studies of the Neurone. *The Mechanism of Nervous Action, Electrical Studies of the Neurone*.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development

- during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*, 89(6), 555-563.
- Alegre, L. M., Lara, A. J., Elvira, J. L., & Aguado, X. (2009). Muscle morphology and jump performance: gender and intermuscular variability. *J Sports Med Phys Fitness*, 49(3), 320-326.
- Alexander, R. M. (2007). Biomechanics: stable running. *Curr Biol*, 17(7), R253-255.
- Alkner, B. A., Tesch, P. A., & Berg, H. E. (2000). Quadriceps EMG/force relationship in knee extension and leg press. *Med Sci Sports Exerc*, 32(2), 459-463.
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve*, 23(7), 1095-1104.
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2010). Effects of strength training on muscle fiber types and size; consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scand J Med Sci Sports*, 20 Suppl 2, 32-38.
- Andersen, J. L., Klitgaard, H., & Saltin, B. (1994). Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 151(2), 135-142.
- Andersen, L. L., & Aagaard, P. (2006). Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol*, 96(1), 46-52.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J. L., Christensen, L. R., et al. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol*, 99(1), 87-94.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Zebis, M. K., & Aagaard, P. (2010). Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), e162-e169.
- Andersen, L. L., Magnusson, S. P., Nielsen, M., Haleem, J., Poulsen, K., & Aagaard, P. (2006). Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. *Physical therapy*, 86(5), 683-697.
- Andersen, P., & Henriksson, J. (1977). Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibres. *Acta Physiol Scand*, 99(1), 123-125.
- Andreassen, S., & Arendt-Nielsen, L. (1987). Muscle fibre conduction velocity in motor units of the human anterior tibial muscle: a new size principle parameter. *The Journal of Physiology*, 391(1), 561-571.
- Antonio, J., & Gonyea, W. J. (1993). Skeletal muscle fiber hyperplasia. *Med Sci Sports Exerc*, 25(12), 1333-1345.
- Arendt-Nielsen, L., Gantchev, N., & Sinkjaer, T. (1992). The influence of muscle length on muscle fibre conduction velocity and development of muscle fatigue. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 85(3), 166-172.
- Arendt-Nielsen, L., & Mills, K. R. (1985). The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fibre conduction velocity. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 60(2), 130-134.

- Arendt-Nielsen, L., & Mills, K. R. (1988). Muscle fibre conduction velocity, mean power frequency, mean EMG voltage and force during submaximal fatiguing contractions of human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58(1-2), 20-25.
- Arendt-Nielsen, L., Mills, K. R., & Forster, A. (1989). Changes in muscle fiber conduction velocity, mean power frequency, and mean EMG voltage during prolonged submaximal contractions. *Muscle Nerve*, 12(6), 493-497.
- Arendt-Nielsen, L., & Zwarts, M. (1989). Measurement of muscle fiber conduction velocity in humans: techniques and applications. *J Clin Neurophysiol*, 6(2), 173-190.
- Atherton, P. J., Babraj, J., Smith, K., Singh, J., Rennie, M. J., & Wackerhage, H. (2005). Selective activation of AMPK-PGC-1 α or PKB-TSC2-mTOR signaling can explain specific adaptive responses to endurance or resistance training-like electrical muscle stimulation. *FASEB J*, 19(7), 786-788.
- Atherton, P. J., Szewczyk, N. J., Selby, A., Rankin, D., Hillier, K., Smith, K., et al. (2009). Cyclic stretch reduces myofibrillar protein synthesis despite increases in FAK and anabolic signalling in L6 cells. *J Physiol*, 587(Pt 14), 3719-3727.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33(12), 889-919.
- Aughey, R. J., Murphy, K. T., Clark, S. A., Garnham, A. P., Snow, R. J., Cameron-Smith, D., et al. (2007a). Muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *Journal of applied physiology*, 103(1), 39-47.
- Aughey, R. J., Murphy, K. T., Clark, S. A., Garnham, A. P., Snow, R. J., Cameron-Smith, D., et al. (2007b). Muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *J Appl Physiol* (1985), 103(1), 39-47.
- Baar, K., & Esser, K. (1999). Phosphorylation of p70(S6k) correlates with increased skeletal muscle mass following resistance exercise. *Am J Physiol*, 276(1 Pt 1), C120-127.
- Baechle, T. R. (2004). *NSCA's Essentials of Personal Training: National Strength and Conditioning Association; Roger W. Earle and Thomas R. Baechle (editors)*: Human Kinetics Publishers.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning (3rd Ed.)*. Champaign, IL: Human kinetics.
- Ball, S. D., Altena, T. S., & Swan, P. D. (2004). Comparison of anthropometry to DXA: a new prediction equation for men. *Eur J Clin Nutr*, 58(11), 1525-1531.
- Bandy, W. D., & Hanten, W. P. (1993). Changes in torque and electromyographic activity of the quadriceps femoris muscles following isometric training. *Physical Therapy*, 73(7), 455-465.

- Bangsbo, J., Gunnarsson, T. P., Wendell, J., Nybo, L., & Thomassen, M. (2009). Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na⁺-K⁺ pump α 2-subunit expression as well as short-and long-term work capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1771-1780.
- Bartlett, J. D., Joo, C. H., Jeong, T.-S., Louhelainen, J., Cochran, A. J., Gibala, M. J., et al. (2012). Matched work high-intensity interval and continuous running induce similar increases in PGC-1 α mRNA, AMPK, p38, and p53 phosphorylation in human skeletal muscle. *Journal of applied physiology*, 112(7), 1135-1143.
- Baumann, H., Jaggi, M., Soland, F., Howald, H., & Schaub, M. C. (1987). Exercise training induces transitions of myosin isoform subunits within histochemically typed human muscle fibres. *Pflugers Arch*, 409(4-5), 349-360.
- Bean, J. F., Leveille, S. G., Kiely, D. K., Bandinelli, S., Guralnik, J. M., & Ferrucci, L. (2003). A Comparison of Leg Power and Leg Strength Within the InCHIANTI Study: Which Influences Mobility More? *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(8), M728-M733.
- Beck, T. W. (2013). The importance of a priori sample size estimation in strength and conditioning research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(8), 2323-2337.
- Beck, T. W., Housh, T. J., Johnson, G. O., Weir, J. P., Cramer, J. T., Coburn, J. W., et al. (2004). Mechanomyographic amplitude and mean power frequency versus torque relationships during isokinetic and isometric muscle actions of the biceps brachii. *J Electromyogr Kinesiol*, 14(5), 555-564.
- Benders, A., Wevers, R., & Veerkamp, J. (1996). Ion transport in human skeletal muscle cells: disturbances in myotonic dystrophy and Brody's disease. *Acta physiologica scandinavica*, 156(3), 355-367.
- Benziane, B., Burton, T. J., Scanlan, B., Galuska, D., Canny, B. J., Chibalin, A. V., et al. (2008). Divergent cell signaling after short-term intensified endurance training in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 295(6), E1427-1438.
- Berent, R., von Duvillard, S. P., Crouse, S. F., Sinzinger, H., Green, J. S., & Schmid, P. (2011). Resistance training dose response in combined endurance-resistance training in patients with cardiovascular disease: a randomized trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 92(10), 1527-1533.
- Bergstrom, J. (1962). Muscle electrolytes in man determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation (England)*, 14(68), 110.
- Billeter, R., Jostarndt-Fogen, K., Gunthor, W., & Hoppeler, H. (2003). Fiber type characteristics and myosin light chain expression in a world champion shot putter. *Int J Sports Med*, 24(3), 203-207.
- Bishop, D. (2003). Warm Up II: Performance Changes Following Active Warm Up and How to Structure the Warm Up. *Sports Medicine*, 33(7), 483-498.

- Blair, E., & Erlanger, J. (1933). A comparison of the characteristics of axons through their individual electrical responses. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 106(3), 524-564.
- Bland, M. J., & Altman, D., G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307-310.
- Blaustein, M. P., & Lederer, W. J. (1999). Sodium/calcium exchange: its physiological implications. *Physiological reviews*, 79(3), 763-854.
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Coleman, D. R., & Horne, S. (2007). Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *Journal of Applied Physiology*, 103(5), 1565-1575.
- Blijham, P. J. (2007). *Determinants and clinical application of muscle fibre conduction velocity*. RU Radboud Universiteit Nijmegen, Groningen.
- Blijham, P. J., Hengstman, G. D., Ter Laak, H. J., Van Engelen, B. G., & Zwarts, M. J. (2004a). Muscle-fiber conduction velocity and electromyography as diagnostic tools in patients with suspected inflammatory myopathy: A prospective study. *Muscle & Nerve*, 29(1), 46-50.
- Blijham, P. J., Hengstman, G. D., Ter Laak, H. J., Van Engelen, B. M., & Zwarts, M. J. (2004b). Muscle-fiber conduction velocity and electromyography as diagnostic tools in patients with suspected inflammatory myopathy: A prospective study. *Muscle & nerve*, 29(1), 46-50.
- Blijham, P. J., Hengstman, G. J., Ter Laak, H. J., Van Engelen, B. G., & Zwarts, M. J. (2004c). Muscle-fiber conduction velocity and electromyography as diagnostic tools in patients with suspected inflammatory myopathy: a prospective study. *Muscle Nerve*, 29(1), 46-50.
- Blijham, P. J., Schelhaas, H. J., Ter Laak, H. J., Van Engelen, B. G., & Zwarts, M. J. (2007). Early diagnosis of ALS: The search for signs of denervation in clinically normal muscles. *Journal of the Neurological Sciences*, 263(1-2), 154-157.
- Blijham, P. J., Ter Laak, H. J., Schelhaas, H. J., Van Engelen, B. G., Stegeman, D. F., & Zwarts, M. J. (2006). Relation between muscle fiber conduction velocity and fiber size in neuromuscular disorders. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 1837-1841.
- Blijham, P. J., van Engelen, B. G., Drost, G., Stegeman, D. F., Schelhaas, H. J., & Zwarts, M. J. (2011). Diagnostic yield of muscle fibre conduction velocity in myopathies. *J Neurol Sci*, 309(1-2), 40-44.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19(4), 332-338.
- Bobbert, M. F., & van Zandwijk, J. P. (1999). Dynamics of force and muscle stimulation in human vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 31(2), 303-310.
- Bompa, T. O., & Haff, G. G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training*: Human Kinetics Publishers.

- Bonomi, A. G., Plasqui, G., Goris, A. H., & Westerterp, K. R. (2009). Improving assessment of daily energy expenditure by identifying types of physical activity with a single accelerometer. *Journal of Applied Physiology*, 107(3), 655-661.
- Borg, G. A. v. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Bosco, C., Ito, A., Komi, P. V., Luhtanen, P., Rahkila, P., Rusko, H., et al. (1982). Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol Scand*, 114(4), 543-550.
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol Scand*, 106(4), 467-472.
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1980). Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 45(2-3), 209-219.
- Bosco, C., Komi, P. V., Tihanyi, J., Fekete, G., & Apor, P. (1983). Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 51(1), 129-135.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50(2), 273-282.
- Bosquet, L., Berryman, N., Dupuy, O., Mekary, S., Arvisais, D., Bherer, L., et al. (2013). Effect of training cessation on muscular performance: A meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*, 23(3), e140-149.
- Bosquet, L., Léger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine*, 32(11), 675-700.
- Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., & Reggiani, C. (1996). Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *J Physiol*, 495 (Pt 2), 573-586.
- Bouchard, C., Thibault, M. C., & Jobin, J. (1981). Advances in selected areas of human work physiology. *American Journal of Physical Anthropology*, 24(S2), 1-36.
- Brody, L., Pollock, M. T., Roy, S. H., De Luca, C., & Celli, B. (1991). pH-induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal. *J Appl Physiol*, 71(5), 1878-1885.
- Broman, H., Bilotto, G., & De Luca, C. J. (1985a). Myoelectric signal conduction velocity and spectral parameters: influence of force and time. *J Appl Physiol*, 58(5), 1428-1437.
- Broman, H., Bilotto, G., & De Luca, C. J. (1985b). Myoelectric signal conduction velocity and spectral parameters: influence of force and time. *J Appl Physiol*, 58(5), 1428-1437.
- Brooke, M. H., & Engel, W. K. (1969). The histographic analysis of human muscle biopsies with regard to fiber types. 1. Adult male and female. *Neurology*, 19(3), 221-233.
- Brooke, M. H., & Kaiser, K. K. (1970a). Muscle Fiber Types: How Many and What Kind? *Arch Neurol*, 23(4), 369-379.

- Brooke, M. H., & Kaiser, K. K. (1970b). Three "myosin adenosine triphosphatase" systems: the nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 18(9), 670-672.
- Brown, P. I., Hughes, M. G., & Tong, R. J. (2008). The effect of warm-up on high-intensity, intermittent running using nonmotorized treadmill ergometry. *J Strength Cond Res*, 22(3), 801-808.
- Brown, T., Galea, V., & McComas, A. J. (1996). Muscle shortening, response latency, and conduction velocity. *Muscle & Nerve*, 19(11), 1493-1495.
- Bruton, A., Conway, J. H., & Holgate, S. T. (2000). Reliability: what is it, and how is it measured? *Physiotherapy*, 86(2), 94-99.
- Buchthal, F., & Engbæk, L. (1963). Refractory Period and Conduction Velocity of the Striated Muscle Fibre. *Acta Physiologica Scandinavica*, 59(3), 199-220.
- Buchthal, F., Guld, C., & Rosenfalck, P. (1955a). Innervation zone and propagation velocity in human muscle. *Acta Physiol Scand*, 35(2), 174-190.
- Buchthal, F., Guld, C., & Rosenfalck, P. (1955b). Propagation velocity in electrically activated muscle fibres in man. *Acta Physiol Scand*, 34(1), 75-89.
- Buchthal, F., & Sten-Knudsen, O. (1959). Impulse propagation in striated muscle fibers and the role of the internal currents in activation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 81(2), 422-445.
- Buchthal, F., & Sten-Knudsen, O. (1959). Impulse propagation in striated muscle fibers and the role of the internal currents in activation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 81(2), 422-445.
- Cadefau, J., Casademont, J., Grau, J. M., Fernandez, J., Balaguer, A., Vernet, M., et al. (1990). Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol Scand*, 140(3), 341-351.
- Cadore, E. L., Gonzalez-Izal, M., Pallares, J. G., Rodriguez-Falces, J., Hakkinen, K., Kraemer, W. J., et al. (2014). Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. *Scand J Med Sci Sports*.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*, 88(1-2), 50-60.
- Cardinale, M., Newton, R., & Nosaka, K. (2011). *Strength and Conditioning: Biological Principles and Practical Applications*: Wiley. com.
- Carraro, F., Stuart, C. A., Hartl, W. H., Rosenblatt, J., & Wolfe, R. R. (1990). Effect of exercise and recovery on muscle protein synthesis in human subjects. *Am J Physiol*, 259(4 Pt 1), E470-476.
- Caserotti, P., Aagaard, P., Buttrup Larsen, J., & Puggaard, L. (2008). Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(6), 773-782.
- Chelly, M., Cherif, N., Amar, M., Hermassi, S., Fathloun, M., Bouhlel, E., et al. (2010). Relationships of peak leg power, 1 maximal repetition half back

- squat, and leg muscle volume to 5-m sprint performance of junior soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(1), 266-271.
- Chelly, M., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33(2), 326-333.
- Chen, Z. P., Stephens, T. J., Murthy, S., Canny, B. J., Hargreaves, M., Witters, L. A., et al. (2003). Effect of exercise intensity on skeletal muscle AMPK signaling in humans. *Diabetes*, 52(9), 2205-2212.
- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G., & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(1-2), 170-175.
- Chino, N., Noda, Y., & Oda, N. (1984). Conduction study in human muscle fibers in situ—a useful technique for diagnosing myopathies. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 58(6), 513-516.
- Clarkson, P. M., Kroll, W., & McBride, T. C. (1980). Maximal isometric strength and fiber type composition in power and endurance athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 44(1), 35-42.
- Clausen, T. (1986). Regulation of active Na⁺-K⁺ transport in skeletal muscle. *Physiol Rev*, 66(3), 542-580.
- Clausen, T. (2003a). Effects of age and exercise training on Na⁺-K⁺ pumps in skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 285(4), R720-R721.
- Clausen, T. (2003b). Na⁺-K⁺ pump regulation and skeletal muscle contractility. *Physiological Reviews*, 83(4), 1269-1324.
- Coffey, V. G., Pilegaard, H., Garnham, A. P., O'Brien, B. J., & Hawley, J. A. (2009). Consecutive bouts of diverse contractile activity alter acute responses in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 106(4), 1187-1197.
- Coffey, V. G., Zhong, Z., Shield, A., Canny, B. J., Chibalin, A. V., Zierath, J. R., et al. (2006). Early signaling responses to divergent exercise stimuli in skeletal muscle from well-trained humans. *FASEB J*, 20(1), 190-192.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Collins, K., Rooney, B. L., Smalley, K. J., & Havens, S. (2004). Functional fitness, disease and independence in community-dwelling older adults in western Wisconsin. *WMJ*, 103(1), 42-48.
- Connelly, D. M., Rice, C. L., Roos, M. R., & Vandervoort, A. A. (1999). Motor unit firing rates and contractile properties in tibialis anterior of young and old men. *J Appl Physiol*, 87(2), 843-852.
- Connes, P., Hue, O., & Perrey, S. (2010). *Exercise Physiology: From a Cellular to an Integrative Approach* (Vol. 75): IOS Press.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1582-1598.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 41(1), 17-38.

- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41(2), 125-146.
- Costantin, L. L. (2011). Activation in Striated Muscle *Comprehensive Physiology*: John Wiley & Sons, Inc.
- Costill, D. L., Coyle, E. F., Fink, W. F., Lesmes, G. R., & Witzmann, F. A. (1979). Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J Appl Physiol*, 46(1), 96-99.
- Costill, D. L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol*, 40(2), 149-154.
- Crowther, G. J., Jubrias, S. A., Gronka, R. K., & Conley, K. E. (2002). A "functional biopsy" of muscle properties in sprinters and distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(11), 1719-1724.
- Cruz-Martinez, A., & Arpa, J. (1999). Muscle fiber conduction velocity in situ (MFCV) in denervation, reinnervation and disuse atrophy. *Acta Neurol Scand*, 100(5), 337-340.
- Cruz, M. A. (1988). Conduction velocity in human muscle fibers in situ. Study in upper and lower limbs in healthy adults. *Electromyography and clinical Neurophysiology*, 29(6), 363-368.
- Cruz, M. A., & Lopez, T. J. (1990). Conduction velocity along muscle fibers in situ in Duchenne muscular dystrophy. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 71(8), 558-561.
- Daube, J. R., & Rubin, D. I. (2009a). Needle electromyography. *Muscle Nerve*, 39(2), 244-270.
- Daube, J. R., & Rubin, D. I. (2009b). Needle electromyography. *Muscle & nerve*, 39(2), 244-270.
- Davies, C. T., Wemyss-Holden, J., & Young, K. (1984). Measurement of short term power output: comparison between cycling and jumping. *Ergonomics*, 27(3), 285-296.
- De Ruiter, C., & De Haan, A. (2000). Temperature effect on the force/velocity relationship of the fresh and fatigued human adductor pollicis muscle. *Pflügers Archiv*, 440(1), 163-170.
- DeFreitas, J. M., Beck, T. W., Stock, M. S., Dillon, M. A., Sherk, V. D., Stout, J. R., et al. (2010). A comparison of techniques for estimating training-induced changes in muscle cross-sectional area. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2383-2389.
- Dela, F., Holten, M., & Juel, C. (2004). Effect of resistance training on Na, K pump and Na⁺/H⁺ exchange protein densities in muscle from control and patients with type 2 diabetes. *Pflügers Archiv*, 447(6), 928-933.
- Deshpande, S., Gormley, M. E., & Carey, J. R. (2006). Muscle fiber orientation in muscles commonly injected with botulinum toxin: an anatomical pilot study. *Neurotoxicity research*, 9(2-3), 115-120.
- Di Donato, D. M. (2012). Aerobic Exercise Intensity Affects Skeletal Muscle Myofibrillar Protein Synthesis and Anabolic Signaling in Young Men.
- Dick, F. W. (2002). *Sports training principles* (4th ed.). London: A and C Black.

- Ditor, D., Hamilton, S., Tarnopolsky, M., Green, H., Craven, B., Parise, G., et al. (2004). Na⁺, K⁺-ATPase concentration and fiber type distribution after spinal cord injury. *Muscle & nerve*, 29(1), 38-45.
- Dolezal, B. A., & Potteiger, J. A. (1998). Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. *J Appl Physiol*, 85(2), 695-700.
- Donges, C. E., Burd, N. A., Duffield, R., Smith, G. C., West, D. W., Short, M. J., et al. (2012). Concurrent resistance and aerobic exercise stimulates both myofibrillar and mitochondrial protein synthesis in sedentary middle-aged men. *J Appl Physiol* (1985), 112(12), 1992-2001.
- Dørup, I., Skajaa, K., Clausen, T., & Kjeldsen, K. (1988). Reduced concentrations of potassium, magnesium, and sodium-potassium pumps in human skeletal muscle during treatment with diuretics. *British medical journal (Clinical research ed.)*, 296(6620), 455.
- Dries, N. (2013). The psychology of talent management: A review and research agenda. *Human Resource Management Review*, 23(4), 272-285.
- Drust, B., Rasmussen, P., Mohr, M., Nielsen, B., & Nybo, L. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 183(2), 181-190.
- Dubowitz, V. (1974). Muscle biopsy--technical and diagnostic aspects. *Ann Clin Res*, 6(2), 69-79.
- Dubowitz, V., & Sewry, C. A. (2007). *Muscle Biopsy, a Practical Approach* (3rd ed.). Philadelphia,USA: Elsevier.
- Duchateau, J., Semmler, J. G., & Enoka, R. M. (2006). Training adaptations in the behavior of human motor units. *J Appl Physiol* (1985), 101(6), 1766-1775.
- Dugan, S. A., & Bhat, K. P. (2005). Biomechanics and analysis of running gait. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 16(3), 603-621.
- Earp, J. E., Joseph, M., Kraemer, W. J., Newton, R. U., Comstock, B. A., Fragala, M. S., et al. (2010). Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *J Strength Cond Res*, 24(3), 722-729.
- Eberstein, A., & Beattie, B. (1985). Simultaneous measurement of muscle conduction velocity and EMG power spectrum changes during fatigue. *Muscle & nerve*, 8(9), 768-773.
- Egan, B., Carson, B. P., Garcia-Roves, P. M., Chibalin, A. V., Sarsfield, F. M., Barron, N., et al. (2010). Exercise intensity-dependent regulation of peroxisome proliferator-activated receptor coactivator-1 mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle. *J Physiol*, 588(Pt 10), 1779-1790.
- Elias, L. J., Bryden, M. P., & Bulman-Fleming, M. B. (1998). Footedness is a better predictor than is handedness of emotional lateralization. *Neuropsychologia*, 36(1), 37-43.
- Engel, A. G., & Franzini-Armstrong, C. (1994). *Myology basic and clinical*. New York: McGraw-Hill.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement*: Human Kinetics Publishers.

- Enoka, R. M., & Fuglevand, A. J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle & Nerve*, 24(1), 4-17.
- Erlanger, J., & Gasser, H. S. (1937). Electrical signs of nervous activity.
- Erskine, R. M., Fletcher, G., & Folland, J. P. (2014). The contribution of muscle hypertrophy to strength changes following resistance training. *Eur J Appl Physiol*.
- Evans, W. J., Phinney, S. D., & Young, V. R. (1982). Suction applied to a muscle biopsy maximizes sample size. *Med Sci Sports Exerc*, 14(1), 101-102.
- Falla, D., & Farina, D. (2005). Muscle fiber conduction velocity of the upper trapezius muscle during dynamic contraction of the upper limb in patients with chronic neck pain. *Pain*, 116(1), 138-145.
- Farina, D., Arendt-Nielsen, L., & Graven-Nielsen, T. (2005a). Effect of temperature on spike-triggered average torque and electrophysiological properties of low-threshold motor units. *Journal of Applied Physiology*, 99(1), 197-203.
- Farina, D., Arendt-Nielsen, L., & Graven-Nielsen, T. (2005b). Spike-triggered average torque and muscle fiber conduction velocity of low-threshold motor units following submaximal endurance contractions. *Journal of Applied Physiology*, 98(4), 1495-1502.
- Farina, D., Ferguson, R. A., Macaluso, A., & De Vito, G. (2007). Correlation of average muscle fiber conduction velocity measured during cycling exercise with myosin heavy chain composition, lactate threshold, and VO₂max. *J Electromyogr Kinesiol*, 17(4), 393-400.
- Farina, D., Gazzoni, M., & Camelia, F. (2005). Conduction velocity of low-threshold motor units during ischemic contractions performed with surface EMG feedback. *J Appl Physiol* (1985), 98(4), 1487-1494.
- Farina, D., Macaluso, A., Ferguson, R. A., & De Vito, G. (2004). Effect of power, pedal rate, and force on average muscle fiber conduction velocity during cycling. *J Appl Physiol*, 97(6), 2035-2041.
- Farina, D., Pozzo, M., Merlo, E., Bottin, A., & Merletti, R. (2004). Assessment of average muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions. *IEEE Trans Biomed Eng*, 51(8), 1383-1393.
- Farina, D., Zagari, D., Gazzoni, M., & Merletti, R. (2004). Reproducibility of muscle fiber conduction velocity estimates using multichannel surface EMG techniques. *Muscle & Nerve*, 29(2), 282-291.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175-191.
- Felici, F. (2006). Neuromuscular responses to exercise investigated through surface EMG. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(6), 578-585.
- Ferketich, A. K., Kirby, T. E., & Alway, S. E. (1998). Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiol Scand*, 164(3), 259-267.
- Fielding, R. A., LeBrasseur, N. K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K., & Fiatarone Singh, M. A. (2002). High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*, 50(4), 655-662.

- Fitts, R. H., McDonald, K. S., & Schluter, J. M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *Journal of biomechanics*, 24, 111-122.
- Fitts, R. H., & Widrick, J. J. (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exerc Sport Sci Rev*, 24, 427-473.
- Fleck, J., & Kraemer, W. (2009). *Designing Resistance training programs*. 3rd Edition. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Foldvari, M., Clark, M., Laviolette, L. C., Bernstein, M. A., Kaliton, D., Castaneda, C., et al. (2000). Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(4), M192-199.
- Fowles, J. R., Green, H. J., & Ouyang, J. (2004). Na⁺-K⁺-ATPase in rat skeletal muscle: content, isoform, and activity characteristics. *J Appl Physiol* (1985), 96(1), 316-326.
- Fry, A. C., Schilling, B. K., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., & Thrush, J. T. (2003). Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res*, 17(4), 746-754.
- Fyfe, J. J., Bishop, D. J., & Stepto, N. K. (2014). Interference between Concurrent Resistance and Endurance Exercise: Molecular Bases and the Role of Individual Training Variables. *Sports Medicine*, 44(6), 743-762.
- Garlie, T. N., Obusek, J. P., Corner, B. D., & Zambraski, E. J. (2010). Comparison of body fat estimates using 3D digital laser scans, direct manual anthropometry, and DXA in men. *Am J Hum Biol*, 22(5), 695-701.
- Gasser, H. S., & Erlanger, J. (1929). The role of fiber size in the establishment of a nerve block by pressure or cocaine. *American Journal of Physiology--Legacy Content*, 88(4), 581-591.
- Gastin, P. B. (1994). Quantification of anaerobic capacity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 4(2), 91-112.
- Gavin, T. P., Ruster, R. S., Carrithers, J. A., Zwetsloot, K. A., Kraus, R. M., Evans, C. A., et al. (2007). No difference in the skeletal muscle angiogenic response to aerobic exercise training between young and aged men. *The Journal of Physiology*, 585(1), 231-239.
- Gechev, A., Ilieva, E., Marinkev, M., & Hadjigeorgiev, G. (2003). Diagnostic value of the muscle fiber conduction velocity for evaluation of muscle hypotrophy. *Folia medica*, 46(3), 41-46.
- Gehlert, S., Weber, S., Weidmann, B., Gutsche, K., Platen, P., Graf, C., et al. (2012). Cycling exercise-induced myofiber transitions in skeletal muscle depend on basal fiber type distribution. *Eur J Appl Physiol*, 112(7), 2393-2402.
- Gerdle, B., Henriksson-Larsen, K., Lorentzon, R., & Wretling, M. L. (1991). Dependence of the mean power frequency of the electromyogram on muscle force and fibre type. *Acta Physiol Scand*, 142(4), 457-465.
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*, 36(2), 58-63.

- Gibson, A. S. C., Lambert, M. I., & Noakes, T. D. (2001). Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Medicine*, 31(9), 637-650.
- Glass, S., & Dwyer, G. B. (2007). *ACSM's metabolic calculations handbook*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Gonzalez-Izal, M., Cadore, E. L., & Izquierdo, M. (2014). Muscle conduction velocity, surface electromyography variables, and echo intensity during concentric and eccentric fatigue. *Muscle & Nerve*, 49(3), 389-397.
- Gordon, N. (2009). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*: Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Gray, S. R., De Vito, G., Nimmo, M. A., Farina, D., & Ferguson, R. A. (2006). Skeletal muscle ATP turnover and muscle fiber conduction velocity are elevated at higher muscle temperatures during maximal power output development in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 290(2), R376-382.
- Green, H., Burnett, M., Kollias, H., Ouyang, J., Smith, I., & Tupling, S. (2012). Can increases in capillarization explain the early adaptations in metabolic regulation in human muscle to short-term training? [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Can J Physiol Pharmacol*, 90(5), 557-566.
- Green, H., Chin, E. R., Ball-Burnett, M., & Ranney, D. (1993). Increases in human skeletal muscle Na (+)-K (+)-ATPase concentration with short-term training. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 264(6), C1538-C1541.
- Green, H., Dahly, A., Shoemaker, K., Goreham, C., Bombardier, E., & Ball-Burnett, M. (1999). Serial effects of high-resistance and prolonged endurance training on Na⁺-K⁺ pump concentration and enzymatic activities in human vastus lateralis. *Acta physiologica scandinavica*, 165(2), 177-184.
- Green, H., Goreham, C., Ouyang, J., Ball-Burnett, M., & Ranney, D. (1999). Regulation of fiber size, oxidative potential, and capillarization in human muscle by resistance exercise. *Am J Physiol*, 276(2 Pt 2), R591-596.
- Gregor, R. J., Edgerton, V. R., Perrine, J. J., Campion, D. S., & DeBus, C. (1979). Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *J Appl Physiol*, 47(2), 388-392.
- Griffin, L., Godfrey, S., & Thomas, C. K. (2002). Stimulation pattern that maximizes force in paralyzed and control whole thenar muscles. *Journal of neurophysiology*, 87(5), 2271-2278.
- Gruber, M., & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*, 92(1-2), 98-105.
- Gydikov, A., & Kosarov, D. (1972). The influence of various factors on the shape of the myopotentials in using monopolar electrodes. *Electromyography and clinical Neurophysiology*, 13(3), 319-343.
- Hackney, A. C., & Viru, A. (2008). Research methodology: endocrinologic measurements in exercise science and sports medicine. *Journal of athletic training*, 43(6), 631.

- Haddad, F., & Adams, G. R. (2002). Selected contribution: acute cellular and molecular responses to resistance exercise. *J Appl Physiol*, 93(1), 394-403.
- Hakansson, C. (1956). Conduction velocity and amplitude of the action potential as related to circumference in the isolated fibre of frog muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 37(1), 14-34.
- Hakansson, C. (1957). Action potential and mechanical response of isolated cross striated frog muscle fibres at different degrees of stretch. *Acta Physiologica Scandinavica*, 41(2-3), 199-216.
- Hakkinen, K. (1989). Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness*, 29(1), 9-26.
- Hakkinen, K., Aien, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 573-585.
- Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(2), 97-105.
- Hakkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., et al. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol*, 89(1), 42-52.
- Hakkinen, K., & Keskinen, K. L. (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 59(3), 215-220.
- Hakkinen, K., Komi, P. V., & Aien, M. (1985). Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 587-600.
- Hakkinen, K., Kraemer, W. J., Newton, R. U., & Alen, M. (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand*, 171(1), 51-62.
- Hakkinen, K., Newton, R. U., Gordon, S. E., McCormick, M., Volek, J. S., Nindl, B. C., et al. (1998). Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 53(6), B415-423.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol*, 65(6), 2406-2412.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., & Kallinen, M. (1992). Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 64(2), 106-111.
- Haller, R. G., Clausen, T., & Vissing, J. (1998). Reduced levels of skeletal muscle Na⁺ K⁺-ATPase in McArdle disease. *Neurology*, 50(1), 37-40.

- Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2006). *Biomechanical Basis of Human Movement with Motion Analysis Software*: Lippincott Williams & Wilkins.
- Hanayama, K. (1994). Recovery of conduction velocity of muscle fiber action potential after strenuous isometric contraction. [Comparative Study]. *Jpn J Physiol*, 44(1), 75-88.
- Hanson, J. (1974). The effects of repetitive stimulation on the action potential and the twitch of rat muscle. *Acta physiologica Scandinavica*, 90(2), 387-400.
- Harber, M. P., Crane, J. D., Dickinson, J. M., Jemiolo, B., Raue, U., Trappe, T. A., et al. (2009). Protein synthesis and the expression of growth-related genes are altered by running in human vastus lateralis and soleus muscles. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 296(3), R708-714.
- Harber, M. P., Konopka, A. R., Douglass, M. D., Minchev, K., Kaminsky, L. A., Trappe, T. A., et al. (2009). Aerobic exercise training improves whole muscle and single myofiber size and function in older women. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 297(5), R1452-1459.
- Hardie, D. G. (2005). New roles for the LKB1-->AMPK pathway. *Curr Opin Cell Biol*, 17(2), 167-173.
- Hardie, D. G. (2008). Role of AMP-activated protein kinase in the metabolic syndrome and in heart disease. *FEBS Lett*, 582(1), 81-89.
- Hardie, D. G., Hawley, S. A., & Scott, J. W. (2006). AMP-activated protein kinase--development of the energy sensor concept. *The Journal of physiology*, 574(1), 7-15.
- Harridge, S. D. (1996). The muscle contractile system and its adaptation to training. *Medicine and Sport Science*, 41, 82-94.
- Harridge, S. D., Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M. A., Reggiani, C., Esbjornsson, M., et al. (1996). Whole-muscle and single-fibre contractile properties and myosin heavy chain isoforms in humans. *Pflugers Arch*, 432(5), 913-920.
- Harris, G. D. (2009). Exercise Testing Special Protocols. In C. Evans & R. White (Eds.), *Exercise Stress Testing for Primary Care and Sports Medicine* (pp. 45-54): Springer New York.
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Relationship Between Sprint Times and the Strength/Power Outputs of a Machine Squat Jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 691-698.
- Hassanlouei, H., Falla, D., Arendt-Nielsen, L., & Kersting, U. G. (2014). The Effect of Six Weeks Endurance Training on Dynamic Muscular Control of the Knee Following Fatiguing Exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
- Hautier, C. A., Linossier, M. T., Belli, A., Lacour, J. R., & Arsac, L. M. (1996). Optimal velocity for maximal power production in non-isokinetic cycling is related to muscle fibre type composition. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74(1-2), 114-118.
- Hawley, J. A. (2009). Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? *Appl Physiol Nutr Metab*, 34(3), 355-361.

- He, Z. H., Bottinelli, R., Pellegrino, M. A., Ferenczi, M. A., & Reggiani, C. (2000). ATP consumption and efficiency of human single muscle fibers with different myosin isoform composition. *Biophys J*, 79(2), 945-961.
- Hedayatpour, N., Arendt-Nielsen, L., & Farina, D. (2007). Motor unit conduction velocity during sustained contraction of the vastus medialis muscle. *Exp Brain Res*, 180(3), 509-516.
- Hendelman, W. (2005). *Atlas of functional neuroanatomy*: CRC.
- Herzog, W. (2008). Mechanical Properties and Performance in Skeletal Muscles *Biomechanics in Sport* (pp. 21-32): Blackwell Science Ltd.
- Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A., & Spears, I. (2008). Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med*, 38(12), 995-1008.
- Hieronymus, K. E. (1913). Über die Geschwindigkeit der Erregungsleitung im ungedehnten Muskel. *Z. Biol.*, 60, 29-40.
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., 3rd, & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol*, 81(5), 2173-2181.
- Hikida, R. S., Staron, R. S., Hagerman, F. C., Walsh, S., Kaiser, E., Shell, S., et al. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. II. Muscle fiber characteristics and nucleo-cytoplasmic relationships. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(7), B347-354.
- Hodes, R., Larrabee, M., & German, W. (1948). The human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons: studies on normal and on injured peripheral nerves. *Archives of Neurology & Psychiatry*, 60(4), 340-365.
- Hodgkin, A. (1937). Evidence for electrical transmission in nerve. *The Journal of physiology*, 90(2), 183-210.
- Hodgkin, A. (1954). A note on conduction velocity. *The Journal of Physiology*, 125(1), 221-224.
- Hodgkin, A., & Nakajima, S. (1972). The effect of diameter on the electrical constants of frog skeletal muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 221(1), 105.
- Hoffman, J. (2012). *NSCA's Guide to Program Design: Human Kinetics*.
- Hoffmann, P. (1913). Über die Leitungsgeschwindigkeit der Erregung im quergestreiften Muskel bei Kontraktion und Ruhe. *Z. Biol.*, 59, 1-16.
- Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., et al. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *J Appl Physiol*, 105(5), 1454-1461.
- Holm, L., van Hall, G., Rose, A. J., Miller, B. F., Doessing, S., Richter, E. A., et al. (2010). Contraction intensity and feeding affect collagen and myofibrillar protein synthesis rates differently in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 298(2), E257-269.
- Holtermann, A., Roeleveld, K., Engstrøm, M., & Sand, T. (2007). Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 301-312.

- Holtermann, A., Roeleveld, K., Vereijken, B., & Ettema, G. (2007). The effect of rate of force development on maximal force production: acute and training-related aspects. *Eur J Appl Physiol*, 99(6), 605-613.
- Hopf, H., Herbort, R.-L., Gnass, M., Günther, H., & Lowitzsch, K. (1974). Fast and slow contraction times associated with fast and slow spike conduction of skeletal muscle fibres in normal subjects and in spastic hemiparesis. *Zeitschrift für Neurologie*, 206(3), 193-202.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports medicine*, 30(1), 1-15.
- Housh, D. J., Housh, T. J., Weir, J. P., Weir, L. L., Johnson, G. O., & Stout, J. R. (1995). Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. *Med Sci Sports Exerc*, 27(5), 784-791.
- Houtman, C. J., Stegeman, D. F., Van Dijk, J. P., & Zwarts, M. J. (2003). Changes in muscle fiber conduction velocity indicate recruitment of distinct motor unit populations. *J Appl Physiol* (1985), 95(3), 1045-1054.
- Hunter, A., Albertus-Kajee, Y., & St Clair Gibson, A. (2011). The effect of exercise induced hyperthermia on muscle fibre conduction velocity during sustained isometric contraction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(5), 834-840.
- Hursh, J. (1939). Conduction velocity and diameter of nerve fibers. *American Journal of Physiology*.
- Huxley, A., & Stämpeli, R. (1949). Evidence for saltatory conduction in peripheral myelinated nerve fibres. *The Journal of physiology*, 108(3), 315-339.
- Ingjer, F. (1979). Effects of endurance training on muscle fibre ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *J Physiol*, 294, 419-432.
- Irving, B. A., Rutkowski, J., Brock, D. W., Davis, C. K., Barrett, E. J., Gaesser, G. A., et al. (2006). Comparison of Borg- and OMNI-RPE as markers of the blood lactate response to exercise. [Comparative Study Research Support, N.I.H., Extramural]. *Med Sci Sports Exerc*, 38(7), 1348-1352.
- Jackson, C. G. R., Dickinson, A. L., & Ringel, S. P. (1990). Skeletal muscle fiber area alterations in two opposing modes of resistance-exercise training in the same individual. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1-2), 37-41.
- Jacobs, R., Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1996). Mechanical output from individual muscles during explosive leg extensions: the role of biarticular muscles. *J Biomech*, 29(4), 513-523.
- James, S. L., & Brubaker, C. E. (1973). Biomechanics of running. *Orthop Clin North Am*, 4(3), 605-615.
- Jebens, E., Steen, H., Fjeld, T., Bye, E., & Sejersted, O. (1995). Changes in Na⁺, K⁺-adenosinetriphosphatase, citrate synthase and K⁺ in sheep skeletal muscle during immobilization and remobilization. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 71(5), 386-395.
- Johnson, L. B., Peat, J., & Barton, B. (2008). Continuous Variables: Descriptive Statistics. In J. Peat & B. Barton (Eds.), *Medical Statistics* (pp. 24-50): Blackwell Publishing Inc.

- Joyner, M. J. (1991). Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *J Appl Physiol*, 70(2), 683-687.
- Jozsi, A. C., Campbell, W. W., Joseph, L., Davey, S. L., & Evans, W. J. (1999). Changes in power with resistance training in older and younger men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 54(11), M591-596.
- Judge, L. W., Moreau, C., & Burke, J. R. (2003). Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. *J Sports Sci*, 21(5), 419-427.
- Juel, C. (2006). Training-induced changes in membrane transport proteins of human skeletal muscle. *European journal of applied physiology*, 96(6), 627-635.
- Kamavuako, E. N., & Farina, D. (2010). Time-dependent effects of pre-conditioning activation on muscle fiber conduction velocity and twitch torque. *Muscle & nerve*, 42(4), 547-555.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). *Principles of neural science* (Vol. 4): McGraw-Hill New York.
- Kanehisa, H., Ikegawa, S., & Fukunaga, T. (1994). Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 68(2), 148-154.
- Kang, J., & Ratamess, N. (2014). Which Comes First? Resistance Before Aerobic Exercise or Vice Versa? *ACSM's Health & Fitness Journal*, 18(1), 9-14.
- Kano, Y., Takahashi, H., Morioka, Y., Akima, H., Miyashita, K., Kuno, S., et al. (1997). Relationship Between the Morphological Features of Thigh Muscles and Sprinting Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5), 220.
- Kapreli, E., Athanasopoulos, S., Papathanasiou, M., Van Hecke, P., Strimpakos, N., Gouliamos, A., et al. (2006). Lateralization of brain activity during lower limb joints movement. An fMRI study. *Neuroimage*, 32(4), 1709-1721.
- Karamanidis, K., Albracht, K., Braunstein, B., Moreno Catala, M., Goldmann, J. P., & Bruggemann, G. P. (2011). Lower leg musculoskeletal geometry and sprint performance. *Gait Posture*, 34(1), 138-141.
- Katz, B. (1948). The electrical properties of the muscle fibre membrane. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 135(881), 506-534.
- Kereshi, S., Manzano, G., & McComas, A. J. (1983). Impulse conduction velocities in human biceps brachii muscles. *Exp Neurol*, 80(3), 652-662.
- Keynes, R. D., Aidley, D. J., & Huang, C. L. (2001). *Nerve and muscle*. New York: Cambridge Univ Press.
- Kilen, A., Gizzi, L., Jensen, B. R., Farina, D., & Nordsborg, N. B. (2012). Changes in human muscle oxygen saturation and mean fiber conduction velocity during intense dynamic exercise--effect of muscular training status. *Muscle Nerve*, 46(5), 746-754.
- Kim, Y. J., Brox, T., Feiden, W., & Weickert, J. (2007). Fully automated segmentation and morphometrical analysis of muscle fiber images. *Cytometry Part A*, 71(1), 8-15.

- Kjeldsen, K., Gotzsche, C., Clausen, T., Nørgaard, A., & Thomassen, A. (1984). Effect of thyroid function on number of Na-K pumps in human skeletal muscle. *The Lancet*, 324(8393), 8-10.
- Kjeldsen, K., Schmidt, T. A., Christensen, K. Ø., Saltin, B., & McKenna, M. J. (1994). Does Human Skeletal Muscle Na⁺/K⁺-ATPase Concentration Correlate With Capacity for Muscle Performance? In E. Bamberg & W. Schoner (Eds.), *The Sodium Pump* (pp. 860-863): Steinkopff.
- Klaver-Król, E. G., Henriquez, N. R., Oosterloo, S. J., Klaver, P., Bos, J. M., & Zwarts, M. J. (2007). Distribution of motor unit potential velocities in short static and prolonged dynamic contractions at low forces: use of the within-subject's skewness and standard deviation variables. *European journal of applied physiology*, 101(5), 647-658.
- Klaver-Król, E. G., Henriquez, N. R., Oosterloo, S. J., Klaver, P., Kuipers, H., & Zwarts, M. (2010). Distribution of motor unit potential velocities in the biceps brachii muscle of sprinters and endurance athletes during prolonged dynamic exercises at low force levels. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(6), 1115-1124.
- Klaver-Król, E. G., Zwarts, M. J., Klooster, P. M., & Rasker, J. J. (2012). Abnormal muscle membrane function in fibromyalgia patients and its relationship to the number of tender points. *Clinical and experimental rheumatology*, 30(suppl. 74), S44-S50.
- Klaver-Król, E. G., Rasker, J. J., Henriquez, N. R., Verheijen, W. G., & Zwarts, M. (2012). Muscle fiber velocity and electromyographic signs of fatigue in fibromyalgia. *Muscle & nerve*, 46(5), 738-745.
- Klitgaard, H., & Clausen, T. (1989). Increased total concentration of Na-K pumps in vastus lateralis muscle of old trained human subjects. *Journal of Applied Physiology*, 67(6), 2491-2494.
- Knuttgen, H. G. (2007). Strength training and aerobic exercise: comparison and contrast. *J Strength Cond Res*, 21(3), 973-978.
- Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1(1), 1-10.
- Komi, P. V., & Karlsson, J. (1978). Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiol Scand*, 103(2), 210-218.
- Komi, V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and sport sciences reviews*, 12(1), 81-122.
- Koshev, A., Gantchev, N., Gydikov, A., Gerasimenko, Y., & Christova, P. (1992). The effect of muscle fiber length change on motor units potentials propagation velocity. *Electromyography and clinical Neurophysiology*, 32(6), 287-294.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol*, 78(3), 976-989.

- Krogh-Lund, C. (1993). Myo-electric fatigue and force failure from submaximal static elbow flexion sustained to exhaustion. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 67(5), 389-401.
- Krogh-Lund, C., & Jørgensen, K. (1991). Changes in conduction velocity, median frequency, and root mean square-amplitude of the electromyogram during 25% maximal voluntary contraction of the triceps brachii muscle, to limit of endurance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 63(1), 60-69.
- Krogh-Lund, C., & Jørgensen, K. (1993). Myo-electric fatigue manifestations revisited: power spectrum, conduction velocity, and amplitude of human elbow flexor muscles during isolated and repetitive endurance contractions at 30% maximal voluntary contraction. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 66(2), 161-173.
- Kullberg, J., Brandberg, J., Angelhed, J. E., Frimmel, H., Bergelin, E., Strid, L., et al. (2009). Whole-body adipose tissue analysis: comparison of MRI, CT and dual energy X-ray absorptiometry. *Br J Radiol*, 82(974), 123-130.
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S., & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol*, 88(3), 811-816.
- Kumar, V., Atherton, P., Smith, K., & Rennie, M. J. (2009). Human muscle protein synthesis and breakdown during and after exercise. *J Appl Physiol*, 106(6), 2026-2039.
- Kupa, E. J., Roy, S. H., Kandarian, S. C., & De Luca, C. J. (1995). Effects of muscle fiber type and size on EMG median frequency and conduction velocity. *J Appl Physiol* (1985), 79(1), 23-32.
- Kyriazis, T. A., Terzis, G., Boudolos, K., & Georgiadis, G. (2009). Muscular power, neuromuscular activation, and performance in shot put athletes at preseason and at competition period. *J Strength Cond Res*, 23(6), 1773-1779.
- Kyriazis, T. A., Terzis, G., Karampatsos, G., Kavouras, S., & Georgiadis, G. (2010). Body Composition and Performance in Shot Put Athletes at Preseason and at Competition. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 5(3), 417-421.
- Kyrolainen, H., Avela, J., McBride, J. M., Koskinen, S., Andersen, J. L., Sipila, S., et al. (2005). Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scand J Med Sci Sports*, 15(1), 58-64.
- Lage, R., Dieguez, C., Vidal-Puig, A., & Lopez, M. (2008). AMPK: a metabolic gauge regulating whole-body energy homeostasis. *Trends Mol Med*, 14(12), 539-549.
- Lamas, L., Aoki, M. S., Ugrinowitsch, C., Campos, G. E., Regazzini, M., Moriscot, A. S., et al. (2010). Expression of genes related to muscle plasticity after strength and power training regimens. *Scand J Med Sci Sports*, 20(2), 216-225.
- Lamas, L., Ugrinowitsch, C., Rodacki, A., Pereira, G., Mattos, E. C., Kohn, A. F., et al. (2012). Effects of strength and power training on neuromuscular

- adaptations and jumping movement pattern and performance. *J Strength Cond Res*, 26(12), 3335-3344.
- Lange, F., Van Weerden, T. W., & Van Der Hoeven, J. H. (2002). A new surface electromyography analysis method to determine spread of muscle fiber conduction velocities. *J Appl Physiol*, 93(2), 759-764.
- Lantz, H., Samuelson, G., Bratteby, L. E., Mallmin, H., & Sjostrom, L. (1999). Differences in whole body measurements by DXA-scanning using two Lunar DPX-L machines. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 23(7), 764-770.
- Larsson, L., & Moss, R. L. (1993). Maximum velocity of shortening in relation to myosin isoform composition in single fibres from human skeletal muscles. *J Physiol*, 472, 595-614.
- Leblanc, P. J., Howarth, K. R., Gibala, M. J., & Heigenhauser, G. J. (2004). Effects of 7 wk of endurance training on human skeletal muscle metabolism during submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 97(6), 2148-2153.
- Lee-Young, R. S., Canny, B. J., Myers, D. E., & McConell, G. K. (2009). AMPK activation is fiber type specific in human skeletal muscle: effects of exercise and short-term exercise training. *J Appl Physiol*, 107(1), 283-289.
- Leivseth, G., & Reikerås, O. (1994). Changes in muscle fiber cross-sectional area and concentrations of Na, K-ATPase in deltoid muscle in patients with impingement syndrome of the shoulder. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 19(3), 146-149.
- Lenti, M., De Vito, G., Sbriccoli, P., Scotto di Palumbo, A., & Sacchetti, M. (2010). Muscle fibre conduction velocity and cardiorespiratory response during incremental cycling exercise in young and older individuals with different training status. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 566-571.
- Léoty, C. (1984). Sodium withdrawal contractures in rat slow twitch skeletal muscle. *Gen Physiol Biophys*, 5, 413-429.
- Levenson, R. (1994). Isoforms of the Na,K-ATPase: Family members in search of function *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Volume 123* (Vol. 123, pp. 1-45): Springer Berlin Heidelberg.
- Li, W., & Sakamoto, K. (1996). Distribution of muscle fiber conduction velocity of M. biceps brachii during voluntary isometric contraction with use of surface array electrodes. *Appl Human Sci*, 15(1), 41-53.
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve*, 23(11), 1647-1666.
- Lindstrom, L., Magnusson, R., & Petersen, I. (1970). Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signals. *Electromyography*, 10(4), 341-356.
- Linssen, W. H., Stegeman, D. F., Joosten, E. M., Binkhorst, R. A., Merks, M. J., ter Laak, H. J., et al. (1991). Fatigue in type I fiber predominance: a muscle force and surface EMG study on the relative role of type I and type II muscle fibers. *Muscle Nerve*, 14(9), 829-837.
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69, 1198-1204.

- Lionikas, A., Li, M., & Larsson, L. (2006). Human skeletal muscle myosin function at physiological and non-physiological temperatures. *Acta Physiologica*, 186(2), 151-158.
- Lynn, P. A. (1979). Direct on-line estimation of muscle fiber conduction velocity by surface electromyography. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*(10), 564-571.
- Macdonald, J., Farina, D., & Marcora, S. (2008). Response of electromyographic variables during incremental and fatiguing cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(2), 335.
- Madsen, K., Franch, J., & Clausen, T. (1994). Effects of intensified endurance training on the concentration of Na, K-ATPase and Ca-ATPase in human skeletal muscle. *Acta physiologica Scandinavica*, 150(3), 251-258.
- Mandic, S., Myers, J., Selig, S. E., & Levinger, I. (2012). Resistance versus aerobic exercise training in chronic heart failure. *Curr Heart Fail Rep*, 9(1), 57-64.
- Mann, R. A., & Hagy, J. (1980). Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med*, 8(5), 345-350.
- Marcora, S., & Miller, M. K. (2000). The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *Journal of sports sciences*, 18(5), 313-319.
- Martin, A. (1954). The effect of change in length on conduction velocity in muscle. *The Journal of Physiology*, 125(1), 215-220.
- Martin, B. J., Robinson, S., Wiegman, D. L., & Aulick, L. H. (1975). Effect of warm-up on metabolic responses to strenuous exercise. *Med Sci Sports*, 7(2), 146-149.
- Martindale, R. J., Collins, D., Wang, J. C., McNeill, M., Lee, K. S., Sproule, J., et al. (2010). Development of the talent development environment questionnaire for sport. *Journal of sports sciences*, 28(11), 1209-1221.
- Mase, K., Kamimura, H., Imura, S., & Kitagawa, K. (2006). Relationship between muscle fiber conduction velocity and muscle strength in patients with joint disorder of the lower limb. *Journal of Physical Therapy Science*, 18(2), 115-121.
- Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M., & Katsuta, S. (1999). Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *J Electromyogr Kinesiol*, 9(1), 39-46.
- Masuda, T., & De Luca, C. J. (1991). Recruitment threshold and muscle fiber conduction velocity of single motor units. *J Electromyogr Kinesiol*, 1(2), 116-123.
- Masuda, T., Kizuka, T., Zhe, J. Y., Yamada, H., Saitou, K., Sadoyama, T., et al. (2001). Influence of contraction force and speed on muscle fiber conduction velocity during dynamic voluntary exercise. *J Electromyogr Kinesiol*, 11(2), 85-94.
- Masuda, T., & Sadoyama, T. (1986). The propagation of single motor unit action potentials detected by a surface electrode array. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 63(6), 590-598.

- Masuda, T., Sadoyama, T., & Shiraishi, M. (1996). Dependence of average muscle fibre conduction velocity on voluntary contraction force. *J Electromyogr Kinesiol*, 6(4), 267-276.
- Maughan, R. J., Watson, J. S., & Weir, J. (1983). Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50(3), 309-318.
- Mayhew, D. L., Kim, J. S., Cross, J. M., Ferrando, A. A., & Bamman, M. M. (2009). Translational signaling responses preceding resistance training-mediated myofiber hypertrophy in young and old humans. *J Appl Physiol*, 107(5), 1655-1662.
- Mayhew, J. L., & Salm, P. C. (1990). Gender differences in anaerobic power tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 60(2), 133-138.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology*: Lippincott Williams & Wilkins.
- McBride, J. M., Blow, D. M., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship Between Maximal Squat Strength and Five, Ten, and Forty Yard Sprint Times. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1633-1636
1610.1519/JSC.1630b1013e3181b1632b1638aa.
- McBride, T. A., Stockert, B. W., Gorin, F. A., & Carlsen, R. C. (2000). Stretch-activated ion channels contribute to membrane depolarization after eccentric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 91-101.
- McComas, A. J. (1996). *Skeletal muscle: form and function*: Human Kinetics Champaign.
- McCutcheon, L., Geor, R., & SHEN, H. (1999). Skeletal muscle Na⁺-K⁺-ATPase and K⁺ homeostasis during exercise: effects of short-term training. *Equine Veterinary Journal*, 31(S30), 303-310.
- McGill, S. (2010). Core Training: Evidence Translating to Better Performance and Injury Prevention. *Strength & Conditioning Journal*, 32(3), 33-46
10.1519/SSC.1510b1013e3181df4521.
- McIntosh, K. C., & Gabriel, D. A. (2012). Reliability of a simple method for determining muscle fiber conduction velocity. *Muscle Nerve*, 45(2), 257-265.
- McKenna, M. J., Gissel, H., & Clausen, T. (2003). Effects of Electrical Stimulation and Insulin on Na⁺-K⁺-ATPase ([3H] Ouabain Binding) in Rat Skeletal Muscle. *The journal of physiology*, 547(2), 567-580.
- McKenna, M. J., Schmidt, T. A., Hargreaves, M., Cameron, L., Skinner, S. L., & Kjeldsen, K. (1993). Sprint training increases human skeletal muscle Na⁺-K⁺-ATPase concentration and improves K⁺ regulation. *Journal of Applied Physiology*, 75(1), 173-180.
- Medbø, J. I., Jebens, E., Vikne, H., Refsnes, P. E., & Gramvik, P. (2001). Effect of strenuous strength training on the Na-K pump concentration in skeletal muscle of well-trained men. *European journal of applied physiology*, 84(1-2), 148-154.

- Merletti, R., Lo Conte, L., & Sathyan, D. (1995). Repeatability of electrically-evoked myoelectric signals in the human tibialis anterior muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5(2), 67-80.
- Merlo, E., Pozzo, M., Antonutto, G., di Prampero, P. E., Merletti, R., & Farina, D. (2005a). Time-frequency analysis and estimation of muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during explosive dynamic contractions. *Journal of neuroscience methods*, 142(2), 267-274.
- Merlo, E., Pozzo, M., Antonutto, G., di Prampero, P. E., Merletti, R., & Farina, D. (2005b). Time-frequency analysis and estimation of muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during explosive dynamic contractions. *J Neurosci Methods*, 142(2), 267-274.
- Mero, A., Jaakkola, L., & Komi, P. V. (1991). Relationships between muscle fibre characteristics and physical performance capacity in trained athletic boys. *Journal of Sports Sciences*, 9(2), 161-171.
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med*, 13(6), 376-392.
- Mero, A., Luhtanen, P., & Viitasalo, J. T. (1981). Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.*, 3, 16-22.
- Methenitis, S., Zaras, N., Spengos, K., Stasinaki, A. N., Karampatsos, G., Georgiadis, G., et al. (2015). THE ROLE OF MUSCLE MORPHOLOGY ON JUMPING, SPRINTING AND THROWING PERFORMANCE IN PARTICIPANTS WITH DIFFERENT POWER-TRAINING DURATION EXPERIENCE. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Mihelin, M., Trontelj, J. V., & Stålberg, E. (1991). Muscle fiber recovery functions studied with double pulse stimulation. *Muscle & nerve*, 14(8), 739-747.
- Miller, T. (2012). *NSCA's Guide to Tests & Assessments: Human Kinetics*.
- Millet, G. P., Vleck, V. E., & Bentley, D. J. (2009). Physiological differences between cycling and running. *Sports Medicine*, 39(3), 179-206.
- Mitrovic, S., Lüder, G., & Hopf, H. C. (1999). Muscle fiber conduction velocity at different states of isotonic contraction. *Muscle & Nerve*, 22(8), 1126-1128.
- Morimoto, S. (1986). Effect of length change in muscle fibers on conduction velocity in human motor units. *Jpn J Physiol*, 36(4), 773-782.
- Morimoto, S., & Masuda, M. (1984). Dependence of conduction velocity on spike interval during voluntary muscular contraction in human motor units. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53(3), 191-195.
- Moritani, T., & Muro, M. (1987). Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(3), 260-265.
- Mougios, V. (2006). *Exercise Biochemistry*. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Murphy, K. T., Aughey, R. J., Petersen, A. C., Clark, S. A., Goodman, C., Hawley, J., et al. (2007). Effects of endurance training status and sex differences on Na⁺, K⁺-pump mRNA expression, content and maximal activity in human skeletal muscle. *Acta physiologica*, 189(3), 259-269.

- Nader, G. A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc*, 38(11), 1965-1970.
- Naeije, M., & Zorn, H. (1982). Relation between EMG power spectrum shifts and muscle fibre action potential conduction velocity changes during local muscular fatigue in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(1), 23-33.
- Nandedkar, S., & Stålberg, E. (1983a). Simulation of macro EMG motor unit potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 56(1), 52-62.
- Nandedkar, S., & Stålberg, E. (1983b). Simulation of single muscle fibre action potentials. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 21(2), 158-165.
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 59(4), 310-319.
- Naumann, M., & Reiners, K. (1996a). Diagnostic value of in situ muscle fiber conduction velocity measurements in myopathies. *Acta Neurol Scand*, 93, 193-197.
- Naumann, M., & Reiners, K. (1996b). Diagnostic value of in situ muscle fiber conduction velocity measurements in myopathies. *Acta neurologica scandinavica*, 93(2-3), 193-197.
- Neder, J. A., Nery, L. E., Silva, A. C., Cabral, A. L. B., & Fernandes, A. L. G. (1999). Short term effects of aerobic training in the clinical management of moderate to severe asthma in children. *Thorax*, 54(3), 202-206.
- Neptune, R. R., McGowan, C. P., & Fiaidt, J. M. (2009). The influence of muscle physiology and advanced technology on sports performance. *Annu Rev Biomed Eng*, 11, 81-107.
- Netter, F. H., & Hansen, J. T. (2002). *Atlas of Human Anatomy* (3rd ed.). Florida: Saunders.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, 16(5), 20-31.
- Nielsen, J. N., Mustard, K. J., Graham, D. A., Yu, H., MacDonald, C. S., Pilegaard, H., et al. (2003). 5'-AMP-activated protein kinase activity and subunit expression in exercise-trained human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 94(2), 631-641.
- Nielsen, M., Graven-Nielsen, T., & Farina, D. (2008). Effect of innervation-zone distribution on estimates of average muscle-fiber conduction velocity. *Muscle Nerve*, 37(1), 68-78.
- Nielsen, M., Graven-Nielsen, T., & Farina, D. (2008). Effect of innervation-zone distribution on estimates of average muscle-fiber conduction velocity. *Muscle & nerve*, 37(1), 68-78.
- Nishihara, K., Hosoda, K., & Futami, T. (2003). Muscle fiber conduction velocity estimation by using normalized peak-averaging technique. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(6), 499-507.

- Nishizono, H., Fujimoto, T., Ohtake, H., & Miyashita, M. (1990). Muscle fiber conduction velocity and contractile properties estimated from surface electrode arrays. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 75(1), 75-81.
- Nishizono, H., Kurata, H., & Miyashita, M. (1989). Muscle fiber conduction velocity related to stimulation rate. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 72(6), 529-534.
- Nørgaard, A., Bagger, J. P., Bjerregaard, P., Baandrup, U., Kjeldsen, K., & Thomsen, P. E. (1988). Relation of left ventricular function and Na, K-pump concentration in suspected idiopathic dilated cardiomyopathy. *The American journal of cardiology*, 61(15), 1312-1315.
- O'Brien, T. D., Reeves, N. D., Baltzopoulos, V., Jones, D. A., & Maganaris, C. N. (2009). Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Exp Physiol*, 94(6), 731-738.
- Oetliker, H., & Schümperli, R. (1982). Influence of sarcomere length, tonicity, and external sodium concentration on conduction velocity in frog muscle fibres. *The Journal of Physiology*, 332(1), 203-221.
- Ogasawara, R., Yasuda, T., Ishii, N., & Abe, T. (2013). Comparison of muscle hypertrophy following 6-month of continuous and periodic strength training. *Eur J Appl Physiol*, 113(4), 975-985.
- Ounpuu, S. (1990). The biomechanics of running: a kinematic and kinetic analysis. *Instr Course Lect*, 39, 305-318.
- Pang, M. Y., & Eng, J. J. (2005). Muscle strength is a determinant of bone mineral content in the hemiparetic upper extremity: implications for stroke rehabilitation. *Bone*, 37(1), 103-111.
- Pazin, N., Bozic, P., Bobana, B., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2011). Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. *Eur J Appl Physiol*, 111(9), 2123-2130.
- Pearson, D. T., Naughton, G. A., & Torode, M. (2006). Predictability of physiological testing and the role of maturation in talent identification for adolescent team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 277-287.
- Peñailillo, L., Blazeovich, A., Numazawa, H., & Nosaka, K. (2014). Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.
- Pereira, A., Izquierdo, M., Silva, A. J., Costa, A. M., Bastos, E., Gonzalez-Badillo, J. J., et al. (2012). Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol*.
- Pereira, M. C., Rocha Júnior, V. A., Bottaro, M., de Andrade, M. M., Schwartz, F. P., Martorelli, A., et al. (2013). Relationship between ventilatory threshold and muscle fiber conduction velocity responses in trained cyclists. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(2), 448-454.
- Perez-Gomez, J., Rodriguez, G. V., Ara, I., Olmedillas, H., Chavarren, J., Gonzalez-Henriquez, J. J., et al. (2008). Role of muscle mass on sprint performance: gender differences? *Eur J Appl Physiol*, 102(6), 685-694.

- Perry, B. D., Levinger, P., Serpiello, F. R., Caldow, M. K., Cameron-Smith, D., Bartlett, J. R., et al. (2013). The effects of osteoarthritis and age on skeletal muscle strength, Na⁺-K⁺-ATPase content, gene and isoform expression. *Journal of Applied Physiology*, 115(10), 1443-1449.
- Pescatello, L. S. (2014). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription: Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res*, 18(2), 377-382.
- Petrofsky, J., & Laymon, M. (2005). The relationship between muscle temperature, MUAP conduction velocity and the amplitude and frequency components of the surface EMG during isometric contractions. *Basic Appl Myol*, 15(2), 61-74.
- Phillips, S. M., Glover, E. I., & Rennie, M. J. (2009). Alterations of protein turnover underlying disuse atrophy in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 107(3), 645-654.
- Piitulainen, H., Botter, A., Merletti, R., & Avela, J. (2011). Muscle fiber conduction velocity is more affected after eccentric than concentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 111(2), 261-273.
- Pikosky, M. A., Gaine, P. C., Martin, W. F., Grabarz, K. C., Ferrando, A. A., Wolfe, R. R., et al. (2006). Aerobic exercise training increases skeletal muscle protein turnover in healthy adults at rest. *J Nutr*, 136(2), 379-383.
- Pozzo, M., Alkner, B., Norrbrand, L., Farina, D., & Tesch, P. A. (2006). Muscle-fiber conduction velocity during concentric and eccentric actions on a flywheel exercise device. *Muscle Nerve*, 34(2), 169-177.
- Pozzo, M., Merlo, E., Farina, D., Antonutto, G., Merletti, R., & Di Prampero, P. E. (2004). Muscle-fiber conduction velocity estimated from surface EMG signals during explosive dynamic contractions. *Muscle Nerve*, 29(6), 823-833.
- Purves, D., Augustine, G. J., Cabeza, R., Huettel, S. A., LaBar, K. S., Platt, M. L., et al. (2008). *Principles of cognitive neuroscience* (Vol. 83): Sinauer Associates Sunderland, MA.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, A., Hall, A., LaMantia, A.-S., & White, L. J. (2012). *Neuroscience* (Fifth ed.). Sunderland, MA.: Sinauer Associates.
- Purves, D., Brannon, E. M., Cabeza, R., Huettel, S. A., LaBar, K. S., Platt, M. L., et al. (2008). *Principles of cognitive neuroscience* (Vol. 83): Sinauer Associates Sunderland, MA.
- Putman, C. T., Xu, X., Gillies, E., MacLean, I. M., & Bell, G. J. (2004). Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur J Appl Physiol*, 92(4-5), 376-384.
- Ragolia, L., Cherpalis, B., Srinivasan, M., & Begum, N. (1997). Role of serine/threonine protein phosphatases in insulin regulation of Na⁺/K⁺-ATPase activity in cultured rat skeletal muscle cells. *Journal of Biological Chemistry*, 272(38), 23653-23658.

- Rahbek, S. K., Farup, J., Moller, A. B., Vendelbo, M. H., Holm, L., Jessen, N., et al. (2014). Effects of divergent resistance exercise contraction mode and dietary supplementation type on anabolic signalling, muscle protein synthesis and muscle hypertrophy. *Amino Acids*.
- Rall, J. A., & Woledge, R. C. (1990a). Influence of temperature on mechanics and energetics of muscle contraction. *Am J Physiol*, 259(2 Pt 2), R197-R203.
- Rall, J. A., & Woledge, R. C. (1990b). Influence of temperature on mechanics and energetics of muscle contraction. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 259(2), R197-R203.
- Rankinen, T., Pérusse, L., Borecki, I., Chagnon, Y. C., Gagnon, J., Leon, A. S., et al. (2000). The Na⁺-K⁺-ATPase α 2 gene and trainability of cardiorespiratory endurance: the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 346-351.
- Rau, G., Disselhorst-Klug, C., & Silny, J. (1997). Noninvasive approach to motor unit characterization: muscle structure, membrane dynamics and neuronal control. *Journal of biomechanics*, 30(5), 441-446.
- Rau, G., Schneider, J., & Silny, J. (1988). *The influence of temperature and excitation pattern on noninvasively detected conduction velocity in single motor units*. Paper presented at the Engineering in Medicine and Biology Society, 1988. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE.
- Ravn, H., & Dørup, I. (1997). The concentration of sodium, potassium pumps in chronic obstructive lung disease (COLD) patients: the impact of magnesium depletion and steroid treatment. *Journal of internal medicine*, 241(1), 23-29.
- Reed, J. P., Schilling, B. K., & Murlasits, Z. (2013). Acute neuromuscular and metabolic responses to concurrent endurance and resistance exercise. *J Strength Cond Res*, 27(3), 793-801.
- Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2003). Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *Journal of applied physiology*, 95(3), 1090-1096.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*, 18(4), 918-920.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc*, 35(3), 456-464.
- Robergs, R. A. (2007). Simplified method and program for incremental exercise protocol development. *J Exerc Physiol*, 10, 1-23.
- Ross, A., Leveritt, M., & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Med*, 31(6), 409-425.
- Rushton, W. (1951). A theory of the effects of fibre size in medullated nerve. *The Journal of Physiology*, 115(1), 101-122.
- Rutkove, S. B. (2001). Effects of temperature on neuromuscular electrophysiology. *Muscle & nerve*, 24(7), 867-882.

- Rutkove, S. B., Kothari, M. J., & Shefner, J. M. (1997). Nerve, muscle, and neuromuscular junction electrophysiology at high temperature. *Muscle & Nerve*, 20(4), 431-436.
- Sadoyama, T., & Masuda, T. (1987). Changes of the average muscle fiber conduction velocity during a varying force contraction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 67(5), 495-497.
- Sadoyama, T., Masuda, T., & Miyano, H. (1983). Relationships between muscle fibre conduction velocity and frequency parameters of surface EMG during sustained contraction. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51(2), 247-256.
- Sadoyama, T., Masuda, T., Miyata, H., & Katsuta, S. (1988). Fibre conduction velocity and fibre composition in human vastus lateralis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 57(6), 767-771.
- Sakamoto, K., & Li, W. (1997). Effect of muscle length on distribution of muscle fiber conduction velocity for M. biceps brachii. *Appl Human Sci*, 16(1), 1-7.
- Salako, S. E. (2006). The declaration of Helsinki 2000: ethical principles and the dignity of difference. *Medicine and law*, 25(2), 341-354.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 20(5 Suppl), S135-145.
- Saltin, B., & Gollnick, P. D. (2010). Skeletal Muscle Adaptability: Significance for Metabolism and Performance *Comprehensive Physiology*: John Wiley & Sons, Inc.
- Sands, W. A., McNeal, J. R., Ochi, M. T., Urbanek, T. L., Jemni, M., & Stone, M. H. (2004). Comparison of the Wingate and Bosco anaerobic tests. *J Strength Cond Res*, 18(4), 810-815.
- Sangrey, T., & B Levy, W. (2005). Conduction velocity costs energy. *Neurocomputing*, 65, 907-913.
- Sargeant, A. J., Dolan, P., & Young, A. (1984). Optimal Velocity for Maximal Short-term (Anaerobic) Power Output in Cycling. *Int J Sports Med*, 05(S 1), S124,S125.
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Rosenstein, M. T. (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(4), 572-577.
- Schmidt, T. A., Hasselbalch, S., Farrell, P. A., Vestergaard, H., & Kjeldsen, K. (1994). Human and rodent muscle Na (+)-K (+)-ATPase in diabetes related to insulin, starvation, and training. *Journal of Applied Physiology*, 76(5), 2140-2146.
- Schmitz, J., van Dijk, J., Hilbers, P., Nicolay, K., Jeneson, J., & Stegeman, D. (2012). Unchanged muscle fiber conduction velocity relates to mild acidosis during exhaustive bicycling. *European journal of applied physiology*, 112(5), 1593-1602.
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Willardson, J. M., Fontana, F., & Tiriyaki-Sonmez, G. (2014). Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. *Eur J Appl Physiol*.

- Schulte, E., Dimitrova, N. A., Dimitrov, G. V., Rau, G., & Disselhorst-Klug, C. (2005). Estimation of the muscle fibre semi-length under varying joint positions on the basis of non-invasively extracted motor unit action potentials. *J Electromyogr Kinesiol*, 15(3), 290-299.
- Schulte, E., Farina, D., Merletti, R., Rau, G., & Disselhorst-Klug, C. (2004). Influence of muscle fibre shortening on estimates of conduction velocity and spectral frequencies from surface electromyographic signals. *Med Biol Eng Comput*, 42(4), 477-486.
- Schumann, M., Küüsmaa, M., Newton, R. U., Sirparanta, A.-I., Syväoja, H., Häkkinen, A., et al. (2014). Fitness and lean mass increases during combined training independent of loading order. *Medicine and science in sports and exercise*.
- Schumann, M., Walker, S., Izquierdo, M., Newton, R. U., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2014). The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: effects of prolonged training. *European Journal of Applied Physiology*, 1-14.
- Scott, C. B., Littlefield, N. D., Chason, J. D., Bunker, M. P., & Asselin, E. M. (2006). Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutr Metab*, 3(1), 1743-1753.
- Scribbans, T. D., Edgett, B. A., Vorobej, K., Mitchell, A. S., Joannis, S. D., Matusiak, J. B., et al. (2014). Fibre-specific responses to endurance and low volume high intensity interval training: striking similarities in acute and chronic adaptation. *PLoS One*, 9(6), e98119.
- Semmler, J. G. (2002). Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 30(1), 8-14.
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol*, 102(1), 368-373.
- Sheikh, S. M., Skepper, J. N., Chawla, S., Vandenberg, J. I., Elneil, S., & Huang, C. L. (2001). Normal conduction of surface action potentials in detubulated amphibian skeletal muscle fibres. *The Journal of physiology*, 535(2), 579-590.
- Singer, R. N., Murphey, M., & Tennant, L. K. (1993). *Handbook of research on sport psychology*: Macmillan.
- Stålberg, E. (1966). Propagation velocity in human muscle fibers in situ. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 287, 1-112.
- Stålberg, E. (1979). Single fibre electromyography. *Trends in Neurosciences*, 2(0), 185-188.
- Stålberg, E. (1980). Some electrophysiological methods for the study of human muscle. *Journal of Biomedical Engineering*, 2(4), 290-298.
- Staron, R. S. (1997). Human skeletal muscle fiber types: delineation, development, and distribution. [Review]. *Can J Appl Physiol*, 22(4), 307-327.
- Staron, R. S., Hagerman, F. C., Hikida, R. S., Murray, T. F., Hostler, D. P., Crill, M. T., et al. (2000). Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem*, 48(5), 623-629.

- Staron, R. S., & Hikida, R. S. (1992). Histochemical, biochemical, and ultrastructural analyses of single human muscle fibers, with special reference to the C-fiber population. *J Histochem Cytochem*, 40(4), 563-568.
- Staron, R. S., Hikida, R. S., & Hagerman, F. C. (1983). Myofibrillar ATPase activity in human muscle fast-twitch subtypes. *Histochemistry*, 78(3), 405-408.
- Staron, R. S., Hikida, R. S., Hagerman, F. C., Dudley, G. A., & Murray, T. F. (1984). Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. *J Histochem Cytochem*, 32(2), 146-152.
- Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol*, 76(3), 1247-1255.
- Staron, R. S., Leonardi, M. J., Karapondo, D. L., Malicky, E. S., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., et al. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol*, 70(2), 631-640.
- Stasinaki, A.-N., Gloumis, G., Spengos, K., Blazeovich, A. J., Zaras, N., Georgiadis, G., et al. (In press). Muscle strength, power and morphological adaptations after 6 weeks of compound vs. complex training in healthy men. *The Journal of Strength & Conditioning Research, Publish Ahead of Print*.
- Stewart, D., Farina, D., Shen, C., & Macaluso, A. (2011). Muscle fibre conduction velocity during a 30-s Wingate anaerobic test. *J Electromyogr Kinesiol*, 21(3), 418-422.
- Stone, M. H., Moir, G., Glaister, M., & Sanders, R. (2002). How much strength is necessary? *Physical Therapy in Sport*, 3(2), 88-96.
- Stone, M. H., O'Bryant, H. S., McCoy, L., Coglianese, R., Lehmkuhl, M., & Schilling, B. (2003). Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res*, 17(1), 140-147.
- Stone, M. H., Sanborn, K., O'Bryant, H. S., Hartman, M., Stone, M. E., Proulx, C., et al. (2003). Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *J Strength Cond Res*, 17(4), 739-745.
- Sugisaki, N., Kanehisa, H., Tauchi, K., Okazaki, S., Iso, S., & Okada, J. (2011). The Relationship between 30-m Sprint Running Time and Muscle Cross-sectional Areas of the Psoas Major and Lower Limb Muscles in Male College Short and Middle Distance Runners. *International Journal of Sport and Health Science*, 9, 1-7.
- Szucs, G., Papp, Z., Csernoch, L., & Kovacs, L. (1991). Kinetic properties of intramembrane charge movement under depolarized conditions in frog skeletal muscle fibers. *J Gen Physiol*, 98(2), 365-378.
- Taipale, R. S., Schumann, M., Mikkola, J., Nyman, K., Kyrolainen, H., Nummela, A., et al. (2014). Acute neuromuscular and metabolic responses to combined strength and endurance loadings: the "order effect" in recreationally endurance trained runners. *J Sports Sci*, 32(12), 1155-1164.
- Taskinen, S., Croux, C., Kankainen, A., Ollila, E., & Oja, H. (2006). Influence functions and efficiencies of the canonical correlation and vector estimates

- based on scatter and shape matrices. *Journal of Multivariate Analysis*, 97(2), 359-384.
- Taylor, A. D., Humphries, B., Smith, P., & Bronks, R. (1997). Electrophoretic separation of myosin heavy chain isoforms in the human m. vastus lateralis: references to reproducibility and relationships with force, electromechanical delay, fibre conduction velocity, endurance and electromyography. *Arch Physiol Biochem*, 105(1), 10-18.
- Taylor, A. M., Steege, J. W., & Enoka, R. M. (2002). Motor-unit synchronization alters spike-triggered average force in simulated contractions. *J Neurophysiol*, 88(1), 265-276.
- Temfemo, A., Hugues, J., Chardon, K., Mandengue, S.-H., & Ahmaidi, S. (2009). Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *European Journal of Pediatrics*, 168(4), 457-464.
- Terzis, G., Georgiadis, G., Stratakis, G., Vogiatzis, I., Kavouras, S., Manta, P., et al. (2008). Resistance exercise-induced increase in muscle mass correlates with p70S6 kinase phosphorylation in human subjects. *Eur J Appl Physiol*, 102(2), 145-152.
- Terzis, G., Georgiadis, G., Vassiliadou, E., & Manta, P. (2003). Relationship between shot put performance and triceps brachii fiber type composition and power production. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1), 10-15.
- Terzis, G., Spengos, K., Kavouras, S., Manta, P., & Georgiadis, G. (2010). Muscle fibre type composition and body composition in hammer throwers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(1), 104-109.
- Terzis, G., Spengos, K., Manta, P., Sarris, N., & Georgiadis, G. (2008). Fiber type composition and capillary density in relation to submaximal number of repetitions in resistance exercise. *J Strength Cond Res*, 22(3), 845-850.
- Terzis, G., Stratakis, G., Manta, P., & Georgiadis, G. (2008). Throwing performance after resistance training and detraining. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1198-1204.
- Tesch, A. (2014). Aerobic exercise does not compromise muscle. *J Appl Physiol*, 116(6), 611-620.
- Tesch, P., & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(3), 301-306.
- Thordarson, D. B. (1997). Running biomechanics. [Review]. *Clin Sports Med*, 16(2), 239-247.
- Thorstensson, A., Larsson, L., Tesch, P., & Karlsson, J. (1977). Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports*, 9(1), 26-30.
- Tillin, N. A., & Folland, J. P. (2014). Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *Eur J Appl Physiol*, 114(2), 365-374.

- Tipton, K. D., Ferrando, A. A., Williams, B. D., & Wolfe, R. R. (1996). Muscle protein metabolism in female swimmers after a combination of resistance and endurance exercise. *J Appl Physiol*, 81(5), 2034-2038.
- Trappe, S., Gallagher, P., Harber, M., Carrithers, J., Fluckey, J., & Trappe, T. (2003). Single muscle fibre contractile properties in young and old men and women. *J Physiol*, 552(Pt 1), 47-58.
- Trappe, S., Godard, M., Gallagher, P., Carroll, C., Rowden, G., & Porter, D. (2001). Resistance training improves single muscle fiber contractile function in older women. *Am J Physiol Cell Physiol*, 281(2), C398-406.
- Trappe, S., Williamson, D., Godard, M., Porter, D., Rowden, G., & Costill, D. (2000). Effect of resistance training on single muscle fiber contractile function in older men. *J Appl Physiol*, 89(1), 143-152.
- Troni, W., Cantello, R., & Rainero, I. (1983). Conduction velocity along human muscle fibers in situ. *Neurology*, 33(11), 1453-1453.
- Troni, W., DeMattei, M., & Contegiacomo, V. (1991). The effect of temperature on conduction velocity in human muscle fibers. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1(4), 281-287.
- Trontelj, J., Stålberg, E., & Mihelin, M. (1990). Jitter in the muscle fibre. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 53(1), 49-54.
- Trontelj, J. V. (1993). Muscle fiber conduction velocity changes with length. *Muscle Nerve*, 16(5), 506-512.
- Trontelj, J. V., & Stålberg, E. (1992). Jitter measurement by axonal micro-stimulation. Guidelines and technical notes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 85(1), 30-37.
- Tyldesley, B., & Grieve, J. (2009). *Muscles, nerves and movement: in human occupation*: Wiley-Blackwell.
- Ugarkovic, D., Matavulj, D., Kukolj, M., & Jaric, S. (2002). Standard Anthropometric, Body Composition, and Strength Variables as Predictors of Jumping Performance in Elite Junior Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(2), 227-230.
- Umberger, B. R., Gerritsen, K. M., & Martin, P. E. (2006). Muscle fiber type effects on energetically optimal cadences in cycling. *Journal of biomechanics*, 39(8), 1472-1479.
- Uth, N., Sørensen, H., Overgaard, K., & Pedersen, P. K. (2004). Estimation of VO₂max from the ratio between HR_{max} and HR_{rest}—the heart rate ratio method. *European journal of applied physiology*, 91(1), 111-115.
- Van der Hoeven, J. H. (1995a). *Conduction velocity in human muscle*. Unpublished Thesis, University of Groningen.
- Van der Hoeven, J. H. (1995b). *Conduction velocity in human muscle fibers-normal values and technical notes*. University of Groningen, Netherlands.
- Van der Hoeven, J. H. (1995c). *Conduction velocity in human muscle fibers-Normal values and technical notes* (pp. 15-28). Groningen, Netherlands: University of Groningen.
- Van der Hoeven, J. H. (1995d). *Muscle fiber conduction velocity in chronic myositis* (pp. 99-110). Groningen, Netherlands: University of Groningen.

- Van der Hoeven, J. H., & Lange, F. (1994). Supernormal muscle fiber conduction velocity during intermittent isometric exercise in human muscle. *J Appl Physiol*, 77(2), 802-806.
- Van der Hoeven, J. H., Van Weerden, T. W., & Zwarts, M. J. (1993). Long-lasting supernormal conduction velocity after sustained maximal isometric contraction in human muscle. *Muscle & Nerve*, 16(3), 312-320.
- Vander, A., Sherman, J., Luciano, D., & Tsakopoulos, M. (2003). *Human physiology: The mechanism of body function, 8th Edition*. IL: McGraw-Hill, Inc.
- Verney, J., Kadi, F., Charifi, N., Feasson, L., Saafi, M. A., Castells, J., et al. (2008). Effects of combined lower body endurance and upper body resistance training on the satellite cell pool in elderly subjects. *Muscle Nerve*, 38(3), 1147-1154.
- Vila-Cha, C., Falla, D., Correia, M. V., & Farina, D. (2012). Adjustments in motor unit properties during fatiguing contractions after training. *Med Sci Sports Exerc*, 44(4), 616-624.
- Vissing, K., Brink, M., Lonbro, S., Sorensen, H., Overgaard, K., Danborg, K., et al. (2008). Muscle adaptations to plyometric vs. resistance training in untrained young men. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1799-1810.
- Vogt, T., & Fritz, A. (2006). Computer-aided analysis of muscle fibre conduction velocity in neuromuscular diseases. *Neurological Sciences*, 27(1), 51-57.
- Volek, J. S., Duncan, N. D., Mazzetti, S. A., Staron, R. S., Putukian, M., Gomez, A. L., et al. (1999). Performance and muscle fiber adaptations to creatine supplementation and heavy resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 31(8), 1147-1156.
- Vollaard, N. B., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, P. L., et al. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *J Appl Physiol*, 106(5), 1479-1486.
- Wakeling, J. M., Uehli, K., & Rozitis, A. I. (2006). Muscle fibre recruitment can respond to the mechanics of the muscle contraction. *Journal of The Royal Society Interface*, 3(9), 533-544.
- Watkins, M. P., & Portney, L. (2009). *Foundations of clinical research: applications to practice*: Pearson/Prentice Hall.
- West, D. W., Burd, N. A., Staples, A. W., & Phillips, S. M. (2010). Human exercise-mediated skeletal muscle hypertrophy is an intrinsic process. *Int J Biochem Cell Biol*, 42(9), 1371-1375.
- Widrick, J. J., Stelzer, J. E., Shoepe, T. C., & Garner, D. P. (2002). Functional properties of human muscle fibers after short-term resistance exercise training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 283(2), R408-416.
- Wilkinson, S. B., Phillips, S. M., Atherton, P. J., Patel, R., Yarasheski, K. E., Tarnopolsky, M. A., et al. (2008). Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *J Physiol*, 586(Pt 15), 3701-3717.

- Williams, J. M. (1993). *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance*: Mayfield Publishing Co.
- Williams, K. R. (1985). Biomechanics of running. [Review]. *Exerc Sport Sci Rev*, 13, 389-441.
- Wilska, A., & Varjoranta, K. (1940). Untersuchungen über die Geschwindigkeit des geleiteten Aktionspotentials einer Muskelfaser bei verschiedenen Dehnungszuständen des Muskels1. *Skandinavisches Archiv Für Physiologie*, 83(1), 82-87.
- Wilson, J. M., Loenneke, J. P., Jo, E., Wilson, G. J., Zourdos, M. C., & Kim, J. S. (2012). The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1724-1729.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M. C., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2293-2307.
- Winchester, J. B., McBride, J. M., Maher, M. A., Mikat, R. P., Allen, B. K., Kline, D. E., et al. (2008). Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1728-1734.
- Wojtaszewski, J. F., MacDonald, C., Nielsen, J. N., Hellsten, Y., Hardie, D. G., Kemp, B. E., et al. (2003). Regulation of 5'AMP-activated protein kinase activity and substrate utilization in exercising human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 284(4), E813-822.
- Wyckelsma, V. L., McKenna, M. J., Serpiello, F. R., Lambole, C. R., Aughey, R. J., Stepto, N. K., et al. (2015). Single fiber expression and fiber-specific adaptability to short-term intense exercise training of Na⁺, K⁺-ATPase α and β isoforms in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, jap. 00419.02014.
- Yaar, I., & Niles, L. (1992). Muscle fiber conduction velocity and mean power spectrum frequency in neuromuscular disorders and in fatigue. *Muscle Nerve*, 15(7), 780-787.
- Yaar, I., Shapiro, M. B., Mitz, A. R., & Pottala, E. W. (1984). A new technique for measuring muscle fiber conduction velocities in full interference patterns. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 57(5), 427-434.
- Yu, M., Stepto, N. K., Chibalin, A. V., Fryer, L. G., Carling, D., Krook, A., et al. (2003). Metabolic and mitogenic signal transduction in human skeletal muscle after intense cycling exercise. *J Physiol*, 546(Pt 2), 327-335.
- Z'graggen, W. J., & Bostock, H. (2009). Velocity recovery cycles of human muscle action potentials and their sensitivity to ischemia. *Muscle & nerve*, 39(5), 616-626.
- Zaras, N., Spengos, K., Methenitis, S., Papadopoulos, C., Karampatsos, G., Georgiadis, G., et al. (2013). Effects of Strength vs. Ballistic-Power Training on Throwing Performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 130-137.
- Zaras, N., Stasinaki, A., Krase, A., Methenitis, S., Karampatsos, G., Georgiadis, G., et al. (2014). Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field

- throwing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(12), 3484-3495.
- Zaras, N., Stasinaki, A., Krase, A., Methenitis, S., Karampatsos, G., Georgiadis, G., et al. (In Press). Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research, Publish Ahead of Print*, 10.1519/JSC.0000000000000566.
- Zaras, N., Stasinaki, A., Methenitis, S., Krase, A., Karampatsos, G., Georgiadis, G., et al. (2015). Rate of force development, muscle architecture, and performance in young competitive track and field throwers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Zhang, L., Morris, K. J., & Ng, Y. C. (2006). Fiber type-specific immunostaining of the Na⁺,K⁺-ATPase subunit isoforms in skeletal muscle: age-associated differential changes. *Biochim Biophys Acta*, 1762(9), 783-793.
- Zierath, J. R., & Hawley, J. A. (2004). Skeletal muscle fiber type: influence on contractile and metabolic properties. *PLoS Biol*, 2(10), e348.
- Zwarts, M., Van Weerden, T., & Haenen, H. (1987). Relationship between average muscle fibre conduction velocity and EMG power spectra during isometric contraction, recovery and applied ischemia. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(2), 212-216.
- Κλεισούρας, Β. (2001). Φυσιολογία της Άσκησης. Εκδ. Πασχαλίδη. Αθήνα.
- Κλεισούρας, Β. (2004). *Εργοφυσιολογία*. Αθήνα: Salto.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

**Έντυπο Ενημέρωσης και Συναίνεσης Δοκιμαζόμενου για Συμμετοχή σε
 Ερευνητική Εργασία**

Υπεύθυνοι Ερευνητικής Εργασίας:

Επιστημονικοί υπεύθυνοι της έρευνας: Καρανδρέας Νικόλαος, Αν. Καθηγητής, Γεράσιμος Τερζής, Επίκ. Καθηγητής

Υπεύθυνος Ερευνητής: Μεθενίτης Σπυρίδων, Διδακτορικός Φοιτητής

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η αθλητική επιστήμη έχει προχωρήσει με γοργά βήματα. Είναι γνωστό ότι το νευρικό σύστημα επηρεάζει την αθλητική απόδοση. Ωστόσο, θεμελιώδη ερωτήματα παραμένουν ακόμη αναπάντητα. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες, του έξω πλατύ μηριαίου μυ, και της μυϊκής ισχύος και του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης.

Μεθοδολογία

Στη συγκεκριμένη μελέτη θα συμμετάσχουν 15 υγιείς, νεαρές γυναίκες. Θα γίνει αξιολόγηση (1) της μυϊκής ισχύος και (2) της ταχύτητας αγωγής νευρικών ώσεων πάνω στις μυϊκές ίνες μέσω ηλεκτρομυογραφήματος, με την χρήση βελοειδών ηλεκτροδίων.

Πιθανοί κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Η μέτρηση της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων γίνεται με βελονοειδή ηλεκτρόδια και ενδέχεται να υπάρχει μια αίσθηση τσιμπήματος για λίγα λεπτά. Η μέτρηση της δύναμης και της ισχύος είναι στα πλαίσια των καθημερινών αθλητικών δραστηριοτήτων στο Τ.Ε.Φ.Α.Α. Είναι γνώριμες αξιολογήσεις στους δοκιμαζόμενους από την συμμετοχή τους σε αθλητικές δραστηριότητες. Είναι απλές δοκιμασίες οι οποίες δεν παρουσιάζουν καμία επικινδυνότητα.

Ζήτηση Πληροφοριών

Μη διστάσεις να κάνεις ερωτήσεις γύρω από κάθε διαδικασία. Αν έχεις κάποιες αμφιβολίες ή ερωτήσεις ζήτησέ μας να σου δώσουμε πρόσθετες εξηγήσεις. Τα αποτελέσματα των δικών σου μετρήσεων θα είναι στη διάθεσή σου μετά το τέλος των αναλύσεων. Δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. σε επιστημονικές μελέτες) μπορεί να γίνει μόνο ανώνυμα. Επίσης, μπορείτε να καταφύγετε στους υπεύθυνους για την έρευνα για ερωτήσεις ή για παράπονα. **Να θυμάσαι ότι είσαι ελεύθερος να αποσυρθείς από τη μελέτη όποτε εσύ θέλεις.**

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗΣ

Δηλώνω υπεύθυνα ότι έλαβα σαφείς γραπτές και προφορικές πληροφορίες για τη μελέτη και τις δοκιμασίες στις οποίες θα υποβληθώ και συγκατατίθεμαι να συμμετάσχω αβίαστα. Διατηρώ το δικαίωμα να σταματήσω ή να αποσυρθώ όποτε εγώ κρίνω. Οι ερευνητές μου εξήγησαν τόσο προφορικά όσο και γραπτά τους κινδύνους και τα οφέλη που συνδέονται με τη συμμετοχή μου σε αυτή τη μελέτη ενώ μου έκαναν γνωστούς και τους όρους συμμετοχής μου σε αυτή. Για αυτό συναινώ να συμμετέχω στην εργασία.

Ημερομηνία : ____/____/201__

Ονοματεπώνυμο δοκιμαζόμενου : (Υπογραφή) _____

Ονοματεπώνυμο μάρτυρα : (Υπογραφή) _____



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

**Έντυπο Ενημέρωσης και Συναίνεσης Δοκιμαζόμενου για Συμμετοχή σε
Ερευνητική Εργασία**

Υπεύθυνοι Ερευνητικής Εργασίας:

Επιστημονικοί υπεύθυνοι της έρευνας: Καρανδρέας Νικόλαος, Αν. Καθηγητής, Γεράσιμος Τερζής, Επίκ. Καθηγητής

Υπεύθυνος Ερευνητής: Μεθενίτης Σπυρίδων, Διδακτορικός Φοιτητής

Ενημέρωση για την ερευνητική εργασία

Τα τελευταία χρόνια η αθλητική επιστήμη έχει προχωρήσει με γοργά βήματα. Ωστόσο, θεμελιώδη ερωτήματα παραμένουν ακόμη αναπάντητα. Είναι γνωστό ότι το νευρικό σύστημα επηρεάζει την αθλητική απόδοση, αλλά ελάχιστα γνωρίζουμε για τις επιδράσεις της συστηματικής άσκησης σε αυτό. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση πιθανών διαφορών στην ΤΑ μεταξύ αθλητών δύναμης, ισχύος και αντοχής.

Μεθοδολογική προσέγγιση του ερευνητικού προβλήματος

Στη συγκεκριμένη μελέτη θα συμμετάσχουν 40 υγιείς, νεαροί άνδρες. Θα γίνει αξιολόγηση (1) της σωματικής σύστασης, (2) της αερόβιας ικανότητας, (3) της μυϊκής ισχύος, (2) της κατανομής των μυϊκών ινών μέσω μυϊκής βιοψίας και (3) της ταχύτητας αγωγής νευρικών ώσεων πάνω στις μυϊκές ίνες μέσω ηλεκτρομυογραφήματος, με την χρήση βελοειδών ηλεκτροδίων.

Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Οι αθλητικές δοκιμασίες για την μέτρηση της μυϊκής ισχύος είναι γνώριμες στους δοκιμαζόμενους από την συμμετοχή τους σε αθλητικές δραστηριότητες. Είναι απλές δοκιμασίες οι οποίες δεν παρουσιάζουν καμία επικινδυνότητα. Η μυϊκή βιοψία γίνεται με τοπική αναισθησία και συνήθως δεν δημιουργεί καμία παρενέργεια. Την επόμενη μέρα ενδέχεται να νιώθεις μια ενόχληση («πιάσιμο») στο σημείο της λήψης. Σε κάθε περίπτωση, ειδικευμένο προσωπικό θα είναι στη διάθεσή σου για οποιαδήποτε συνδρομή. Η μέτρηση της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων γίνεται με βελονοειδή ηλεκτρόδια και ενδέχεται να υπάρχει μια αίσθηση τσιμπήματος για λίγα λεπτά.

Ζήτηση Πληροφοριών

Μη διστάσεις να κάνεις ερωτήσεις γύρω από κάθε διαδικασία. Αν έχεις κάποιες αμφιβολίες ή ερωτήσεις ζήτησέ μας να σου δώσουμε πρόσθετες εξηγήσεις. Τα αποτελέσματα των δικών σου μετρήσεων θα είναι στη διάθεσή σου μετά το τέλος των αναλύσεων. Δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. σε επιστημονικές μελέτες) μπορεί να γίνει μόνο ανώνυμα. Επίσης, μπορείτε να καταφύγετε στους υπεύθυνους για την έρευνα για ερωτήσεις ή για παράπονα. Να θυμάσαι ότι **είσαι ελεύθερος να αποσυρθείς από τη μελέτη όποτε εσύ θέλεις**.

Ελευθερία Συναίνεσης

Δηλώνω υπεύθυνα ότι έλαβα σαφείς γραπτές και προφορικές πληροφορίες για τη μελέτη και τις δοκιμασίες στις οποίες θα υποβληθώ και συγκατατίθεμαι να συμμετάσχω αβίαστα. Διατηρώ το δικαίωμα να σταματήσω ή να αποσυρθώ όποτε εγώ κρίνω. Οι ερευνητές μου εξήγησαν τόσο προφορικά όσο και γραπτά τους κινδύνους και τα οφέλη που συνδέονται με τη συμμετοχή μου σε αυτή τη μελέτη ενώ μου έκαναν γνωστούς και τους όρους συμμετοχής μου σε αυτή. Για αυτό συναινώ να συμμετέχω στην εργασία.

Ημερομηνία : ____/____/201__

Ονοματεπώνυμο δοκιμαζόμενου : (Υπογραφή) _____

Ονοματεπώνυμο μάρτυρα : (Υπογραφή) _____



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

**Έντυπο Ενημέρωσης και Συναίνεσης Δοκιμαζόμενου για Συμμετοχή σε
 Ερευνητική Εργασία**

Υπεύθυνοι Ερευνητικής Εργασίας:

Επιστημονικοί υπεύθυνοι της έρευνας: Καρανδρέας Νικόλαος, Αν. Καθηγητής, Γεράσιμος Τερζής, Επίκ. Καθηγητής

Υπεύθυνος Ερευνητής: Μεθενίτης Σπυρίδων, Διδακτορικός Φοιτητής

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η αθλητική επιστήμη έχει προχωρήσει με γοργά βήματα. Ωστόσο, θεμελιώδη ερωτήματα παραμένουν ακόμη αναπάντητα. Ένα από αυτά τα ερωτήματα αναφέρεται στις προσαρμογές της πλειομετρικής άσκησης όταν αυτή συνοδεύεται από αερόβια άσκηση. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της επίδρασης της προπόνησης ισχύος και του συνδυασμού προπόνησης ισχύος με αερόβια προπόνηση στην ταχύτητα αγωγής των νευρικών ώσεων στις μυϊκές ίνες.

Μεθοδολογία

Νεαρές γυναίκες θα υποβληθούν σε ένα πρόγραμμα πλειομετρικής άσκησης για 6 εβδομάδες (3φορ./εβδ). Για τις μισές από τις ασκούμενες κάθε συνεδρία θα ολοκληρώνεται με 30 λεπτά αερόβιας άσκησης. Πριν και μετά από την προπονητική περίοδο θα μετρηθεί η μυϊκή δύναμη και η ισχύς στην «πίεση ποδιών» και το κατακόρυφο άλμα καθώς και η μέγιστη αερόβια ισχύς. Επίσης, θα μετρηθεί η ταχύτητα αγωγής νευρικών ώσεων και η κατανομή των μυϊκών ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυ με μυϊκή βιοψία, από εξειδικευμένο ιατρό.

Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Οι αθλητικές δοκιμασίες για την μέτρηση της μυϊκής ισχύος είναι γνώριμες στους δοκιμαζόμενους από την συμμετοχή τους σε αθλητικές δραστηριότητες. Είναι απλές δοκιμασίες οι οποίες δεν παρουσιάζουν καμία επικινδυνότητα. Η μυϊκή βιοψία γίνεται με τοπική αναισθησία και συνήθως δεν δημιουργεί καμία παρενέργεια. Ωστόσο, οι δοκιμαζόμενοι αναφέρουν συχνά ένα αίσθημα πίεσης στο σημείο λήψης. Την επόμενη μέρα ενδέχεται να νιώθεις μια ενοχλήση («πιάσιμο») στο σημείο της λήψης. Σε κάθε περίπτωση, ειδικευμένο προσωπικό θα είναι στη διάθεσή σου για οποιαδήποτε συνδρομή. Η μέτρηση της ταχύτητας αγωγής των νευρικών ώσεων γίνεται με βελονοειδή ηλεκτρόδια και ενδέχεται να υπάρχει μια αίσθηση τσιμπήματος για λίγα λεπτά.

Ζήτηση Πληροφοριών

Μη διστάσεις να κάνεις ερωτήσεις γύρω από κάθε διαδικασία. Αν έχεις κάποιες αμφιβολίες ή ερωτήσεις ζήτησέ μας να σου δώσουμε πρόσθετες εξηγήσεις. Τα αποτελέσματα των δικών σου μετρήσεων θα είναι στη διάθεσή σου μετά το τέλος των αναλύσεων. Δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων (π.χ. σε επιστημονικές μελέτες) μπορεί να γίνει μόνο ανώνυμα. Επίσης, μπορείτε να καταφύγετε στους υπεύθυνους για την έρευνα για ερωτήσεις ή για παράπονα. Να θυμάσαι ότι **είσαι ελεύθερος να αποσυρθείς από τη μελέτη όποτε εσύ θέλεις**.

Ελευθερία Συναίνεσης

Δηλώνω υπεύθυνα ότι έλαβα σαφείς γραπτές και προφορικές πληροφορίες για τη μελέτη και τις δοκιμασίες στις οποίες θα υποβληθώ και συγκατατίθεμαι να συμμετάσχω αβίαστα. Διατηρώ το δικαίωμα να σταματήσω ή να αποσυρθώ όποτε εγώ κρίνω. Οι ερευνητές μου εξήγησαν τόσο προφορικά όσο και γραπτά τους κινδύνους και τα οφέλη που συνδέονται με τη συμμετοχή μου σε αυτή τη μελέτη ενώ μου έκαναν γνωστούς και τους όρους συμμετοχής μου σε αυτή. Για αυτό συναινώ να συμμετέχω στην εργασία.

Ημερομηνία : ____/____/201__

Ονοματεπώνυμο δοκιμαζόμενου : (Υπογραφή)_____

Ονοματεπώνυμο μάρτυρα : (Υπογραφή)_____



Δελτίο ατομικών στοιχείων και ιατρικού ιστορικού

Το παρόν έντυπο μας βοηθά να συλλέξουμε τα απαραίτητα δημογραφικά χαρακτηριστικά, καθώς και το πλήρες ιατρικό ιστορικό σας, ώστε να ενταχθείτε με ασφάλεια στην ερευνητική διαδικασία. Σας παρακαλούμε απαντήστε σε όλες τις ερωτήσεις.

Όνοματεπώνυμο			Ημ/νία Συμπλήρωσης:	
Ημ/νία Γεννήσεως			Φύλο:	Άνδρας Γυναίκα
Διεύθυνση:			Περιοχή/Πόλη:	
Τηλέφωνο Σπιτιού:			Κινητό Τηλέφωνο:	
E-mail			Έτος Σπουδών	
Ύψος (cm)			Βάρος (Kg)	
Συστολική Πίεση (mmHg)			Διαστολική Πίεση (mmHg)	
Καρδιακή Συχνότητα Ηρεμίας				

Καταγράψτε ασθένειες από τις οποίες πάσχετε και ακολουθείτε κάποια θεραπεία γι' αυτές

Α. ΚΑΡΔΙΟΑΓΓΕΙΑΚΑ ΝΟΣΗΜΑΤΑ

☐ Εγχείριση καρδιάς	NAI	ΟΧΙ	☐ Σύνδρομο Wolff-Parkinson	NAI	ΟΧΙ
☐ Καθετηριασμό καρδιάς	NAI	ΟΧΙ	☐ Σύνδρομο Lown-Ganong-Levine	NAI	ΟΧΙ
☐ Αρτηριοσκλήρυνση	NAI	ΟΧΙ	☐ Εμφύσημα	NAI	ΟΧΙ
☐ Υπερτροφική καρδ/θεια	NAI	ΟΧΙ	☐ Φλεβίτιδα	NAI	ΟΧΙ
☐ Πρόπτωση μιτροειδούς	NAI	ΟΧΙ	☐ Μεταμόσχευση καρδιάς	NAI	ΟΧΙ
☐ Σύνδρομο QT	NAI	ΟΧΙ	☐ Συγγενή καρδιοπάθεια	NAI	ΟΧΙ
☐ Μυοκαρδίτιδα	NAI	ΟΧΙ	☐ Θρομβώσεις	NAI	ΟΧΙ
☐ Καρδιακή ανακοπή	NAI	ΟΧΙ	☐ Υπερτροφία της δεξιάς κοιλίας	NAI	ΟΧΙ
☐ Αρρυθμίες	NAI	ΟΧΙ	☐ Σύνδρομο Marfan	NAI	ΟΧΙ
☐ Αγγειοπλαστική επέμβαση	NAI	ΟΧΙ	☐ Υπέρταση	NAI	ΟΧΙ
☐ Τοποθέτηση βηματοδότη	NAI	ΟΧΙ	☐ Υπόταση	NAI	ΟΧΙ
☐ Ασθένεια των βαλβίδων	NAI	ΟΧΙ	☐ Ευρυαγγεία	NAI	ΟΧΙ

☐ Στεφανιαίο νόσημα	NAI	OXI	☐ Άλλο:	
☐ Υπερτροφία της αρ. κοιλίας	NAI	OXI		

Β. ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΑ ΝΟΣΗΜΑΤΑ

☐ Διαβήτης τύπου I	NAI	OXI	☐ Οστεοπόρωση	NAI	OXI
☐ Αρθρίτιδα	NAI	OXI	☐ Θυροειδή	NAI	OXI
☐ Διαβήτης τύπου II	NAI	OXI	☐ Νεφρική ανεπάρκεια	NAI	OXI

Γ. ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΑ ΝΟΣΗΜΑΤΑ

☐ Δύσπνοια	NAI	OXI	☐ Βρογχίτιδα	NAI	OXI
☐ Άσθμα	NAI	OXI			

Δ. ΑΛΛΑ ΝΟΣΗΜΑΤΑ

☐ Αναιμία	NAI	OXI	☐ Καρκίνος	NAI	OXI
☐ Θερμοπληξία	NAI	OXI	☐ Λοιμώδης μονοπυρήνωση	NAI	OXI
☐ Επιληψία	NAI	OXI	☐ Δυσμυκτορία	NAI	OXI
☐ Οιδήματα	NAI	OXI	☐ Αλκοολισμό	NAI	OXI
☐ Ηπατίτιδα	NAI	OXI	☐ Κατάθλιψη	NAI	OXI
☐ Ρευματοειδή πυρετό	NAI	OXI	☐ Βουλιμία/ Ανορεξία	NAI	OXI
☐ Άλλο					

Δ. ΜΥΟΣΚΕΛΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ/ ΚΑΚΩΣΕΙΣ

☐ Προβλήματα ώμων	NAI	OXI	☐ Προβλήματα μέσης	NAI	OXI
☐ Προβλήματα αυχένα	NAI	OXI	☐ Προβλήματα αγκώνα	NAI	OXI
☐ Προβλήματα βραχίονα	NAI	OXI	☐ Προβλήματα γονάτων	NAI	OXI
☐ Προβλήματα αστραγάλων	NAI	OXI	☐ Προβλήματα δακτύλων	NAI	OXI
Άλλο:					

Έχετε κάποια αλλεργία;	NAI	OXI	Έχετε αλλεργία στη ξυλοκαΐνη ή σε κάποιο άλλο τοπικό αναισθητικό;	NAI	OXI
Εάν έχετε αλλεργία σε τι;					

Καταγράψτε όλα τα φάρμακα (και για ποιο λόγο) που παίρνετε σε σταθερή βάση.

Φάρμακο	Δοσολογία	Λόγος για τον οποίο έχει χορηγηθεί

Παρακαλώ καταγράψτε τα τυχόν χειρουργεία στα οποία έχετε υποβληθεί

Χειρουργείο	Έτος	Η ηλικία σας την χρονική στιγμή του χειρουργείου

Έχετε νοσηλευτεί ποτέ για κάποιο σοβαρό πρόβλημα υγείας, και αν ναι πότε και πού;

Παρουσιάζετε συχνά πόνους στην καρδιά, στήθος ή γειτονικές περιοχές ειδικά όταν ασκείστε ή κουράζεστε;	NAI	OXI
Πόσο συχνά έχετε την τάση να λιποθυμάτε ή να ζαλίζεστε σοβαρά όταν ασκείστε;	NAI	OXI
Αισθάνεστε ασυνήθιστη κούραση ή προβλήματα αναπνοής κατά την ηρεμία ή την ήπια κόπωση;	NAI	OXI
Έχετε ξυπνήσει τη νύχτα εξαιτίας κάποιας δυσφορίας, πόνου ή προβλήματος αναπνοής;	NAI	OXI
Παρουσιάζετε οιδήματα ή συσσώρευση υγρών στους ή γύρω από τους αστραγάλους σας;	NAI	OXI
Αισθάνεστε συχνά ταχυπαλμία ή άλλη ανωμαλία του καρδιακού σας κτύπου είτε σε ηρεμία ή άσκηση;	NAI	OXI
Αισθάνεστε συχνά ασυνήθιστο πόνο στις γάμπες σας και κάτω κατά τη διάρκεια άσκησης;	NAI	OXI

Λαμβάνετε κάποιο συμπλήρωμα διατροφής;	NAI	OXI
Εάν ναι τι είδος;		
Πόσο καιρό το λαμβάνετε;		
Σε τι ποσότητα;		

Ονοματεπώνυμο
Δοκιμαζόμενου:

Υπογραφή:



Ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας & άθλησης

Ονοματεπώνυμο		Ημ/νία	
		Συμπλ.:	
Γυμνάζεστε ή προπονήστε συστηματικά;		ΝΑΙ	ΌΧΙ
Εάν ναι τι είδος γυμναστικής/άθλησης πραγματοποιείτε;			
Πραγματοποιείτε συστηματικά προπόνηση με αντιστάσεις (βάρη);		ΝΑΙ	ΌΧΙ
Πόσο καιρό γυμνάζεστε/αθλήστε συστηματικά (συνεχόμενα);			
Πόσες φορές την εβδομάδα;			
Πόση ώρα την κάθε φορά;			

Στον παρακάτω πίνακα παρακαλώ συμπληρώστε τα χαρακτηριστικά της εβδομαδιαίας σας άθλησης/προπόνησης.

Παρακαλώ αναλύστε την ρουτίνα της προθέρμανση σας	
--	--

Για άσκηση με αντιστάσεις, συμπληρώστε τα χαρακτηριστικά όπως είναι. Για αερόβια άσκηση: επιβάρυνση=απόσταση σε μέτρα και δίπλα ο χρόνος κάλυψης της απόστασης

	Χαρακτ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δευτέρα	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										
Τρίτη	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										

Τετάρτη	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										
Πέμπτη	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										
Παρασκευή	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										
Σάββατο	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										
Κυριακή	Άσκηση										
	Σειρές (σετ)										
	Επαναλήψεις										
	Επιβάρυνση										
	Διάλλειμα / Σειρές										
	Διάλλειμα / Άσκηση										



Ερωτηματολόγιο Αξιολόγησης της Ποδοπλευρικότητας και του Κυρίαρχου Ποδιού (WFQ-R)

Ονοματεπώνυμο		Ημ/νία:	
----------------------	--	----------------	--

Οδηγίες:

Μην απαντήσεις απλά στην κάθε ερώτηση, αλλά προσπάθησε πρώτα να φανταστείς τον εαυτό σου να εκτελεί την κάθε δραστηριότητα.

Σε κάθε ερώτηση επέλεξε μόνο μία (1) από τις πέντε (5) απαντήσεις

Ερωτήσεις

No	Ερωτήσεις	Πάντα Αριστερό	Συνήθως Αριστερό	Εξίσου και τα δύο	Συνήθως Δεξί	Πάντα Δεξί
1	Ποιο πόδι θα χρησιμοποιούσες για να κλωστήσεις μια ακίνητη μπάλα σε έναν στόχο μπροστά σου;					
2	Εάν έπρεπε να σταθείς σε ένα πόδι, ποιο θα ήταν αυτό;					
3	Ποιο πόδι θα χρησιμοποιούσες, για να στρώσεις την άμμο στη παραλία;					
4	Εάν έπρεπε να ανέβεις πάνω σε μια καρέκλα, ποιο πόδι θα έβαζες πρώτο πάνω στη καρέκλα;					
5	Ποιο πόδι θα χρησιμοποιούσες, για να πατήσεις ένα γρήγορα κινούμενο έντομο;					
6	Εάν έπρεπε να ισορροπήσεις στο ένα πόδι πάνω σε μια γραμμή τρένου, ποιο πόδι θα χρησιμοποιούσες;					
7	Εάν ήθελες να σηκώσεις ένα βόλο με τα δάκτυλα του ποδιού σου, ποιο πόδι θα χρησιμοποιούσες;					

8	Εάν έπρεπε να κάνεις κουτσό με το ένα πόδι, ποιο θα χρησιμοποιούσες;					
9	Ποιο πόδι θα χρησιμοποιούσες, για να μπορέσεις να χώσεις ένα φτυάρι μέσα στο έδαφος;					
10	Όταν κάποιος στέκεται όρθιος σε θέση ανάπαυσης, αρχικά βάζει το περισσότερο από το βάρος του σώματος του στο ένα πόδι, αφήνοντας το άλλο ελαφρά λυγισμένο. Σε ποιο πόδι θα έβαζες το περισσότερο βάρος σου πρώτα;					

- 11 Υπάρχει κάποιος λόγος (π.χ. τραυματισμός) που έχεις αλλάξει την προτίμηση του ποδιού σου σε κάποια από τις παραπάνω δραστηριότητες;

ΝΑΙ

ΌΧΙ

- 12 Σου έχει ποτέ δοθεί ειδική προπόνηση ή ενθάρρυνση, για να χρησιμοποιήσεις συγκεκριμένο πόδι σε συγκεκριμένες δραστηριότητες;

ΝΑΙ

ΌΧΙ

- 13 Αν απάντησες με ΝΑΙ σε οποιαδήποτε από τις ερωτήσεις 11 ή 12, παρακαλώ εξήγησε τον λόγο

ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΑ ΑΡΘΡΑ

Πρώτο Δημοσιευμένο Άρθρο:

Methenitis, S. K., Zaras, N. D., Spengos, K. M., Stasinaki, A.-N. E., Karampatsos, G. P., Georgiadis, G. V., et al. (2016). Role of Muscle Morphology in Jumping, Sprinting, and Throwing Performance in Participants With Different Power Training Duration Experience. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 807-817

ROLE OF MUSCLE MORPHOLOGY IN JUMPING, SPRINTING, AND THROWING PERFORMANCE IN PARTICIPANTS WITH DIFFERENT POWER TRAINING DURATION EXPERIENCE

SPYRIDON K. METHENITIS,¹ NIKOLAOS D. ZARAS,¹ KONSTANTINOS M. SPENGOS,² ANGELIKI-NIKOLETTA E. STASINAKI,¹ GIORGOS P. KARAMPATOS,¹ GIORGOS V. GEORGIADIS,¹ AND GERASIMOS D. TERZIS¹

¹*Athletics Laboratory, School of Physical Education & Sport Science, University of Athens, Athens, Greece; and* ²*A' Neurology Clinic, Eginition Hospital, Medical School, University of Athens, Athens, Greece*

ABSTRACT

Methenitis, SK, Zaras, ND, Spengos, KM, Stasinaki, A-NE, Karampatos, GP, Georgiadis, GV, and Terzis, GD. Role of muscle morphology in jumping, sprinting, and throwing performance in participants with different power training duration experience. *J Strength Cond Res* 30(3): 807–817, 2016—The aim of the study was to examine the correlation between muscle morphology and jumping, sprinting, and throwing performance in participants with different power training duration experience. Thirty-six power-trained young men were assigned to 3 groups according to the length of their power training: less experienced (<1 year), moderately experienced (1–3 years), and experienced (4–7 years). All participants performed countermovement and squat jumps, 60-m sprint, and shot throws twice. Lean body mass (LBM) was evaluated with dual-energy x-ray absorptiometry and thigh muscle cross-sectional area (CSA) with anthropometry. The vastus lateralis architecture and fiber type composition were evaluated with ultrasonography and muscle biopsies, respectively. When all subjects were considered as 1 group ($n = 36$), jumping performance was correlated with LBM, fascicle length, and type II fiber CSA; sprinting performance was correlated with estimated thigh muscle CSA alone; and shot throwing was correlated with LBM and type I, IIA fiber CSA. In the least experienced group, the LBM of the lower extremities was the most significant contributor for power performance, whereas in the moderately experienced group, the LBM, architectural properties, and type II fiber percentage CSA were the most significant contributors. For the experienced group, fascicle length and type II fiber percentage CSA were the most significant factors for power

performance. These data suggest that jumping performance is linked with muscle morphology, regardless of strength or power training. The vastus lateralis muscle morphology could only partially explain throwing performance, whereas it cannot predict sprinting performance. Power performance in experienced participants rely more on the quality of the muscle tissue rather than the quantity.

KEY WORDS skeletal muscle power, track and field, explosive performance

INTRODUCTION

Muscle power is an essential component for performance in explosive activities such as sprinting, throwing, and jumping. It has been postulated that human muscle power depends on a number of biological variables such as the amount of muscle mass, muscle architecture, muscle fiber type composition, and neural activation during movement (11). Indeed, many studies have reported results on the relationship between performance in power-demanding activities, such as sprinting, throwing, and jumping, and certain neuromuscular variables. The results of these studies are often controversial because of methodological disparities, such as the training history or experience of the participants. Accordingly, it has been recognized that the contribution of each neuromuscular component of power performance might be affected by the individuals' training background because of different neuromuscular adaptations gained by the training practice (11,12).

For example, there are several reports regarding the relationship between body composition variables, muscle fiber type composition, muscle architectural properties, and jumping performance (3,4,6,14,17,27). However, the correlation coefficients between these morphological factors and jumping performance vary considerably: a Pearson's r range

Address correspondence to Spyridon K. Methenitis, smetheni@phed.uoa.gr.
30(3)/807–817

Journal of Strength and Conditioning Research
© 2015 National Strength and Conditioning Association

between 0.45 and 0.90. Moreover, these studies clearly show that there are more than one biological factors linked with jumping performance, although it is uncertain as to which of them are the most important or whether training experience alters the contribution of each of these factors.

In amateur or moderately trained individuals, body fat stores are detrimental to sprinting performance (1,9,10,20,33). Similarly, individuals with higher leg musculature demonstrate positive correlations with sprinting performance (time) (9,10,20). In these studies (9,10,20), the correlations between leg musculature and sprinting performance (times) were positive (Pearson's $r = 0.61$ – 0.62), which means that individuals with higher leg musculature have the worst (longer) sprinting times, i.e., poorer performance, perhaps due to higher body mass. In contrast, sprinting performance in well-trained or professional power athletes does not correlate with muscle cross-sectional area (33), total arm, trunk, thigh, and lower-leg skeletal muscle mass (2), and total (2) and lower extremities' lean body mass (LBM) (28). Additionally, in professional sprinters, architectural properties of vastus lateralis (VL) and gastrocnemius muscles do not correlate with 100-m sprinting, but only with the maximum running velocity (1). Although muscle fiber type composition is often referred to as a crucial determinant for sprinting performance, there are no data describing the connection between type II muscle fibers and sprinting performance in individuals with different power training backgrounds.

It seems that there is a consensus of studies describing a close correlation between LBM and shot-throwing performance regardless of the training background (22,23,36,38). In contrast, both in well-trained throwers (37) and in moderately trained individuals (36–38), the VL muscle fiber type composition does not seem to correlate with shot-throwing performance. No data exist about the impact of muscle architecture on throwing performance, although it remains obscure whether the length of power training affects these relationships. All above studies do not give a clear picture about the contribution of various biological parameters in jumping, sprinting, and throwing performance in participants with different training background. The aim of the study was to examine the contribution of the selected muscle morphological parameters in jumping, sprinting, and throwing performance, in participants with different duration of power training. It was hypothesized that, in experienced participants, the muscle quality characteristics such as architecture and fiber type composition would be of greater importance for power performance compared to amateur or moderately trained individuals.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

Three groups of power-trained participants with different duration of training performed sprinting, throwing, and jumping tests, while a number of muscle morphological

variables were measured, to evaluate their relationship with performance. During their first visit to the laboratory, participants signed the informed consent, body height or mass was evaluated, and medical histories were obtained. They were also examined by a trained physician for limiting health impediments and were asked to complete the weekly recall self-reported physical activity questionnaire. Also, their lower extremity dominance was evaluated with the revised Waterloo Footedness Questionnaire (WFQ-R, intraclass correlation [ICC] = 0.92), as previously described (15). In their second and third visits they were familiarized with the testing procedures by performing all tests twice. The final physical tests were performed twice on different days and in a random order. All participants had the same number of laboratory visits with the same number of days between visits for rest. At least 2 of the coauthors were present during the evaluations and vocally encouraged each effort. The best performance was recorded and used for statistical analysis. During the last visit, the body composition was evaluated with dual-energy x-ray absorptiometry, the muscle cross-sectional area (CSA) of the dominant thigh was estimated with anthropometry, VL architecture was evaluated with B-mode ultrasonography, and VL muscle biopsies were obtained.

Subjects

Participants (range, 19–33 years) responded to a written announcement for the study, which was posted in track and field, basketball, volleyball, and weightlifting training clubs. Responders were informed about the study protocols and inclusion criteria, and they were asked to complete the weekly recall self-reported questionnaire to determine their level of physical activity, training experience, training frequency, training duration per session, and total weekly workload (ICC = 0.95, 95% confidence interval [CI]: lower = 0.90, upper = 0.98; $p < 0.0001$, $n = 10$). After the evaluation of the weekly recall self-reported questionnaire, volunteers aging between 18 and 30 years with no restraining orthopedic or neuromuscular problems or steroid or nutritional supplement use were recruited. Thirty-six healthy young males who were fulfilling these criteria were assigned to 3 groups (Table 1): Nonexperienced (NE; $n = 12$) with ≤ 1 year of power training, moderately experienced (ME; $n = 12$) with >1 – 3 years of training experience, and experienced (E; $n = 12$) with >3 years of training experience, according to the classification proposed by Cormie et al. (11,12). Care was taken so that each group consisted of a similar number of athletes participating in a single sport. Thus, each group included 4–5 basketball players, 2–3 sprinters, 2–3 jumpers, and 2–3 resistance-trained individuals. The training frequency was 3 times per week for the NE group, 3–5 times per week for the ME group, and 4–6 times per week for the E group. All participants performed strength and power training sessions in their weekly training programs (usually 3 to 6 sets of 1 to 6 repetition maximum [RM]), which included olympic weightlifting and multijoint resistance

TABLE 1. Participants' characteristics and performance.*†

	NE (n = 12)	ME (n = 12)	E (n = 12)
Age (y)	22.4 ± 2.3	22.6 ± 2.1	23.4 ± 4.5
Months of regular training‡§	6.80 ± 2.4	24.37 ± 10.02	69.5 ± 20.4
Frequency (times per week)‡§	2.5 ± 0.4	4.1 ± 0.7	5.4 ± 0.2
Resistance exercise workload per week (Kg)‡§	8,549.1 ± 2,488.1	13,280.2 ± 5,408.9	21,211.4 ± 6,930.1
Aerobic workload per week (m)‡§	35,701.5 ± 881.6	52,800.7 ± 1,008.8	76,724.1 ± 3,074.7
Duration of training unit (min)‡§	70.1 ± 3.1	78.2 ± 5.4	83.7 ± 4.1
Height (cm)	176.6 ± 7.1	177.3 ± 7.4	179.2 ± 8.5
Weight (Kg)	73.1 ± 9.5	75.1 ± 7.7	80.4 ± 9.1
Body fat (%)	15.5 ± 6.9	14.5 ± 6.1	14.2 ± 5.5
Total LBM (Kg)‡	55.1 ± 5.1	57.8 ± 4.1	63.9 ± 5.6
Lower extremities' LBM (Kg)‡	20.7 ± 2.1	22.5 ± 1.4	24.7 ± 2.3
Thigh muscle CSA (cm ²)‡	134.7 ± 12.1	142.3 ± 16.9	154.3 ± 13.6
VL muscle thickness (cm)	2.1 ± 0.3	2.3 ± 0.3	2.6 ± 0.3
VL pennation angle (°)	14.9 ± 2.2	15.5 ± 2.3	16.9 ± 1.9
VL fascicle length (cm)‡	6.4 ± 0.5	7.1 ± 0.6	8.8 ± 0.8
VL type I (%)	49.3 ± 7.8	48.1 ± 10.1	48.8 ± 7.7
VL type IIa (%)‡	37.6 ± 9.1	40.1 ± 5.9	42.6 ± 6.8
VL type IIx (%)‡	13.2 ± 4.9	11.8 ± 7.9	8.4 ± 3.7
VL type I CSA (μm ²)	4,833 ± 611.4	5,043.6 ± 717.8	5,235.1 ± 810.3
VL type IIa CSA (μm ²)‡	4,833.5 ± 533.4	6,086.5 ± 377.1	6,772.4 ± 299.6
VL type IIx CSA (μm ²)‡	4,163.6 ± 138.6	4,583.2 ± 275.4	4,997.4 ± 232.5
VL % CSA type I	46.5 ± 9.7	45.2 ± 9.1	43.8 ± 7.9
VL % CSA type IIa‡	41.9 ± 3.7	45.1 ± 4.6	48.9 ± 4.8
VL % CSA type IIx‡	11.5 ± 4.9	9.6 ± 5.1	7.2 ± 3.4
0–10-m sprint time (s)‡	1.9 ± 0.1	1.7 ± 0.1	1.5 ± 0.1
0–60-m sprint time (s)‡	9.3 ± 0.4	8.5 ± 0.2	7.9 ± 0.5
6-Kg squat underhand throw (m)	10.1 ± 1.3	11.2 ± 0.7	12.9 ± 1.6
6-Kg 1-arm standing throw (m)‡	7.7 ± 0.6	8.7 ± 0.8	9.5 ± 1.3
CMJ height (cm)	40.1 ± 0.2	41.4 ± 0.6	41.5 ± 0.7
SJ height (cm)	34.2 ± 0.4	35.7 ± 0.4	36.1 ± 0.6
CMJ power (W)‡	1,000.8 ± 138.7	1,274.6 ± 82.4	1,488.8 ± 184.9
SJ power (W)‡	844.4 ± 213.4	1,001.8 ± 99.7	1,270.4 ± 197.1

*NE = participants with less than a year of training experience; ME = participants with 1–3 years of training experience; E = participants with >3 years of training experience; LBM = lean body mass; CSA = cross-sectional area; % CSA = percentage area of muscle occupied by a muscle fiber type; VL = vastus lateralis; CMJ = countermovement jump; SJ = Squat Jump.

‡Values are mean ± SD.

‡Statistical significant differences among all groups in each parameter.

§Data from weekly recall self-report questionnaire and the mean weekly workloads at the particular time in which this study was performed.

exercises for the major muscle groups (leg press, benchpress, half squat, etc). Moreover, sprinting, plyometric, and ballistic exercises, such as drop jumps, countermovement jumps (CMJ), and bench-press throws (0–60% of 1RM), were performed 1–4 times weekly. All procedures were conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the local university ethics committee, and all participants signed an informed consent form before entering the research procedure.

Procedures

Jumping Performance. Countermovement jumps and squat jumps (SJ) were performed on a contact mat (TesyS Suite Ergo System, Globus Sport & Health Technologies, Codogne, Italy), according to previously described protocols (6–8).

Individuals started with a 5-minute warmup on a stationary bicycle and 5-minute stretching of the lower extremities' major muscle groups. Then, 3 CMJs with submaximal but progressively higher intensity were performed. Subsequently, 3 maximal efforts for each jumping technique were performed, with 2 minutes of rest between attempts with hands placed on hips. Jumping height and power were automatically calculated using the TESys Suite Ergo System, according to the following equations: jump height (m) = $(9.81 \times \text{flight time})^2 \times 8^{-1}$, and power (W) = $60.7 \times \text{jump height} + 45.3 \times \text{body weight} - 2055$ (31). The best effort was used for further analysis. The ICC for the SJ and the CMJ were 0.90 (95% CI: lower = 0.89, upper = 0.99) and 0.91 (95% CI: lower = 0.90, upper = 0.99), respectively, with $p < 0.0001$ and $n = 13$ (40).

Sprinting Performance. Sprinting performance, i.e., sprinting time, (60-m) was measured outdoors on a track surface at an ambient temperature of 19–23°C and wind velocity between 0 to +0.8 m·s⁻¹, which is lower than the wind speed limit of 2 m·s⁻¹, which is allowed by the International Association of Athletics Federations. Three pairs of wireless photocells (accuracy 0.01 seconds; Brower Timing System, Draper, UT, USA), were placed at 0, 10, and 60 m for recording the respective time between 0–10 m and 0–60 m. Sprinting began with a signal from a coauthor and finalized at 60 m. After 10 minutes of a short warmup, which included jogging, stretching, and ballistic exercises of the lower extremities' major muscle groups and 2–3 submaximal sprints, participants performed 3 consecutive trials with maximal effort, separated by 6–8 minutes intervals. The best performance was used in statistics (ICC = 0.91, 95% CI: lower = 0.88, upper = 0.95; $p < 0.0001$, $n = 15$).

Throwing Performance. Two throwing tests with minimum technical demands were selected to determine the shot put-throwing performance, and all participants had elementary shot-put technique training (4 hours in total) before entering the study. The shot-put throwing performance was measured with a 6-kg shot standing underhand throw and 1-arm standing throw with the legs in parallel (ICC = 0.89 and 0.90, 95% CI: lower = 0.85 and 0.87, upper = 0.92 and 0.95, respectively; $p < 0.0001$, $n = 10$). All measurements were performed outdoors on a standard circle during the morning hours at an ambient temperature of 18–23°C. After a short warm up (jogging, stretching, 2–4 near-maximum throws) subjects performed 3 trials of each test, with an interval of 2 minutes between attempts, and the best performance was recorded and further used in statistics.

Body Composition and Thigh Cross-Sectional Area. Dual-energy x-ray absorptiometry was used to evaluate the body composition. A total body scan was performed (DPX-L; LUNAR Radiation, Madison, WI, USA). All measurements were analyzed using the LUNAR radiation body composition program. Fat mass and LBM were determined for the total body and for the lower extremities (ICC for lower extremities LBM = 0.98, [95% CI: lower = 0.95, upper = 0.99], total LBM = 0.93, [95% CI: lower = 0.89, upper = 0.97], total % fat = 0.90, [95% CI: lower = 0.85, upper = 0.96], and lower extremities % fat = 0.94, [95% CI: lower = 0.88, upper = 0.98], $p < 0.0001$, $n = 13$). Thigh CSA of the dominant leg was estimated with anthropometry and skinfold measurements (19). The midthigh circumference was measured at a standing position with a plastic tape at the nearest 0.1 cm. The anterior midthigh skinfold was also measured (19). Each skinfold was measured twice by the same investigator with a Harpenden skinfold caliper (CMS Weighing Equipment, London, United Kingdom), as close as 0.1 mm. Thigh CSA was estimated using the Housh multiple regression: total thigh muscle CSA = (4.68 · midthigh circumference in cm) – (0.64 · anterior

thigh skinfold in mm) – 22.69 (19). The ICC for this evaluation was 0.89 (95% CI: lower = 0.81, upper = 0.93, $p < 0.0001$, $n = 15$).

Muscle Morphology. All ultrasound images were obtained during the morning hours, 5 days after the last power-demanding evaluation session. B-mode ultrasound images were obtained from the right VL of the dominant leg with a 45-mm linear probe (6.5 MHz, MicroMaxx Ultrasound System, Sonosite, Bothel, USA), in supine position with knees fully extended and muscles relaxed. Sonographs were taken at the middle of the muscle, 50% of the distance from the central palpable point of the greater trochanter to the lateral condyle of the femur (5,32). A water-soluble gel was applied to the transducer to aid acoustic coupling and reduce the needed pressure from the probe against the muscle. The transducer was placed longitudinally at femur, oriented in parallel to the muscle fascicles, and perpendicular to the skin. Images were analyzed for muscle thickness, fascicle angle, and fascicle length with image analysis software (Motic Images Plus, 2.0). Muscle thickness was defined as the mean of the distances between the superficial and deep aponeurosis measured at the ends of each 45-mm wide sonographs, pennation angle as the angle of insertion of muscle fascicles into the deep aponeurosis, and fascicle length as the fascicular path between the insertions of the fascicle into the upper and deeper aponeurosis (32). When the fascicle extended out of the image, the length of the missing portion of the fascicle was estimated by linear extrapolation of both fascicular path and the aponeurosis (1,5,32). The error introduced by these techniques depends on the degree of curvature of the fascicle and is less than 2.3% (30). The reliability for the measurement of muscle thickness (ICC = 0.976 [95% CI: 0.954–0.988], $p < 0.0001$), fascicle angle (ICC = 0.862 [95% CI: 0.746–0.928], $p < 0.0001$), and fascicle length (ICC = 0.834 [95% CI: 0.700–0.911], $p < 0.0001$) was determined on another occasion, on 2 consecutive days by the same investigator ($n = 36$).

Muscle Biopsies and Histochemistry. Muscle samples were obtained with Bergström needles from VL of the dominant lower extremity under local anesthesia, at the midpoint between the patella, and the greater trochanter. Samples were aligned, placed in embedding compound, and frozen in isopentane precooled to its freezing point and subsequently stored in liquid nitrogen until analysis. Serial 10-μm thick cross sections were cut at –20°C and stained for myofibrillar ATPase after preincubation at pH 4.3, 4.6, and 10.3 (13). A mean of 654 ± 51 muscle fibers from each participant were classified as type I, IIA, or IIX. The CSA of all classified muscle fibers was measured with an image analysis system (Image-Pro, Media Cybernetics Ins, Silver Spring, MD, USA) at a known and calibrated magnification. The ICCs for the percentage of type I, IIA and IIX fibers in our laboratory are 0.96, 0.95 and 0.93, respectively (37).

Statistical Analyses

For the determination of the sample size, an a priori power analysis (G*Power ver 3.1, Frank Faul; Universität Kiel, Kiel, Germany), was performed according to previous descriptions (16). Power analysis revealed that the actual power was between 0.85 and 0.91 for correlations, 0.90 for the differences among groups, and 0.70 for the canonical correlations (see below). All data are presented as mean $\pm$ SD. One-way analyses of variance with Bonferroni post hoc multiple comparison test were employed to determine the differences among the 3 subgroups. The Pearson's product-moment correlation coefficient was used to explore correlations between variables. The interpretation of the observed correlations was performed according to Hopkins' ranking: correlations coefficients between 0.3 and 0.5 were considered moderate, between 0.51 and 0.7 large, between 0.71 and 0.9 very large, and >0.91 almost perfect (18). Stepwise regression analysis was performed to evaluate the best linear combination of biological factors for prediction of performance for each physical test.

Moreover, we aimed to identify any potential link between power performance and muscle morphology when all jumping performance tests were considered together as "jumping performance," all sprinting performance tests were considered together as "sprinting performance," all throwing performance tests were considered together as "throwing performance," and all the muscle morphology tests were considered together as "biological variables." Namely, except from the investigation of the correlation between muscle morphology and performance for each power test, a central question addressed in this study was the determination of the contribution of the selected biological factors on universal sprinting, throwing, and jumping abilities of individuals with different power training histories. Canonical correlation (34) allows the evaluation of this research question by combining sets of several variables (sprinting, throwing, jumping, and biological factors). According to the assumptions of canonical correlation (34), and preplanned exploration of relationships and the grandness of each biological factor based on the literature, we decided to include the following parameters to a single independent biological factor (explanatory variables): Body Mass Index, lower extremities' LBM, thigh muscle CSA, VL thickness fascicle angle, fascicle angle length, and % CSA of type IIA and IIX muscle fibers. For sprinting performance 0–60-m and 0–10-m time were included, for throwing performance standing underhand throw and 1-arm standing throw performance were included, and finally for jumping performance CMJ and SJ heights and power were included. Cross loadings with $r > 0.300$ were considered significant (34). Statistical analyses were performed with SPSS Statistics Ver. 20 (IBM Corporation, Chicago, IL, USA). Statistical significance was accepted at $p \leq 0.05$ for all tests.

RESULTS

Differences Among Groups

Data collected with the weekly recall self-reported questionnaire revealed significant differences among groups in all

training parameters (Table 1). Significant differences were also found among groups in total and lower extremities' LBM, thigh muscle CSA, and VL fascicle length, although no differences were found in VL thickness and fascicle angle (Table 1). The percentage CSA of type IIA and IIX muscle fibers were significantly higher in the E group. Sprinting performance was also higher for the E group. Similarly, 1-arm shot-put performance and jumping power were also higher in analogy to the training experience, i.e., NE < ME < E ($p \leq 0.05$, Table 1).

Correlations Between Muscle Morphology and Performance ($n = 36$)

Power during jumping closely correlated with total and lower extremities' LBMs, whereas lower correlations were found with VL thickness, fascicle length, and CSA of type IIA and IIX muscle fibers (Table 2). Low but significant correlation was found between performance (time) in 10-m sprinting and VL thickness, fascicle angle, and estimated thigh CSA ($r = 0.40$, and $r = 0.32$, $r = 0.42$, $p \leq 0.05$, respectively). Shot-put throwing significantly correlated with total and lower extremity LBMs (range of $r = 0.45$ – 0.50 , $P \leq 0.05$) and with VL type I and IIA fiber CSA (Pearson's $r = 0.32$ – 0.44 , $p \leq 0.05$). Stepwise regression analysis did not reveal any significant model ($p > 0.05$).

Correlations Between Muscle Morphology and Performance in Each Group

Squat jump height and power were significantly correlated with total and lower extremities' LBMs, whereas SJ height correlated with the CSA of all fiber type of VL in the NE group (Table 3). In this group, significant correlations were also found between CMJ height and type II fibers and type II fiber percentage CSA (Table 3). Similarly, in the ME group, a close link was found between jumping power and total and lower extremities' LBMs (Table 4). Moreover, in this group SJ power was significantly correlated with VL fascicle length ($r = 0.73$, $p \leq 0.05$), and with the CSA of type IIA fibers ($r = 0.57$, $p \leq 0.05$). The maximum power measured during the SJ was closely correlated with total and lower extremities' LBM in the E group ($r = 0.79$ and $r = 0.75$, $p \leq 0.05$, respectively; Table 5). In the same participants, there was a close correlation between CMJ power and fascicle length ($r = 0.57$, $p \leq 0.05$), and between jumping power and VL muscle fiber type IIX CSA ($r = 0.64$, and $r = 0.71$, $p \leq 0.05$, respectively). Performance in 10-m sprint (sprinting time) did not correlate with any of the biological variables in any group, except a moderate correlation with percentage CSA of type IIA muscle fibers and a negative correlation with fascicle angle, in the ME participants ($r = 0.61$, and $r = -0.65$, $p \leq 0.05$, respectively). No significant correlation was found between any of the biological variables and time to run the 60 m. Shot-put throwing performance was significantly correlated only with LBM and VL fascicle length in the NE participants ($r = 0.58$ and 0.63 , respectively, $p \leq 0.05$).

TABLE 2. Correlation coefficients (Pearson's r) between sprinting, throwing, and jumping performance and muscle morphology, for all participants as a group ($n = 36$).*

Parameter	LBM		Estimated muscle CSA	VL architecture			VL fiber CSA		
	Total	Lower extremities	Thigh	Thickness	Fascicle length	Fascicle angle	I	IIA	IIX
Sprint time†									
0–10 m	–0.02	–0.08	0.26	0.19	–0.05	–0.10	–0.10	–0.02	–0.02
0–60 m	0.29	0.23	0.40‡	0.42‡	0.23	0.32‡	0.03	0.19	0.22
Shot throws									
Underhand	0.48‡	0.51‡	0.09	0.02	0.22	–0.05	0.16	0.44‡	0.36‡
1-arm	0.46‡	0.50‡	0.18	0.05	0.26	0.05	0.16	0.39‡	0.32‡
Jumps									
SJ height	0.25	0.32‡	0.09	–0.02	0.29	–0.04	0.09	0.23	0.32‡
CMJ height	0.21	0.27	0.04	–0.01	0.32‡	0.02	0.00	0.17	0.22
SJ power	0.79‡	0.81‡	0.50‡	0.36‡	0.36‡	0.08	0.27	0.47‡	0.52‡
CMJ power	0.60‡	0.67‡	0.46‡	0.23	0.32‡	0.14	0.14	0.37‡	0.43‡

*LBM = lean body mass; CSA = cross-sectional area; VL = vastus lateralis; SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump.

†All positive correlations between sprinting time and biological factors denote a detrimental effect on performance (i.e., the sprinting time is increased).

‡ $P \leq 0.05$.**Canonical Correlation for Power Performance**

Canonical correlation coefficients, ranged between 0.848 and 0.997 ($p \leq 0.05$), for the set of selected muscle biological parameters and general jumping, sprinting, and throwing performance, for both total number of participants and each group separately (Table 6). According to the importance of

cross loadings ($r > 0.300$), the most significant morphological factor for explosive performance, when all participants were analyzed together, was the lower extremities' LBM ($r = 0.499$ – 0.700) followed by the rest of the anthropometric factors ($r = 0.406$ – 0.621), VL fascicle length and fiber type composition ($r = -0.354$ to 0.559 , Table 6). The most

TABLE 3. Correlation coefficients between sprinting, throwing, and jumping performance and muscle morphology for participants with the least training experience (NE, $n = 12$).*

Parameter	LBM		Estimated muscle CSA	VL architecture			VL fiber CSA		
	Total	Lower extremities	Thigh	Thickness	Fascicle length	Fascicle angle	I	IIA	IIX
Sprint time									
0–10 (m)	0.08	0.21	0.50	0.39	0.45	0.24	–0.22	–0.14	0.02
0–60 (m)	–0.08	0.07	0.38	0.29	0.48	–0.25	–0.08	–0.07	–0.06
Shot throws									
Underhand	0.44	0.41	0.20	–0.25	0.63‡	0.08	0.14	0.24	0.17
1-arm	0.58‡	0.45	0.37	–0.09	0.44	0.03	0.25	0.39	0.38
Jumps									
SJ height	0.69‡	0.74‡	0.54	–0.05	–0.34	–0.01	0.57‡	0.64‡	0.73‡
CMJ height	0.35	0.54	0.05	–0.34	–0.46	0.40	0.30	0.40	0.36
SJ power	0.72‡	0.83‡	0.41	0.29	–0.09	0.04	0.33	0.43	0.50
CMJ power	0.45	0.61‡	0.43	0.00	–0.18	0.05	0.15	0.30	0.27

*LBM = lean body mass; CSA = cross-sectional area; VL = vastus lateralis; SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump.

‡ $P \leq 0.05$.

TABLE 4. Correlation coefficients between sprinting, throwing, and jumping performance and muscle morphology for participants with 1–3 years of training experience (ME, $n = 12$).*

Parameter	LBM		Estimated muscle CSA	VL architecture			VL fiber CSA		
	Total	Lower extremities	Thigh	Thickness	Fascicle length	Fascicle angle	I	IIA	IIX
Sprint time									
0–10 (m)	0.16	0.13	0.21	0.48	0.18	−0.65†	0.12	0.19	0.15
0–60 (m)	−0.11	−0.20	0.37	−0.19	−0.45	−0.17	−0.52	−0.16	0.13
Shot throws									
Underhand	0.38	0.43	−0.42	0.20	0.55	0.31	0.58†	0.50	0.31
1-arm	0.19	0.35	−0.07	0.18	0.21	0.36	0.29	0.44	0.22
Jumps									
SJ height	−0.09	−0.14	−0.07	0.08	0.57†	0.18	−0.01	0.11	0.05
CMJ height	−0.02	0.09	0.15	0.17	0.64†	0.05	0.09	0.09	0.01
SJ power	0.75†	0.68†	0.41	0.35	0.73†	0.28	0.16	0.57†	0.39
CMJ power	0.72†	0.69†	0.53	0.17	0.35	0.32	−0.05	0.46	0.34

*LBM = lean body mass; CSA = cross-sectional area; VL = vastus lateralis; SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump.
† $P \leq 0.05$.

important morphological factor for explosive performance in the NE group was the lower extremities' LBM ($r = 0.558$ – 0.770) followed by the rest of the anthropometric factors ($r = 0.401$ – 0.741). Vastus lateralis fascicle length and fiber type composition showed minor or no significant contribution to performance in this group. For the ME group, explosive performance depended on anthropometric factors, VL archi-

tectural properties, and type IIA or IIX percentage CSA. For the E group, sprinting performance was linked primarily with the percentage CSA of type IIA, IIX fibers ($r = -0.488$, and -0.504 , respectively) and with fascicle length ($r = -0.404$, Table 6). The most important factors for throwing performance were lower extremities' LBM ($r = 0.603$), type IIA percentage CSA ($r = 0.615$), and VL fascicle length

TABLE 5. Correlation coefficients between sprinting, throwing, and jumping performance and muscle morphology for participants with over 3 years of training experience (E, $n = 12$).*

Parameter	LBM		Estimated muscle CSA	VL architecture			VL fiber CSA		
	Total	Lower extremities	Thigh	Thickness	Fascicle length	Fascicle angle	I	IIA	IIX
Sprint time									
0–10 (m)	0.40	0.14	0.29	0.27	−0.02	−0.17	0.19	0.39	0.38
0–60 (m)	0.01	−0.20	0.16	0.28	−0.20	0.06	0.04	0.06	−0.07
Shot throws									
Underhand	0.41	0.47	−0.16	−0.18	0.30	−0.48	−0.07	0.49	0.45
1-arm	0.36	0.44	−0.14	−0.27	0.33	−0.29	−0.07	0.23	0.30
Jumps									
SJ height	0.28	0.41	−0.03	−0.17	0.33	−0.18	−0.14	0.19	0.38
CMJ height	0.31	0.40	−0.09	−0.09	0.34	−0.19	−0.26	0.12	0.34
SJ power	0.79†	0.74†	0.34	0.19	0.35	−0.21	0.15	0.37	0.64†
CMJ power	0.73†	0.75†	0.33	0.33	0.59†	−0.03	0.18	0.50	0.71

*LBM = lean body mass; CSA = cross-sectional area; VL = vastus lateralis; SJ = squat jump; CMJ = countermovement jump.
† $P \leq 0.05$.

TABLE 6. Multifactorial canonical correlation analysis results and cross loadings, with biological factors as explanatory variables of sprinting, throwing, and jumping performance.*†

	Total (<i>n</i> = 36)	NE (<i>n</i> = 12)	ME (<i>n</i> = 12)	E (<i>n</i> = 12)
Sprinting performance				
Canonical correlation coefficient (r_c/p)	0.878/0.030	0.848/0.010	0.997/0.003	0.906/0.032
Body mass index	n.s.	0.403	n.s.	n.s.
LBM lower extremities	0.499	0.558	0.453	n.s.
Thigh muscle CSA	0.406	0.467	0.45	0.309
VL thickness	0.386	0.401	0.395	0.351
VL fascicle length	-0.476	n.s.	-0.361	-0.404
VL pennation angle	0.387	0.449	0.304	0.301
% CSA type IIa	n.s.	n.s.	-0.363	-0.488
% CSA type IIx	-0.354	n.s.	-0.482	-0.504
Throwing performance				
Canonical correlation coefficient (r_c/p)	0.900/0.034	0.980/0.003	0.943/0.010	0.995/0.007
Body mass index	0.621	0.741	0.582	0.443
LBM lower extremities	0.650	0.763	0.606	0.603
Thigh muscle CSA	0.520	0.640	0.457	0.452
VL thickness	0.479	0.546	0.489	0.358
VL fascicle length	0.500	n.s.	0.487	0.566
VL pennation angle	0.324	n.s.	0.346	0.35
% CSA type IIa	0.559	0.341	0.572	0.615
% CSA type IIx	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Jumping performance				
Canonical correlation coefficient (r_c/p)	0.955/0.020	0.981/0.040	0.978/0.030	0.922/0.020
Body mass index	0.412	0.491	0.382	n.s.
LBM lower extremities	0.700	0.770	0.690	0.549
Thigh muscle CSA	0.434	0.501	0.428	0.406
VL thickness	0.451	0.600	0.350	n.s.
VL fascicle length	0.401	n.s.	0.412	0.730
VL pennation angle	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
% CSA type IIa	0.503	0.323	0.407	0.671
% CSA type IIx	0.312	n.s.	n.s.	0.421

*NE = participants with <1 year of training experience; ME = participants with 1–3 years experience; E = participants with >3 years experience; n.s. = not significant ($r < 0.30$); LBM = lean body mass; % CSA = cross-sectional area, percentage area of muscle occupied by a muscle fiber type; VL = vastus lateralis.

†Only significant cross loadings ($r > 0.300$) are represented.

($r = 0.566$), followed by the rest of the anthropometric factors (Table 6). The most essential factor for jumping performance was VL fascicle length ($r = 0.730$), whereas anthropometric factors ($r = 0.406$ – 0.549 , Table 6) and muscle fiber composition had almost the same impact.

DISCUSSION

The main finding of this study was that the relationships between selected muscle biological parameters and jumping, sprinting, and throwing performance varies according to the training experience of the participants. The LBM of the lower extremities seems to be the most important factor for performance in individuals with the least training experience, whereas the fiber type composition and muscle architecture are of minor importance. In contrast, experienced power-trained individuals rely more on the quality of the muscle tissue, such as the type II fiber percentage CSA and fascicle

length, probably as a consequence of specific neuromuscular adaptations, which leads to a more efficient usage of intramuscular characteristics as proposed before (11,12).

The LBM of the lower extremities was highly related with jumping performance regardless of the training experience, which is in accordance with previous reports (10,14,27,35,39). In contrast, the intramuscular characteristics, especially fascicle length and type IIA or IIX percentage CSA seem to correlate only moderately with jumping power and this link is affected by the training history of the individuals: low in the NE group to large and very large in ME and E participants. These findings are in accordance with previous reports describing a close relationship in well-trained or professional athletes but low or nonsignificant in untrained individuals (3,4,6–8,12,17,18,26). These results were also verified by the canonical correlation analysis, which revealed that lower extremities' LBM and thigh muscle CSA seem to be

important contributors in jumping performance, regardless of the training background. In contrast, VL's fascicle length and percentage CSA of type IIA and IIX muscle fibers contribute significantly to jumping performance only in ME and E individuals, probably because of the specific neural adaptations that allowed them to have a better use of their intramuscular characteristics (11,12,26). Thus, this study suggests that VL's fascicle length and CSA of type IIA or IIX muscle fibers are important for jumping performance only in ME and E individuals. Accordingly, it seems that a good jumping performance requires moderate lower extremities' LBM, high percentage CSA of type IIA and IIX muscle fibers, and long fascicle lengths in VL, especially as the training experience increases.

Overall sprinting performance cannot be explained by any single muscle morphological variable. Sprinting performance does not correlate with LBM or other anthropometric variables regardless of the training experience. Previous studies demonstrated the absence of any correlation relationship between sprinting performance and musculature in amateur, trained, and professional athletes (2,28,33), whereas other studies (9,10,20) reported positive correlations, e.g., higher leg-muscle mass volume lead to slower sprinting performance, which is in accordance with the results of this study. It seems that a large leg musculature is in fact detrimental for sprinting performance, probably because of the increase in body mass. Sprinting requires the transfer of body mass and depends primarily on the ability for high power production (11,32), which is thought to be linked with intramuscular characteristics (11). However, this study failed to find any strong relationships between VL muscle fiber composition or architecture and sprinting performance, even in E individuals. In addition, canonical correlation revealed that LBM contributes negatively to sprinting performance, whereas type II muscle fibers percentage CSA and fascicle length contribute positively to sprinting performance, and this positive contribution is amplified along with training experience. Individuals with less training experience do not have the necessary neuromuscular adaptations that might allow them to use efficiently their intramuscular characteristics (11,12). It seems that a good sprinting performance requires moderate lower extremities' LBM, high percentage CSA of type IIA and IIX muscle fibers and long fascicle lengths in VL.

For throwing performance, a high LBM of the lower extremities and type IIA and IIX muscle fibers percentage CSA seem to be the most important parameters, when all participants are examined as a group. However, the importance of these parameters is minimized in ME and E participants. In addition, VL's architecture has minor impact on throwing performance. These observations provide further support to a previous study that reported the absence of relationships between VL's muscle fiber composition and throwing performance in participants with minimum specific track and field throwing training (38). Canonical correlation revealed that for shot-put throwing performance a high LBM of the lower extremities, followed by muscle fascicle

length, and percentage of type IIA muscle fibers CSA seem to be important determinants for throwing performance regardless of the training background of the individual. However, the importance of muscular and anthropometric parameters decreases with training experience, whereas the importance of muscle fascicle lengths and percentage CSA of type IIA fibers increases with training experience and they become very important contributors of throwing performance. Thus, it seems that the intramuscular characteristics of VL may have a significant impact, only in experienced throwers, probably because of the specific neuromuscular adaptations linked to this type of systematic training (11,12). According to these results, it seems that the good shot-put performance depends on a high LBM of the lower extremities, high percentage CSA of type IIA and IIX muscle fibers, and long fascicle lengths in VL.

The relative small sample size in each group, for the canonical analysis, and the different training frequencies among the groups might limit the generalization of the present results. The large number of measurements rendered it difficult to recruit additional participants, although their number is between statistical boundaries (34). Training frequency was different among groups because of the different training stimuli applied in accordance with the training experience. The muscle morphology was evaluated only in VL, which is a good surrogate for the quadriceps muscle (29) and is one of the main agonists in jumping (7), sprinting (24,25), and throwing (21,22), whereas other muscle also contributed to the selected tests used here. Muscle-tendon unit stiffness and the neuromuscular activation in power activities also contribute to performance but were not evaluated in this study. Future studies should focus on the relative contribution of these parameters on power performance.

In conclusion, the present results suggest that jumping performance is linked with the muscle morphology regardless of strength or power training experience, and VL muscle morphology may only partially predict the sprinting and throwing performance. Training experience significantly affects the relationship between muscle morphology and explosive performance, i.e., in relatively untrained individuals the size of the lower extremities' musculature is an important factor for jumping, sprinting, and throwing performance. In contrast, performance in these activities for more E individuals seems to depend more on the quality of the muscle tissue, such as the muscle's fascicle lengths and the percentage CSA of type II muscle fibers. It is well accepted that chronic power training leads to a better usage of intramuscular characteristics due to specific neural adaptations (11,12,26). Thus, in individuals who do not have the needed neuromuscular adaptations that could allowed them to use efficiently their musculature during power-demanding activities, a high muscularity would leads to lower specific power production and lower performance.

PRACTICAL APPLICATIONS

This study provides evidence about the contribution of lower extremities' muscle morphological properties on sprinting, jumping, and throwing performance according to the training history of the participants. It seems that the selected muscular biological parameters evaluated here have a differential impact on performance in these explosive activities. In NE participants, training might be focused more on the development of neuromuscular adaptations aiming for a more effective use of the existing muscle mass. As the training progresses, athletes develop neural adaptations, and therefore coaches should probably aim at the development of muscle quantity. Only after the third year of systematic training, the increase of the lower extremities musculature could be a positive training adaptation in sprinting, jumping, and throwing performance. However, muscle hypertrophy should be as minimal as possible, especially when high sprinting and jumping performance is desired because of the estimated unfavorable effect of extra body mass.

ACKNOWLEDGMENTS

We express our gratitude to the participants of the study. We wish to thank Mr. Manolis Kafesakis and Mr. Panagiotis Korfiatis for their technical assistance during the experiments, and Prof. S. A. Kavouras for equipment provision.

REFERENCES

- Abe, T, Fukushima, S, Harada, Y, and Kawamoto, K. Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. *J Physiol Anthropol Appl Hum Sci* 20: 141–147, 2001.
- Abe, T, Harada, Y, Kawamoto, K, and Fukushima, S. Relationship between body composition and 100-m running time in an elite female sprinter: A 7-year retrospective study. *Med Sport* 15: 227–229, 2011.
- Alegre, LM, Aznar, D, Delgado, T, Jimenez, F, and Aguado, X. Architectural characteristics of vastus lateralis muscle and jump performance in young men. *J Hum Mov Stud* 48: 109–123, 2005.
- Alegre, LM, Lara, AJ, Elvira, JL, and Aguado, X. Muscle morphology and jump performance: Gender and intermuscular variability. *J Sports Med Phys Fitness* 49: 320–326, 2009.
- Blazevich, AJ, Cannavan, D, Coleman, DR, and Horne, S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol* (1985) 103: 1565–1575, 2007.
- Bosco, C, Ito, A, Komi, PV, Luhtanen, P, Rakkila, P, Rusko, H, and Viitasalo, JT. Neuromuscular function and mechanical efficiency of human leg extensor muscles during jumping exercises. *Acta Physiol Scand* 114: 543–550, 1982.
- Bosco, C, Komi, PV, Tihanyi, J, Fekete, G, and Apor, P. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 51: 129–135, 1983.
- Bosco, C, Luhtanen, P, and Komi, PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50: 273–282, 1983.
- Chelly, M, Cherif, N, Amar, M, Hermassi, S, Fathloun, M, Bouhlel, E, Tabka, Z, and Shephard, RJ. Relationships of peak leg power, 1 maximal repetition half back squat, and leg muscle volume to 5-m sprint performance of junior soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 266–271, 2010.
- Chelly, M and Denis, C. Leg power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 326–333, 2001.
- Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1—biological basis of maximal power production. *Sports Med* 41: 17–38, 2011.
- Cormie, P, McGuigan, MR, and Newton, RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2—training considerations for improving maximal power production. *Sports Med* 41: 125–146, 2011.
- Dubowitz, V and Sewry, CA. *Muscle Biopsy, a Practical Approach* (3rd ed.). Philadelphia, PA: Elsevier, 2007.
- Earp, JE, Joseph, M, Kraemer, WJ, Newton, RU, Comstock, BA, Fragala, MS, Dunn-Lewis, C, Solomon-Hill, G, Penwell, ZR, Powell, MD, Volek, JS, Denegar, CR, Hakkinen, K, and Maresh, CM. Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *J Strength Cond Res* 24: 722–729, 2010.
- Elias, LJ, Bryden, MP, and Bulman-Fleming, MB. Footedness is a better predictor than is handedness of emotional lateralization. *Neuropsychologia* 36: 37–43, 1998.
- Faul, F, Erdfelder, E, Lang, AG, and Buchner, A. G* power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 39: 175–191, 2007.
- Fry, AC, Schilling, BK, Staron, RS, Hagerman, FC, Hikida, RS, and Thrush, JT. Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic-style weightlifters. *J Strength Cond Res* 17: 746–754, 2003.
- Hopkins, WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med* 30: 1–15, 2000.
- Housh, DJ, Housh, TJ, Weir, JP, Weir, LL, Johnson, GO, and Stout, JR. Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. *Med Sci Sports Exerc* 27: 784–791, 1995.
- Kano, Y, Takahashi, H, Morioka, Y, Akima, H, Miyashita, K, Kuno, S, and Katsuta, S. Relationship between the morphological features of thigh muscles and sprinting performance. *Med Sci Sports Exerc* 29: 220, 1997.
- Karampatsos, G, Terzis, G, and Georgiadis, G. Muscular strength, neuromuscular activation and performance in discus throwers. *J Phys Educ Sport* 11: 369–375, 2011.
- Kyriazis, TA, Terzis, G, Boudolos, K, and Georgiadis, G. Muscular power, neuromuscular activation, and performance in shot put athletes at preseason and at competition period. *J Strength Cond Res* 23: 1773–1779, 2009.
- Kyriazis, TA, Terzis, G, Karampatsos, G, Kavouras, S, and Georgiadis, G. Body composition and performance in shot put athletes at preseason and at competition. *Int J Sports Physiol Perform* 5: 417–421, 2010.
- Mero, A and Komi, PV. Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61: 73–80, 1990.
- Mero, A, Komi, PV, and Gregor, RJ. Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med* 13: 376–392, 1992.
- Newton, RU and Kraemer, WJ. Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J* 16: 20–31, 1994.
- O'Brien, TD, Reeves, ND, Baltzopoulos, V, Jones, DA, and Maganaris, CN. Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Exp Physiol* 94: 731–738, 2009.
- Perez-Gomez, J, Rodriguez, GV, Ara, I, Olmedillas, H, Chavarren, J, Gonzalez-Henriquez, JJ, Dorado, C, and Calbet, JA. Role of muscle mass on sprint performance: Gender differences? *Eur J Appl Physiol* 102: 685–694, 2008.
- Place, N, Casartelli, N, Glatthorn, JF, and Maffiuletti, NA. Comparison of quadriceps inactivation between nerve and muscle stimulation. *Muscle Nerve* 42: 894–900, 2010.

30. Reeves, ND and Narici, MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *J Appl Physiol* (1985) 95: 1090–1096, 2003.
31. Sayers, SP, Harackiewicz, DV, Harman, EA, Frykman, PN, and Rosenstein, MT. Cross-validation of three jump power equations. *Med Sci Sports Exerc* 31: 572–577, 1999.
32. Stasinaki, A-N, Gloumis, G, Spengos, K, Blazeovich, AJ, Zaras, N, Georgiadis, G, Karampatos, G, and Terzis, G. Muscle strength, power and morphological adaptations after 6 weeks of compound vs. complex training in healthy men. *J Strength Cond Res* 2015. Epub ahead of print.
33. Sugisaki, N, Kanehisa, H, Tauchi, K, Okazaki, S, Iso, S, and Okada, J. The relationship between 30-m sprint running time and muscle cross-sectional areas of the psoas major and lower limb muscles in male college short and middle distance runners. *Int J Sport Health Sci* 9: 1–7, 2011.
34. Taskinen, S, Croux, C, Kankainen, A, Ollila, E, and Oja, H. Influence functions and efficiencies of the canonical correlation and vector estimates based on scatter and shape matrices. *J Mul Anal* 97: 359–384, 2006.
35. Temfemo, A, Hugues, J, Chardon, K, Mandengue, S-H, and Ahmaidi, S. Relationship between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls. *Eur J Pediatr* 168: 457–464, 2009.
36. Terzis, G, Georgiadis, G, Vassiliadou, E, and Manta, P. Relationship between shot put performance and triceps brachii fiber type composition and power production. *Eur J Appl Physiol* 90: 10–15, 2003.
37. Terzis, G, Spengos, K, Kavouras, S, Manta, P, and Georgiadis, G. Muscle fibre type composition and body composition in hammer throwers. *J Sports Sci Med* 9: 104–109, 2010.
38. Terzis, G, Stratakis, G, Manta, P, and Georgiadis, G. Throwing performance after resistance training and detraining. *J Strength Cond Res* 22: 1198–1204, 2008.
39. Ugarkovic, D, Matavulj, D, Kukolj, M, and Jaric, S. Standard anthropometric, body composition, and strength variables as predictors of jumping performance in elite junior athletes. *J Strength Cond Res* 16: 227–230, 2002.
40. Zaras, ND, Stasinaki, ANE, Krase, AA, Methenitis, SK, Karampatos, GP, Georgiadis, GV, Spengos, KM, and Terzis, GD. Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *J Strength Cond Res* 28: 3484–3495, 2014.

Δεύτερο Δημοσιευμένο Άρθρο:

Methenitis, S., Terzis, G., Zaras N., Stasinaki, A.-N. E. & Karandreas N. (2016). Intramuscular fiber conduction velocity, isometric force and explosive performance. *Journal of Human Kinetics*, 50 (2), 93-101



Intramuscular Fiber Conduction Velocity, Isometric Force and Explosive Performance

by

Spyridon Methenitis¹, Gerasimos Terzis¹, Nikolaos Zaras¹,
Angeliki-Nikoletta Stasinaki¹, Nikolaos Karandreas²

Conduction of electrical signals along the surface of muscle fibers is acknowledged as an essential neuromuscular component which is linked with muscle force production. However, it remains unclear whether muscle fiber conduction velocity (MFCV) is also linked with explosive performance. The aim of the present study was to investigate the relationship between vastus lateralis MFCV and countermovement jumping performance, the rate of force development and maximum isometric force. Fifteen moderately-trained young females performed countermovement jumps as well as an isometric leg press test in order to determine the rate of force development and maximum isometric force. Vastus lateralis MFCV was measured with intramuscular microelectrodes at rest on a different occasion. Maximum MFCV was significantly correlated with maximum isometric force ($r = 0.66$, $p < 0.01$), nevertheless even closer with the leg press rate of force development at 100 ms, 150 ms, 200 ms, and 250 ms ($r = 0.85$, $r = 0.89$, $r = 0.91$, $r = 0.92$, respectively, $p < 0.01$). Similarly, mean MFCV and type II MFCV were better correlated with the rate of force development than with maximum isometric leg press force. Lower, but significant correlations were found between mean MFCV and countermovement jump power ($r = 0.65$, $p < 0.01$). These data suggest that muscle fiber conduction velocity is better linked with the rate of force development than with isometric force, perhaps because conduction velocity is higher in the larger and fastest muscle fibers which are recognized to contribute to explosive actions.

Key words: human muscle power, electromyography, electrical propagation velocity, muscle strength.

Introduction

Human muscle explosive performance is determined by a number of muscular factors such as muscular size and morphology, as well as several neural factors such as the motor unit recruitment and firing frequency (Cormie et al., 2011). An essential part of the neuromuscular structure is the system which propagates the action potential along the muscle fibers i.e. the muscle fiber conduction velocity which has been related with maximum isometric strength, however, little is known about its relation with explosive performance. Indeed, muscle fiber

conduction velocity detected with surface electromyography is related with maximum isotonic and isometric strength, and time to achieve maximum strength in sedentary healthy individuals or patients (Arendt-Nielsen et al., 1989; Sadoyama and Masuda, 1987; Van der Hoeven and Lange, 1994). The majority of the studies have focused on the function of biceps brachii muscle, while little is known about the possible correlation between muscle fiber conduction velocity and explosive performance in multi-joint actions. For instance, Pozzo et al.

¹ - Athletics Laboratory, School of Physical Education & Sports Science, National and Kapodistrian University of Athens, Greece.

² - A' Neurology Clinic, Aiginition Hospital, Medical School, of the National and Kapodistrian University of Athens, Greece.

(2004) reported close correlations between the rate of increase of muscle fiber conduction velocity as detected with surface electromyography and the force production during explosive actions.

In patients with neuromuscular diseases muscle fiber conduction velocity is thought to be determined by the muscle fiber size and type, with larger and type II muscle fibers having higher muscle fiber conduction velocities (Blijham et al., 2006; Farina et al., 2007; Troni et al., 1983). In healthy individuals, type II muscle fibers have greater cross sectional areas and are able to produce higher power output (Aagaard and Andersen, 1998) compared with type I fibers, while during isometric force application muscle size is the major determinant of performance. Hence, muscle fiber conduction velocity should be better correlated with explosive performance than with isometric force.

The rate of force development, especially during the first 0-250 ms is strongly correlated with explosive performance and is considered as a significant factor of success in many sports (Cormie et al., 2011). Although some evidence links neural function with the rate of force development (Aagaard et al., 2002; Cormie et al., 2011), the relationship between muscle fiber conduction velocity and the rate of force development has received little attention up to now. The purpose of the present study was to investigate the relationship between vastus lateralis muscle fiber conduction velocity measured with intramuscular electromyography at rest and performance in explosive actions, such as the countermovement jump and the leg press maximum isometric rate of force development. It was hypothesized that those individuals with higher muscle fiber conduction velocity would perform better in the explosive tests and that muscle fiber conduction velocity would be better related with explosive performance than with isometric force.

Material and Methods

Experimental Approach

Based upon pilot measurements as well as the published data (e.g. correlation coefficients ranging between $r = 0.650-0.890$), and according to the design of the present study, an a-priori power analysis (G*Power ver. 3.1; Frank Faul, Universitat Kiel, Germany) revealed that at least

15 participants (Cohen, 1988) should be recruited (actual power: 0.958). Participants visited the laboratory five times with three days between each visit. During their first visit, they were examined by a trained physician for limiting health issues, had their body height/mass measured and signed a consent form. They also performed a familiarization session of countermovement jumping (CMJ) and isometric leg press tests. Two more familiarization sessions were completed during the following week. This was followed by the testing session three days later. During their last visit to the laboratory, muscle fiber conduction velocity was examined at rest. All experimental procedures were in accordance with the Declaration of Helsinki and complied with Greek governmental laws for human subjects. The study design was approved by the ethics committee of the SPESP of the University of Athens (n. 98/14).

Participants

According to the power analysis mentioned above, fifteen healthy female physical education students with no previous experience in strength/power training participated in the study (age 21.1 ± 0.4 yrs, body height 165 ± 4.5 cm, body mass 56.7 ± 6 kg, BMI 20.8 ± 1.7 kg·m⁻²). After oral and written detailed description of the experimental procedures, the possible discomforts and benefits, they signed an informed consent form to participate in the study.

Procedures

Countermovement jumping

All participants started with a 10 min warm up on a stationary bicycle with moderate intensity and then performed 3 CMJs with submaximal intensity. Subsequently, subjects performed 3 maximal CMJs with 2 min rest between jumps, on a force platform (Applied Measurements Ltd Co. UK, WP800- 1000 kg weighting platform, s/n:40245, 80x80 cm, sampling frequency 1 kHz) with free bending of the knees during the downward movement and with arms akimbo, as previously described (Bosco et al., 1983; Zaras et al., 2014). Data from the force platform were recorded and analyzed (Kyowa sensor interface PCD- 320A, Kyowa Electronic Instruments CO., LTD, Japan) in order to calculate jump height and power according to the following equations: Jump height (cm) = $((0.5 \cdot \text{flight time})^2 \cdot 2^{-1}) \cdot 9.81$ and Power (W) = $(\text{body weight} + F_{\text{max}}) \cdot 9.81 \cdot \text{flight}$

time (Bosco et al., 1983; Linthorne 2001; Zaras et al., 2014). Signals were filtered using a secondary low pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 20 Hz. The best performance in jump height was used for further analysis. The ICCs for jump height and power were 0.87 (95% CI: Lower = 0.83, Upper = 0.95) and 0.91 (95% CI: Lower = 0.90, Upper = 0.99), respectively, $n = 13$ (Zaras et al., 2014).

Evaluation of maximum isometric force and rate of force development

Twenty min after the CMJs, maximum leg press isometric force and the rate of force development were evaluated. Participants wearing Olympic weight lifting shoes were seated on a custom made steel leg press chair and placed both their feet on the force platform (Applied Measurements Ltd Co. UK, WP800, 1000 kg weighting platform, 80x80 cm, sampling frequency 1000 Hz) which was positioned perpendicularly on a concrete laboratory wall. The knee angle was set at 120° (180° = knee full extension) and the hip angle was set at 100° (Marcora and Miller, 2000; Zaras et al., 2014; 2016). In order to achieve these angles during testing, the distance between the back of the chair and the force platform was adjusted and then recorded during the first familiarization session for each participant according to her leg length. These adjustments were used in the testing session. All participants were instructed to apply their maximum force as fast as possible for 4 s. Three maximum trials were performed with 3 min intervals. During each attempt they were vocally encouraged to perform their best effort. Variables were calculated (Kyowa sensor interface PCD-320A, Kyowa Electronic Instruments CO., LTD, Japan) from the force-time curve, including maximum isometric force, the rate of force development and impulse, as previously described (Aagaard et al., 2002; Andersen and Aagaard, 2006; Zaras et al., 2014; 2016). Maximum isometric peak force was calculated as the greater force generated from the force-time curve. RFD was calculated as the mean tangential slope of the force-time curve in specific time windows of 0-50, 0-100, 0-150, 0-200 and 0-250 ms, following the equations: $RFD (N \cdot s^{-1}) = \Delta Force \cdot \Delta Time^{-1}$ [e.g.: (Force at 120 ms - Force at 0 ms) · (120 ms - 0 ms) - 1], while impulse (N·s), representing the total force-time integral in a given time period, was

calculated as the area under the force-time curve ($Impulse_{0-kms} = \Sigma F_{0-kms} \cdot \Delta Time_{kms}$, (kms = 50, 100, 150, 200, 250; Aagaard et al., 2001; Zaras et al., 2014, 2016). At all times, the onset of contraction was set at 2.5% of the difference between baseline and maximum force ($RFD = \frac{DForce}{DTime}$; Aagaard et al., 2002). The best performance according to the RFD at 150 ms was used for statistical analysis. The ICC for maximum isometric force, the RFD (overall) and impulse were: ICC = 0.90 (95% CI: Lower = 0.86, Upper = 0.96), ICC = 0.92 (95% CI: Lower = 0.80, Upper = 0.98) and ICC = 0.93 (95% CI: Lower = 0.85, Upper = 0.98), respectively, $n = 13$.

Muscle fiber conduction velocity

MFCV was measured in vastus lateralis, which is described as a good surrogate for the whole quadriceps muscle (Place et al., 2010), one week after the evaluation of power performance. This muscle is involved in many every day and sports activities. Subjects rested at a supine position with both knees slightly (5°) flexed. MFCV was measured at the middle portion of vastus lateralis of the dominant lower extremity, approximately 20 cm from the mid patella, using an EMG apparatus (Medtronic Functional Diagnostics, Keypoint 31A02, Skovlunde, Denmark) and analysis software (Medtronic Keypoint®, NET, version 4.3.505.0). Laboratory room temperature was set at 24°C and regularly controlled. This temperature had been proved not to adversely influence MFCV (Van der Hoeven and Lange, 1994). Subjects refrained from physical exercise for 6 hours before the examination and they rested for 30 min in the same room temperature before initiation of the procedure. A surface stimulation (1-2 mA, 0.2 ms duration) over the muscle (± 5 cm in all directions) was performed in order to identify a region of muscle with minimum end-plates, as well as to identify the most likely direction of the muscle fibers. An area of 5x5 cm, without any visible muscle twitch, as well as the direction of muscle fibers were then marked and recorded for the next evaluations (Stålberg, 1979). After skin cleaning with alcohol, a monopolar EMG needle electrode (length 20 mm, diameter 0.45 mm, recording surface 0.30 mm²; Alpine Biomed, Aps, Skovlunde, Denmark, type DCNTM25) was inserted, 5-10 mm beyond fascia, while a silver surface electrode (as anode) was placed 10-15 mm away (Troni et al., 1983).

Driven by the direction of the muscle fibers, a concentric needle electrode (length 20 mm, diameter 0.45 mm, recording surface 0.07 mm²; Alpine Biomed, Aps, Skovlunde, Denmark, type DCNTM25) was placed 4 cm away from the stimulation needle. The stimulation signal was set at 0.05 ms duration, 1 Hz frequency, 2 - 15 mA and filtered between 2-20 kHz. The concentric electrode was then moved slightly through the muscle at steps of 1 mm, until reproducible spikes greater than 20 μ V were recorded, which are most likely to be the answer to the muscle stimulation. When these spikes were found, the concentric electrode was stabilized and the stimulation was repeated until at least five identical muscle fiber responses were recorded, in an effort to ensure reproducibility and to avoid any variations caused by voluntary muscle contraction (Blijham et al., 2006). Two to fifteen latencies, which exceeded the criteria of at least 20 μ V in amplitude, were measured at the positive peaks. Then, the recording needle was intramuscularly moved at steps of 1 mm in all directions, until a new group of muscle fiber responses was found. MFCV was calculated using the time of the latencies and the distance between the stimulating and recording electrode (Stålberg, 1979).

The raw data from each subject were statistically analyzed with descriptive statistics. Recordings identified as outliers or extreme values or theses which were ± 2 SD below or above the mean values, were excluded from the analysis. An average of 53 ± 9 individual muscle fibers from each subject was used in further analysis. Figure 1 shows the frequency distribution of MFCV of the total 798 fibers measured. The bimodal shape reveals the presence of two different MFCV groups. As indicated in previous reports, type II muscle fibers have higher MFCV than type I (Arendt-Nielsen and Zwarts, 1989; Kereshi et al., 1983). Thus, according to this frequency distribution 468 muscle fibers were classified as type I and 330 as type II (cut point set at 5 m·s⁻¹). From each subject, mean (MFCV_{mean}) and maximum MFCV (MFCV_{max}) of all muscle fibers, as well as mean MFCV of type I (MFCV_{type I}) and type II (MFCV_{type II}) muscle fibers separately, were further used in statistics. The ICCs were examined in a subgroup of the participants (n = 10) and ranged between 0.81 (95% CI: Lower = 0.87, Upper = 0.97) and 0.98

(95% CI: Lower = 0.95, Upper = 0.99).

Statistical Analyses

Means and standard deviation of the means were used to describe each variable. Descriptive statistics were used for the analysis of the raw data of MFCV from each subject. A Student's t-test for independent samples was used to evaluate differences between mean MFCV of type I and II muscle fibers. A Pearson's product moment correlation coefficient was used to explore the relationships between MFCV and strength-explosive performance variables (thresholds for significant correlations was $r \geq 0.482$; Müller and Büttner, 1994). The interpretation of the observed correlations was performed according to the Hopkins' ranking: correlations between 0.3 - 0.5 were classified as moderate, between 0.51 - 0.7 as large, between 0.71 - 0.9 as very large and over 0.91 as almost perfect (Hopkins, 2000). Statistical analyses were performed with SPSS Statistics Ver. 20 (IBM Corporation, USA). Two-tails significance was accepted at $p \leq 0.05$.

Results

MFCV and performance: Vastus lateralis MFCV_{mean} was 4.9 ± 0.4 m·s⁻¹. The MFCV_{type I} and MFCV_{type II} were 4.06 ± 0.2 m·s⁻¹ and 5.9 ± 0.3 m·s⁻¹, respectively ($p < 0.001$). MFCV_{max} was 6.8 ± 0.7 m·s⁻¹. Countermovement jumping height was 27.4 ± 2.7 cm and peak power was 2179 ± 276 Watt. Maximum leg press isometric force was 1669 ± 488 N. The RFD at 50 ms, 100 ms, 150 ms, 200 ms and 250 ms was 4867 ± 2399 N·s⁻¹, 6471 ± 2279 N·s⁻¹, 6030 ± 2116 N·s⁻¹, 5363 ± 1883 N·s⁻¹ and 4723 ± 1658 N·s⁻¹, respectively. Impulse for the same time points was 20.4 ± 9.8 N·s, 265.3 ± 105.2 N·s, 993 ± 351 N·s, 2235 ± 801 N·s and 4357 ± 1496 N·s respectively.

Correlations between MFCV and explosive performance: Leg press maximum isometric force was significantly correlated with MFCV_{mean} ($r = 0.76$, $p < 0.01$), MFCV_{type II} ($r = 0.59$, $p < 0.05$) and MFCV_{max} ($r = 0.66$, $p < 0.01$). Large correlations were also found between peak power during the CMJ and MFCV_{mean} ($r = 0.65$, $p < 0.01$), MFCV_{type II} ($r = 0.59$, $p < 0.05$) and MFCV_{max} ($r = 0.62$, $p < 0.01$). In contrast, the correlation coefficients between all measures of MFCV and the CMJ height were low and non-significant (Table 1). Significant correlations were found between MFCV_{mean} and isometric RFD/impulse

at 50-250 ms, although the correlations were lower at the RFD₅₀ compared to the other time points (Table 1). Likewise, MFCV_{type II} and MFCV_{max} were closely related to RFD/impulse at 50-250 ms (classifications: large, very large and almost

perfect), but again the correlation was lower at the RFD₅₀ (Figure 2). In contrast, the correlation coefficients between MFCV_{type I} and all measures of leg press evaluation were non-significant.

Table 1
Correlation coefficients (Pearson r) between MFCV, the leg press isometric rate of force development, impulse, max force, countermovement height and peak power

	Max Isometric Force	Isometric Leg Press										Countermovement	
		Rate of force development					Impulse					Height	Peak Power
		50 ms	100 ms	150 ms	200 ms	250 ms	50 ms	100 ms	150 ms	200 ms	250 ms		
MFCV _{mean}	0.76**	0.69**	0.79**	0.88**	0.86**	0.86**	0.62*	0.77**	0.84**	0.87**	0.88**	0.10	0.65**
MFCV _{type I}	0.13	-0.08	-0.01	-0.01	-0.07	-0.08	-0.13	-0.03	-0.01	-0.01	-0.25	-0.24	-0.32
MFCV _{type II}	0.59*	0.53*	0.76**	0.84**	0.85**	0.85**	0.34	0.68**	0.79**	0.83**	0.85**	0.09	0.59*
MFCV _{max}	0.66**	0.64*	0.85**	0.89**	0.91**	0.92**	0.53*	0.77**	0.87**	0.90**	0.92**	0.30	0.62*

*MFCV: Muscle Fiber Conduction Velocity; Mean: mean MFCV of all muscle fibers;
Type I: mean MFCV of type I fibers; Type II: mean MFCV of type II fibers;
Max: maximum MFCV of all muscle fibers; *p < 0.05, **p < 0.01.*

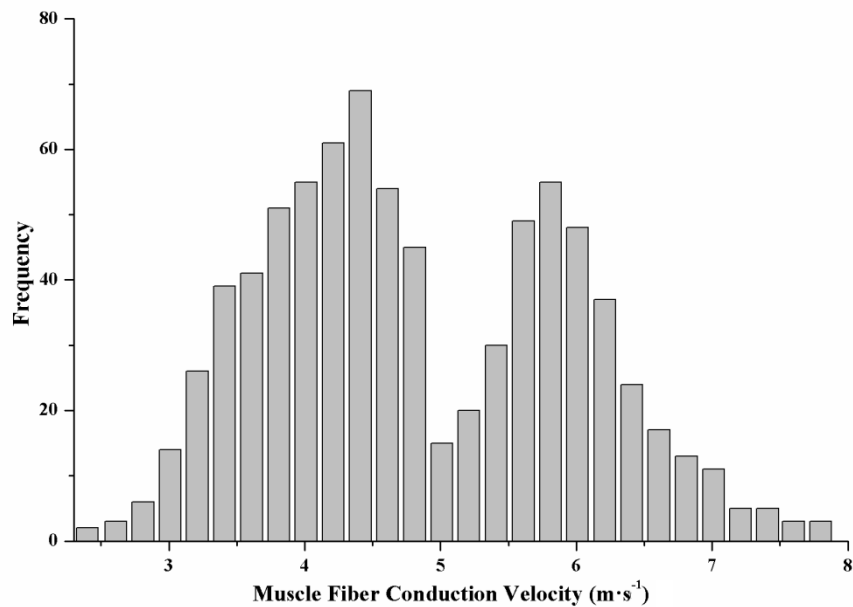
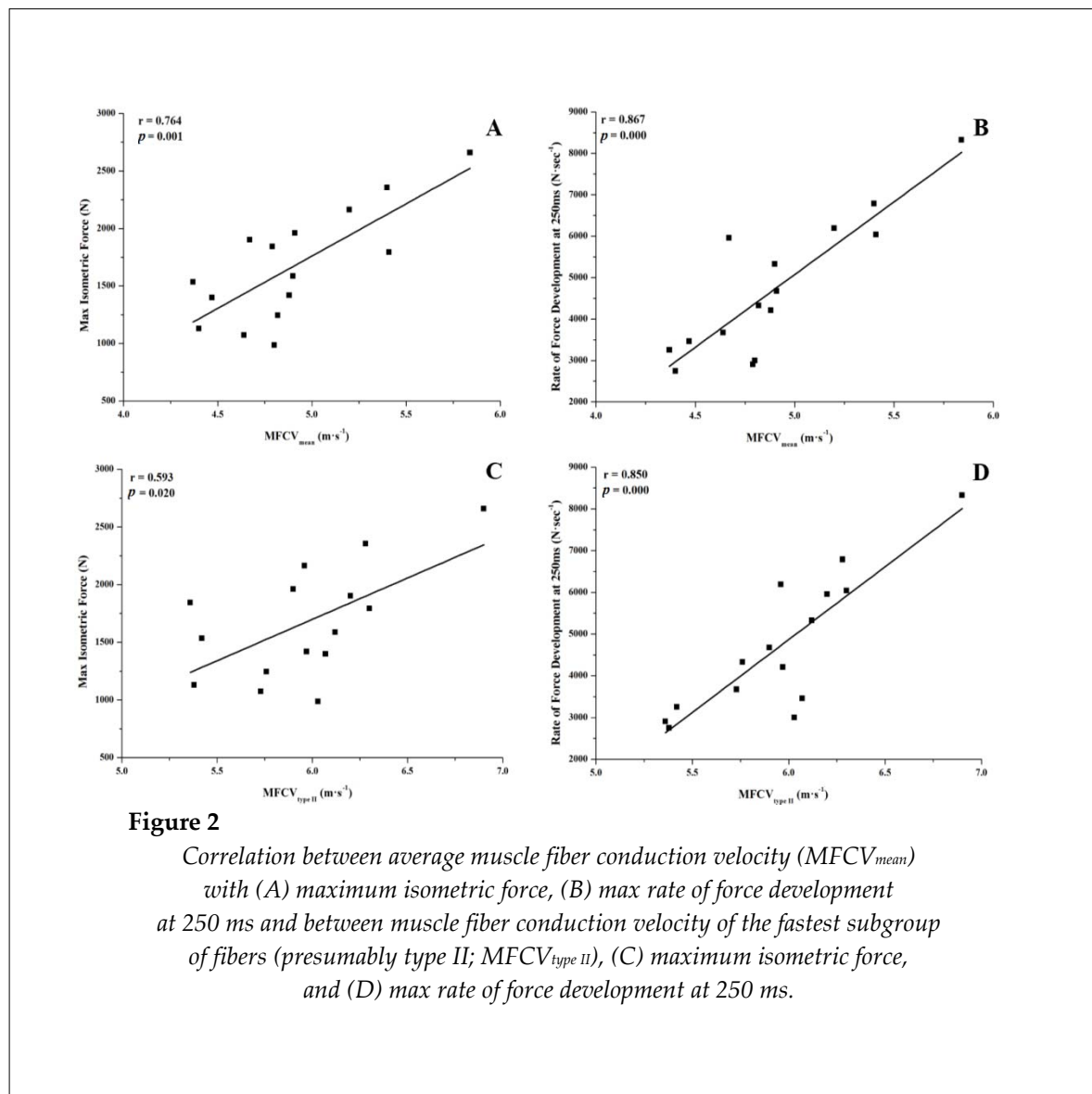


Figure 1
Muscle fiber conduction velocity frequency distribution for the entire 798 fibers measured in the study (n = 15).



Discussion

The main finding of the present study was a close correlation between resting intramuscular muscle fiber conduction velocity and the leg press rate of force development from 100 ms to 250 ms. The rate of force development is thought to be determined to a large part by the type and size of muscle fibers, with individuals having a higher percentage and cross sectional area of type II muscle fibers achieving better performance in activities demanding high rates of force development (Aagaard and Andersen, 1998; Andersen et al., 2010). The current results show that explosive performance is strongly correlated with muscle fiber conduction velocity of the

fastest, but not with the slowest group of fibers. This is in accordance with the notion that in fast and forceful movements, the fastest fibers contribute to the production of higher muscular power.

In explosive activities, the rate of force development seems to be a key factor as it allows for the implementation of a higher percentage of maximum strength in the early phase (ms) of movement (Aagaard et al., 2001; 2002; Cormie et al., 2011). Previous studies suggested that the neural system is a strong determinant factor of the rate of force development (Aagaard et al., 2001; 2002; Cormie et al., 2011). The present study provides evidence of a close relationship between the performance in such fast and forceful

activities and muscle fiber conduction velocity of the vastus lateralis especially in a multi-joint activity, which better resembles daily activities or sports specific movements compared with single-joint actions. Also, the current data show that the rate of force development is closely linked with maximum velocity with which the action potential can be propagated along muscle fibers. It seems that individuals with muscle fibers with higher muscle fiber conduction velocities would have a higher rate of force development. Interestingly, the correlation between MFCV and the RFD at 50 ms was lower than that at later points in the force time curve. This may be due to the participants' non-efficient recruitment of type II muscle fibers during the initial ms of an explosive contraction since they were not power-trained.

Countermovement jumping height did not correlate with muscle fiber conduction velocity, most likely because jumping height may be affected by non-neuromuscular biological factors such as the mass of the adipose tissue. Instead, jumping power is strongly affected by muscle quality and quantity (Cormie et al., 2011) which, according to the present data, may also include the MFCV. Previous studies reported a close link between jumping power and the proportion (Bosco et al., 1983) and size (Hakkinen et al., 1984) of type II muscle fibers, which are known to have higher velocities of action potential propagation (Arendt-Nielsen and Zwarts, 1989; Clausen, 2003; Kereshi et al., 1983). The present data provide further evidence for the link between muscle fiber conduction velocity especially of the fastest fibers (e.g. MFCV_{type II} and MFCV_{max}) and mechanical power during jumping.

Moderate, but significant correlations between muscle fiber conduction velocity and maximal voluntary strength have been reported before (Sadoyama and Masuda, 1987; Van der Hoeven and Lange, 1994). However, these studies reported only on average muscle fiber conduction velocities, in single joint actions and mostly on patients with neuromuscular disorders; moreover, MFCV was evaluated during maximal voluntary

contractions, when MFCV is higher compared to resting conditions (Pozzo et al., 2004; Sadoyama and Masuda, 1987; Stålberg, 1966). In addition, muscle fiber conduction velocity in these studies was evaluated by surface electrodes, which could not provide detailed information of MFCV such as the maximum conduction velocities or conduction velocities corresponding to type I or type II muscle fibers (Stålberg, 1979; Troni et al., 1983). Therefore, one of the most interesting findings of the present study was the significant correlation between resting intramuscular conduction velocity of the fastest fibers and maximal isometric strength, indicating that in healthy individuals performing multi-joint efforts, when the fastest fiber population is recruited maximal isometric strength is attained.

Despite large correlations found between MFCV and the rate of force development or CMJ power, it may not escape attention that MFCV was measured in only one of the quadriceps muscles. Although the vastus lateralis is an accessible muscle and is thought to be a good surrogate for the quadriceps musculature (Place et al., 2010), several other muscles are involved both in the leg press as well as in countermovement jumping (Nagano et al., 2005). Electromyographic data from other muscles of the lower extremities would be very valuable, however, this was not possible in the current set-up. Another limitation of this study was the lack of information regarding the vastus lateralis muscle fiber type composition which would have provided a better insight into the physiological basis of the current results.

In conclusion, the results of the present study indicate that the velocity with which the neural signals travel along the surface of the muscle fibers is linked with performance during multi-joint explosive actions. Moreover, muscle fiber conduction velocity is better related to the rate of force development than to maximum isometric force and this may be linked with the recruitment of fast muscle fibers during explosive actions.

Acknowledgements

The authors express our gratitude to the participants of the study.

References

- Aagaard P, Andersen JL. Correlation between contractile strength and myosin heavy chain isoform composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 1998; 30(8): 1217-1222
- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, 2002; 93(4): 1318-1326
- Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, Leffers AM, Wagner A, Magnusson SP, Halkjær-Kristensen J, Simonsen EB. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol*, 2001; 534(Pt. 2): 613-623
- Andersen LL, Aagaard P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol*, 2006; 96(1): 46-52
- Andersen LL, Andersen JL, Zebis MK, Aagaard P. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Spor*, 2010; 20(1): 162-169
- Arendt-Nielsen L, Zwarts M. Measurement of muscle fiber conduction velocity in humans: techniques and applications. *J Clin Neurophysiol*, 1989; 6(2): 173-190
- Arendt-Nielsen L, Mills KR, Forster A. Changes in muscle fiber conduction velocity, mean power frequency, and mean EMG voltage during prolonged submaximal contractions. *Muscle Nerve*, 1989; 12(6): 493-497
- Blijham PJ, Ter Laak HJ, Schelhaas HJ, Van Engelen BG, Stegeman DF, Zwarts MJ. Relation between muscle fiber conduction velocity and fiber size in neuromuscular disorders. *J Appl Physiol*, 2006; 100(6): 1837-1841
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1983; 50(2): 273-282
- Bosco C, Komi PV, Tihanyi J, Fekete G, Apor P. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1983; 51(1): 129-135
- Clausen T. Na⁺-K⁺ pump regulation and skeletal muscle contractility. *Physiol Rev*, 2003; 83(4): 1269-1324
- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum; 1988
- Cormie P, Mc Guigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1-biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 2011; 41(1): 17-38
- Farina D, Ferguson RA, Macaluso A, De Vito G. Correlation of average muscle fiber conduction velocity measured during cycling exercise with myosin heavy chain composition, lactate threshold, and VO_{2max}. *J Electromyogr Kines*, 2007; 17(4): 393-400
- Hakkinen K, Alen M, Komi P. Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1984; 53(2): 97-105
- Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 2000; 30(1): 1-15
- Kereshi S, Manzano G, Mc Comas AJ. Impulse conduction velocities in human biceps brachii muscles. *Exp Neurol*, 1983; 80(3): 652-662
- Linthorne NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *Am J Phys*, 2001; 69: 1198-1204
- Müller R, Büttner P. A critical discussion of intraclass correlation coefficients. *Stat Med*, 1994; 13(23-24): 2465-2476
- Marcora S, Miller MK. The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *J Sport Sci*, 2000; 18(5): 313-319
- Nagano A, Komura T, Fukashiro S, Himeno R. Force, work and power output of lower limb muscles during human maximal-effort countermovement jumping. *J Electromyogr Kines*, 2005; 15(4): 367-376
- Place N, Casartelli N, Glatthorn JF, Maffiuletti NA. Comparison of quadriceps inactivation between nerve

- and muscle stimulation. *Muscle Nerve*, 2010; 42(6): 894-900
- Pozzo M, Merlo E, Farina D, Antonutto G, Merletti R, Di Prampero PE. Muscle-fiber conduction velocity estimated from surface EMG signals during explosive dynamic contractions. *Muscle Nerve*, 2004; 29(6): 823-833
- Sadoyama T, Masuda T. Changes of the average muscle fiber conduction velocity during a varying force contraction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1987; 67(5): 495-497
- Stålberg E. Propagation velocity in human muscle fibers in situ. *Acta Physiol Scand*, 1966; 287: 1-112
- Stålberg E. Single fibre electromyography. *Trends Neurosci*, 1979; 2(0): 185-188
- Troni W, Cantello R, Rainero I. Conduction velocity along human muscle fibers in situ. *Neurology*, 1983; 33(11): 1453-1453
- Van der Hoeven JH, Lange F. Supernormal muscle fiber conduction velocity during intermittent isometric exercise in human muscle. *J Appl Physiol*, 1994; 77(2): 802-806
- Zaras ND, Stasinaki AE, Krase AA, Methenitis SK, Karampatsos GP, Georgiadis GV, Spengos KM, Terzis GD. Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *J Strength Cond Res*, 2014; 28(12): 3484-3495
- Zaras ND, Stasinaki AE, 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; 30(1): 81-92

Corresponding author:**Spyridon Methenitis (✉)**

Athletics Laboratory School of Physical Education & Sport Science,
National and Kapodistrian University of Athens
Ethnikis Antistassis 41, 172 37, Daphne, Athens, Greece
Tel.: +30-210-7276194
Fax: +30-210-7276105
E-mail: smetheni@phed.uoa.gr

Τρίτο Δημοσιευμένο Άρθρο:

Methenitis, S., Karandreas N., Spengos, K., Zaras, N., Stasinaki, A. & Terzis G. (2016). Muscle fiber conduction velocity, muscle fiber composition and power performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(9), 1761-1771

Muscle Fiber Conduction Velocity, Muscle Fiber Composition, and Power Performance

AQ1 SPYRIDON METHENITIS¹, NIKOLAOS KARANDREAS², KONSTANTINOS SPENGOS², NIKOLAOS ZARAS¹, ANGELIKI-NIKOLETTA STASINAKI¹, and GERASIMOS TERZIS¹

¹*Athletics Laboratory, School of Physical Education and Sports Science, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, GREECE; and* ²*Neurology Clinic, Aiginition Hospital, Medical School, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, GREECE*

ABSTRACT

METHENITIS, S., N. KARANDREAS, K. SPENGOS, N. ZARAS, A.-N. STASINAKI, and G. TERZIS. Muscle Fiber Conduction Velocity, Muscle Fiber Composition, and Power Performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 48, No. 9, pp. 00–00, 2016. **Purpose:** The aim of this study was to explore the relationship between muscle fiber conduction velocity (MFCV), fiber type composition, and power performance in participants with different training background. **Methods:** Thirty-eight young males with different training background participated: sedentary ($n = 10$), endurance runners ($n = 9$), power trained ($n = 10$), and strength trained ($n = 9$). They performed maximal countermovement jumps (CMJ) and maximal isometric leg press for the measurement of the rate of force development (RFD). Resting vastus lateralis MFCV was measured with intramuscular microelectrodes on a different occasion, whereas muscle fiber type and cross-sectional area (CSA) of vastus lateralis were evaluated through muscle biopsies 1wk later. **Results:** MFCV, CMJ power, RFD, and % CSA of type II and type IIX fibers were higher for the power-trained group ($P < 0.001$). No difference was found between sedentary participants and endurance runners in these variables, but both of these groups performed worse than strength/power participants. Close correlations were found between MFCV and fiber CSA as well as the % CSA of all fiber types as well as with RFD and CMJ power ($r = 0.712\text{--}0.943$, $P < 0.005$). Partial correlations revealed that the % CSA of IIX fibers dictates a large part of the correlation between MFCV and RFD, power performance. Significant models for the prediction of the % CSA of type IIA and type II as well as the CSA of all muscle fibers based upon MFCV, RFD, and CMJ were revealed ($P = 0.000$). **Conclusion:** MFCV is closely associated with muscle fiber % CSA. RFD and jumping power are associated with the propagation of the action potentials along the muscle fibers. This link is regulated by the size and the distribution of type II, and especially type IIX muscle fibers. **Key Words:** ELECTROMYOGRAPHY, RATE OF FORCE DEVELOPMENT, FIBER TYPE COMPOSITION

Performance in fast and explosive actions depends on the rate of force development (RFD) as well as on muscle power, which may be determined by several neuromuscular variables (13). It has been postulated that RFD between 0 and 150 ms is strongly linked with muscle fiber type composition and cross-sectional area (CSA) as well as the neural drive (1). An essential part of the neuromuscular structure is the system that propagates the action potentials along the sarcolemma of muscle fibers, which is evaluated with the muscle fiber conduction velocity (MFCV) (15). In sports

science, MFCV has received less attention as part of the power production biological structure, compared with other neuromuscular structures such as the fiber type composition.

In experimental animals and human patients with neuromuscular diseases MFCV is mainly determined by the size and the type of muscle fibers (5,27,31); large fibers have lower cytoplasmic resistance resulting in faster action potential velocities. Type II muscle fibers usually have larger CSA than type I fibers in humans (33), and they also have greater content of the type $\beta 2$ -subunit isoforms of the Na^+/K^+ -ATPase pump, which has also been linked with the faster propagation of the action potentials (9) because of the fact that Na^+/K^+ -ATPase pumps regulate the transsarcolemmal $[\text{Na}^+]$ and $[\text{K}^+]$ gradients (23), leading to a faster repolarization of the sarcolemma, lower inactivity period, and faster excitability of the sarcolemma (9–11,21,26,27,40). Thus, it seems that they are partly affected by skeletal muscle performance (26). According to the previous mentioned, type II muscle fibers should have greater length constant ($\sqrt{\text{membrane resistance} \cdot \text{sarcoplasmic resistance}^{-1}}$) in contrast to smaller type I fibers (27); therefore, the local electric currents should travel faster along the fiber length (30).

In patients with neuromuscular disorders, the distribution of type I and type II muscle fibers as well as their CSA may

Address for correspondence: Spyridon Methenitis, B.Sc., M.Sc., Ph.D., Athletics Laboratory, School of Physical Education and Sport Science, National and Kapodistrian University of Athens, Ethnikis Antistassis 41, 172 37, Daphne, Athens, Greece; E-mail: smetheni@phed.uoa.gr.

Submitted for publication December 2015.

Accepted for publication April 2016.

Supplemental digital content is available for this article. Direct URL citations appear in the printed text and are provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (www.acsm-msse.org).

0195-9131/16/4809-0000/0

MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE®

Copyright © 2016 by the American College of Sports Medicine

DOI: 10.1249/MSS.0000000000000954

differ from that of healthy and active individuals. A small number of studies have investigated the relationship between MFCV and muscle fiber type distribution with controversial results: Pearson correlation coefficients ranged between non-significant and 0.916 (11,24,27), whereas it remains uncertain whether MFCV is correlated with fiber CSA of muscle fibers in healthy or active individuals. For example, early reports showed that MFCV is not proportional to muscle fiber diameter (7,8). More recently, vastus lateralis MFCV measured with surface electromyography during maximal contractions was not correlated with muscle fiber diameter in sprinters and distance runners (24). Interestingly, Sadoyama et al. (30) reported a significant correlation between MFCV and % CSA of type II muscle fibers, although their subjects had almost identical type I and type II muscle fiber diameters. Thus, it remains uncertain whether MFCV is correlated with muscle fiber type composition and muscle fiber CSA in healthy human individuals, especially those exposed to chronic exercise resulting in alterations in muscle fiber diameter (e.g., strength/power athletes).

MFCV as detected with surface electromyography is known to be linked with maximum isotonic and isometric strength and time to achieve maximum strength (29,37). Pozzo et al. (2004) reported close correlations between the rate of increase of MFCV and the produced force during explosive actions (28). However, the majority of these studies have focused on the function of biceps brachii muscle, but little is known about the possible correlation between MFCV and force/power production in multijoint actions more commonly used in everyday movements and sports activities. Thus, it remains unclear whether MFCV is linked with muscle power or the rates of force development, and whether this relationship is influenced by the muscle fiber type composition and muscle fiber CSA in human individuals, especially exercise-trained individuals. The aim of the present study was to explore the relationship between MFCV, fiber type composition, and power performance in individuals with different training background. For this purpose, sedentary individuals, endurance runners, strength- and power-trained participants were recruited to evaluate possible correlations between MFCV, RFD, jumping performance, and muscle fiber type composition.

METHODS

Subjects. Subjects responded to a written announcement for the study posted at the local university, as well as at track-and-field and weight-lifting training clubs. Responders reported at the laboratory, and they were informed about the study protocols and the inclusion criteria. They were asked to complete the weekly recall self-reported questionnaire to determine their level of physical activity, training experience, frequency, duration per session, and total weekly workload. After the evaluation of the weekly recall self-reported questionnaire, 38 healthy young males fulfilling the study criteria (described next section) were assigned into four groups (Table 1): a) sedentary ($n = 10$) without any training experience; b) endurance

runners ($n = 9$) with marathon performance $2 \text{ h } 52 \text{ min} \pm 10.15 \text{ min}$; c) power-trained individuals ($n = 10$), including five 100-m sprinters with performance $10:80 \pm 0:20 \text{ s}$, three 200-m sprinters with performance $21:39 \pm 0:24 \text{ s}$ as well as two long jumpers ($7.23 \pm 0.40 \text{ m}$); and d) strength-trained individuals ($n = 9$), including participants who performed heavy strength training programs, usually three to six sets of 1- to 6-repetition maximum with Olympic weight lifts and multijoint resistance exercises for the major muscle groups: leg press, bench press, half squat, etc. Participants of the B and C groups were ranked between the 2nd and the 15th place at the recent national outdoor championship. The inclusion criteria were as follows: 1) absence of systematic exercise training at least during the previous 12 months for the sedentary participants; 2) at least 3 yr of systematic training for the strength-trained individuals; 3) weight stability ($\pm 2 \text{ kg}$) before entry (~ 3 months); 4) absence of restraining orthopedic/neuromuscular maladies; 5) age range between 18 and 35 yr; 6) absence of drug abuse or medications, which are known to affect the neuromuscular system; and 7) participation in the most recent national championship for the marathon runners and the power athletes. All procedures were in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the local university ethics committee, whereas all participants signed an informed consent before entering in the research procedure.

Procedure. Participants visited the laboratory six times. During their first visit, they completed a self-reported recall questionnaire about their physical activity during the previous week. Those who fulfilled the inclusion criteria (described in the previous section) came back for a second visit for medical examination, anthropometric and lower extremity dominance evaluation with the revised Waterloo Footedness Questionnaire (intraclass correlation coefficient [ICC] = 0.92) (14), and signed the informed consent. In the same day, the $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ assessment was also performed. After 20 min of rest, they performed the first testing familiarization session. Familiarization with the performance tests (see next section) was also performed during the third visit. In the fourth laboratory visit, participants performed the countermovement jumps (CMJ) and the isometric leg press test. Ten-minute warm-up on a stationary bicycle preceded the power performance evaluation. Three attempts were allowed with 1-min rest between them and 10 min between the two tests. One week later (fifth visit), resting vastus lateralis MFCV was examined. Muscle biopsies were obtained in the sixth laboratory visit.

Measurements. Body composition. A total body scan was performed with dual-energy x-ray absorptiometry (DPX-L; LUNAR Radiation, Madison, WI). All measurements were analyzed using the LUNAR radiation body composition program. Fat mass and lean body mass (LBM) were determined for the total body as well as for the lower extremities. The ICC for the LBM of lower extremities is 0.98 (95% confidence interval [CI]: lower = 0.95, upper = 0.99), the total LBM is 0.93 (95% CI: lower = 0.89, upper = 0.97), the total % fat is 0.90 (95% CI: lower = 0.85, upper = 0.96), and the lower extremities

T1

TABLE 1. Participants' characteristics.

	Sedentary	Endurance	Power	Strength
Age (yr)	24.6 ± 3.9	29.6 ± 5.0 ^a	25.1 ± 4.44	26.2 ± 2.2
Months of regular training ^b	0 ^a	56.8 ± 10.7	54.3 ± 5.5	51.6 ± 7.1
Frequency (times per week) ^b	0 ^a	5.8 ± 0.7	6.3 ± 0.5	5.7 ± 1.1
Resistance exercise workload per week (h) ^b	0 ^c	20.2 ± 9.6 ^c	45.8 ± 11.1 ^c	100 ± 20.5 ^c
Aerobic workload per week (km) ^b	0 ^c	230.5 ± 50.4 ^c	50.3 ± 13.9 ^c	44.9 ± 7.7 ^c
Duration of training unit (min) ^b	0 ^a	130.3 ± 20.9	114.5 ± 26.6	120.1 ± 10.2
Height (cm)	177.8 ± 4.2	179.6 ± 3.4	180.2 ± 2.7	181.4 ± 3.6
Mass (kg)	81.6 ± 12.0 ^c	76.4 ± 4.6 ^c	84.2 ± 10.5 ^c	87.1 ± 8.9 ^c
Body fat (%)	18.8 ± 6.6 ^a	10.1 ± 2.9 ^a	14.5 ± 6.5	14.8 ± 3.6
Total LBM (kg)	62.1 ± 6.1	61.7 ± 2.6	67.3 ± 5.6 ^a	70.2 ± 3.9 ^a
Lower extremity LBM (kg)	22.1 ± 2.6 ^c	19.1 ± 1.38 ^c	24.5 ± 2.4 ^c	26.8 ± 3.3 ^c
Estimated $\dot{V}O_{2peak}$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	45.1 ± 3.47 ^a	68.9 ± 5.9 ^a	53.4 ± 3.2	53.3 ± 2.9
Vastus Lateralis Muscle Fiber Composition				
Type I (%)	55.6 ± 5.8	63.1 ± 8.0 ^a	53.4 ± 5.5	56.2 ± 7.4
Type IIa (%)	33.1 ± 3.5	33.2 ± 8.5	34.4 ± 2.5	33.4 ± 4.9
Type IIx (%)	11.2 ± 3.3	2.8 ± 1.3 ^c	11.5 ± 4.0	8.1 ± 4.8 ^c
Type I CSA (μm ²)	3784 ± 362 ^d	3904 ± 555 ^d	4700 ± 408 ^d	5175 ± 526 ^d
Type IIa CSA (μm ²)	4769 ± 370 ^d	4856 ± 1106 ^d	6129 ± 721 ^d	6888 ± 530 ^d
Type IIx CSA (μm ²)	3834 ± 229 ^d	3813 ± 608 ^d	5249 ± 255 ^d	5972 ± 903 ^d
% CSA type I	54.8 ± 1.9 ^c	63.8 ± 4.7 ^c	47.2 ± 6.1 ^c	50.8 ± 6.4 ^c
% CSA type IIa	36.6 ± 1.5 ^d	33.8 ± 2.5 ^d	40.8 ± 3.6 ^d	43.9 ± 4.2 ^d
% CSA type IIx	8.6 ± 0.9 ^c	2.3 ± 0.8 ^c	12.1 ± 3.1 ^c	4.7 ± 2.3 ^c
% CSA type II	45.2 ± 1.8 ^c	36.1 ± 4.7 ^c	53.0 ± 6.4 ^c	48.6 ± 6.3 ^c
Vastus Lateralis MFCV				
Mean (m·s ⁻¹)	4.1 ± 0.4 ^d	4.1 ± 0.2 ^d	6.3 ± 0.4 ^d	5.6 ± 0.3 ^d
Type I (m·s ⁻¹)	3.6 ± 0.5 ^d	3.7 ± 0.3 ^d	4.7 ± 0.2 ^d	4.3 ± 0.3 ^d
Type II (m·s ⁻¹)	5.3 ± 0.3 ^d	5.5 ± 0.2 ^d	6.9 ± 0.4 ^d	6.5 ± 0.3 ^d
Min (m·s ⁻¹)	3.1 ± 0.2	3.3 ± 0.4	3.3 ± 0.3	3.2 ± 0.5
Max (m·s ⁻¹)	5.5 ± 0.4 ^d	5.7 ± 0.6 ^d	10.7 ± 2.2 ^d	8.5 ± 0.6 ^d
F/S ratio	1.9 ± 0.1 ^d	1.7 ± 0.3 ^d	3.2 ± 0.6 ^d	2.7 ± 0.5 ^d
CMJ				
Max force (N)	1873 ± 242 ^d	1588 ± 211 ^d	2258 ± 262 ^d	2019 ± 224 ^d
Average force (N)	644 ± 100 ^d	605 ± 143 ^d	1094 ± 202 ^d	865 ± 200 ^d
RFD (N·s ⁻¹)	107,042 ± 25,129 ^d	108,465 ± 39,824 ^d	266,213 ± 25,343 ^d	169,422 ± 54,446 ^d
Impulse (N·s)	208 ± 27.6 ^c	175 ± 8 ^c	292 ± 23 ^c	219 ± 22 ^c
Power (W)	1121 ± 137 ^c	812 ± 148 ^c	1985 ± 238 ^c	1346 ± 195 ^c
Relative power (W·kg ⁻¹)	13.8 ± 1.1 ^c	10.7 ± 2.3 ^c	23.9 ± 2.3 ^c	16.8 ± 1.6 ^c
Height (cm)	33.7 ± 0.1 ^c	29.3 ± 0.4 ^c	47.7 ± 1.1 ^c	38.5 ± 0.3 ^c
Isometric Leg Press Test				
Isometric max force (N)	3245 ± 584 ^d	3111 ± 849 ^d	4601 ± 745 ^d	5150 ± 813 ^d
RFD (N·s ⁻¹)	2662 ± 540 ^d	2800 ± 341 ^d	7502 ± 1153 ^d	4012 ± 746 ^d
20 ms	4545 ± 849 ^d	4999 ± 1521 ^d	16,129 ± 3598 ^d	7593 ± 941 ^d
40 ms	7997 ± 1200 ^d	8254 ± 1400 ^d	19,990 ± 3809 ^d	12,637 ± 3952 ^d
60 ms	10,705 ± 2773 ^d	10,370 ± 2302 ^d	21,694 ± 2278 ^d	16,963 ± 1881 ^d
100 ms	11,352 ± 2384 ^d	11,614 ± 2045 ^d	21,647 ± 2077 ^d	17,460 ± 1422 ^d
120 ms	11,361 ± 2319 ^d	10,995 ± 1673 ^d	20,005 ± 2100 ^d	16,948 ± 1499 ^d
150 ms	10,299 ± 2237 ^d	9940 ± 1160 ^d	17,777 ± 1616 ^d	15,009 ± 1945 ^d
200 ms	9249 ± 1951 ^d	8789 ± 921 ^d	15,639 ± 1883 ^d	13,722 ± 1309 ^d
250 ms				

Values are presented as mean ± SD. $P < 0.05$. % CSA, percentage area of muscle covered by a specific muscle fiber type; VL, vastus lateralis; Mean, mean MFCV of all muscle fibers; Type I, mean MFCV of type I fibers; Type II, mean MFCV of type II fibers; Min, minimum MFCV of all muscle fibers; Max, maximum MFCV of all muscle fibers; F/S ratio, the ratio between faster and slowest MFCV from each individual.

^aStatistically significant differences between the marked group and the rest.

^bData from weekly recall self-report questionnaire, which represent the mean weekly workloads at the particular time in which the present study was performed.

^cStatistically significant differences between all groups.

^dDifference between all groups except the contrast between sedentary and endurance groups.

percent fat is 0.94 (95% CI: lower = 0.88, upper = 0.98), $P < 0.0001$, $n = 13$ (38).

Estimation of $\dot{V}O_{2peak}$. An incremental protocol (6) on a motor-driven treadmill (Technogym Runrace, Gambettola, Italy) until exhaustion was used. $\dot{V}O_{2peak}$ was estimated based on exercise heart rate measurement using the following equation (36): $\dot{V}O_{2peak}$ (mL·kg⁻¹·min⁻¹) = (max heart rate × heart rate rest⁻¹) × 15 (36). Initial treadmill speed was 10 km·h⁻¹ and 0% inclination. For the first 10 min of the test, speed was increased by 1 km·h⁻¹ every minute, but after 10 min, the treadmill grade was increased 2% every

2 min until exhaustion. Heart rate (Polar FT1; Polar Electro, Kempele, Finland) and perceived exertion (Borg scale) were recorded every minute. ICC for $\dot{V}O_{2peak}$ was 0.87 (95% CI: lower = 0.81, upper = 0.94; $n = 7$).

Jumping performance. After reporting at the laboratory, participants started with 5-min warm-up on a stationary bicycle with 50 W and then performed three CMJ with sub-maximal intensity. Subsequently, they performed three maximal CMJ jumps with 2-min rest between each jump, on a force platform (Applied Measurements Ltd Co., UK; WP 800–1000 kg weighting platform; s/n, 40245; 80 × 80 cm; sampling frequency,

1 kHz) with arms akimbo as previously described (38,39). Data from the force platform were recorded and analyzed (Kyowa sensor interface PCD-320A) to calculate the following variables: [jump height (cm) = $((0.5 \times \text{flight time})^2 \times 2^{-1}) \times 9.81$]; [maximum power (W) = $(\text{body weight} + F_{\max}) \times 9.81 \times \text{flight time}$], and [RFD ($\text{N} \cdot \text{s}^{-1}$) = $(\text{max force} - \text{body weight}) \times (\text{time of maximum force} - \text{time at which force reach the body weight})^{-1}$] (24). The signal was filtered using a secondary low-pass Butterworth filter with a cutoff frequency of 20 Hz. The best performance in jump height was used for further analysis. The ICC values for jump height and power were 0.87 (95% CI: lower = 0.83, upper = 0.95) and 0.91 (95% CI: lower = 0.90, upper = 0.99), respectively, $n = 13$ (38). The ICC for RFD was 0.89 (95% CI: lower = 0.83, upper = 0.92; $n = 7$).

Isometric maximum force and RFD. Participants were seated on a custom-made steel leg press chair and placed both their feet on the force platform (Applied Measurements Ltd Co., UK; WP800, 1000 kg; weighting platform, 80×80 cm; sampling frequency, 1000 Hz), which was positioned perpendicular on a concrete laboratory wall. Knee angle was set at 120° and hip angle was set at 100° (39). All participants were instructed to apply their maximum force as fast as possible for 3 s. Three maximum trials were performed with a 2-min interval. They were vocally encouraged to perform their best effort. Variables calculated from the force-time curve included the maximum isometric force (MIF) and RFD as previously described (1,38,39). Maximum isometric force (as the highest peak on the curve) and RFD at 20, 40, 60, 100, 120, 150, 200, and 250 ms were calculated according to the following equation: $\text{RFD} (\text{N} \cdot \text{s}^{-1}) = \Delta \text{Force} \times \Delta \text{Time}^{-1}$ (38). The best performance according to RFD at 120 ms was used for statistical analysis. The ICC for MIF, RFD, and impulse were as follows: ICC = 0.90 (95% CI: lower = 0.86, upper = 0.96), ICC = 0.92 (95% CI: lower = 0.80, upper = 0.98) and ICC = 0.93 (95% CI: lower = 0.85, upper = 0.98), respectively, $n = 13$ (38).

MFCV. MFCV was measured in vastus lateralis, which is described as a good surrogate for the quadriceps muscle, and it is actively involved in everyday and sports-specific activities. Subjects rested at a supine position with both knees slightly (5°) flexed. MFCV was measured at the middle portion of the vastus lateralis of the dominant lower extremity, approximately 20 cm from mid patella, using an EMG apparatus (Medtronic Functional Diagnostics, Keypoint 31A02, Skovlunde, Denmark) and analysis software (Medtronic Keypoint®, NET, version 4.3.505.0). Room temperature was strictly maintained at 24°C during all procedures. Subjects rested at this position for 30 min before initiation of the measurement. A surface stimulation (1–2 mA, 0.2 ms duration) over the muscle (± 5 cm in all directions) was performed to identify a region of muscle with minimum end plates and to identify the most likely direction of the muscle fibers. An area of 5 × 5 cm, without any visible muscle twitch, and the direction of muscle fibers were then marked and recorded (31,32) to be used for the determination of the area in which muscle biopsies should be obtained. After skin cleaning with alcohol, a monopolar EMG needle electrode (length, 20 mm; diameter,

0.45 mm; recording surface, 0.30 mm²; Alpine Biomed, Aps, Skovlunde, Denmark, type DCNTM25) was inserted, 5–10 mm beyond fascia, whereas a silver surface electrode (as anode) was placed 10–15 mm away (35). Driven by the direction of the muscle fibers, a concentric needle electrode (length, 20 mm; diameter, 0.45 mm; recording surface, 0.07 mm²; type DCNTM25, Alpine Biomed, Aps, Skovlunde, Denmark) was placed 4 cm away from the stimulation needle. The stimulation signal was set at a 0.05-ms duration, a 1-Hz frequency, and 2–15 mA and filtered between 2 and 20 kHz (25). The concentric electrode was then moved slightly through the muscle at steps of 1 mm, until reproducible spikes greater than 20 μV were recorded, which are most likely to be the answer to the muscle stimulation (25). When these spikes were found, the concentric electrode was stabilized, and the stimulation was repeated until at least five identical muscle fiber responses were recorded, in an effort to ensure reproducibility and to avoid any variations caused by voluntary muscle contraction (5). Two to fifteen latencies, which exceeded the criteria of at least 20 μV in amplitude, were measured at the positive peaks. Then the recording needle was intramuscularly moved at steps of 1 mm in all directions, until a new group of muscle fiber responses was found (25; see Figure, Supplemental Digital Content 1, for an example of representative raw action potential recordings from the evaluation of MFCV, <http://links.lww.com/MSS/A692>). MFCV was calculated using the time of the latencies and the distance between the stimulating and recording electrode (31,32). The raw data from each subject were statistically analyzed with descriptive statistics. Recordings identified as outliers or extreme values or were ± 2 SD below or above the mean values were excluded from the analysis. An average of 65 ± 10 individual muscle fibers from each subject were used in further analysis. The bimodal shape of the histograms reveals the presence of two different MFCV groups, as proposed in previous reports: type II muscle fibers have higher MFCV than type I (cut point set at $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [2]). For each subject, the mean (MFCV_{mean}), the minimum (MFCV_{min}), and the maximum MFCV (MFCV_{max}) of all muscle fibers, the mean MFCV of type I (MFCV_{type I}) and type II (MFCV_{type II}) muscle fibers separately, and the ratio between the fastest and the slowest fiber (F/S ratio) MFCV were further used in statistics. The ICC values of all MFCV parameters were examined in a subgroup of the participants ($n = 10$) and ranged between 0.81 (95% CI: lower = 0.87, upper = 0.97) and 0.98 (95% CI: lower = 0.95, upper = 0.99).

Muscle biopsies and histochemistry. Muscle samples were obtained with Bergström needles from the vastus lateralis of the dominant lower extremity under local anesthesia from the same area that MFCV was previously evaluated. Samples were aligned, placed in embedding compound and frozen in isopentane precooled to its freezing point, and subsequently stored in liquid nitrogen until analysis. Serial cross sections of 10 μm thick were cut at -20°C and stained for myofibrillar ATPase after preincubation at pH 4.3, 4.6, and 10.3. A mean of 780 ± 180 muscle fibers from each participant were classified as type I, type IIA, or type IIX. The

CSA and the % CSA of all classified muscle fibers were measured with an image analysis system (Image Pro, Media Cybernetics Inc., Silver Spring, MD) at a known and calibrated magnification. See Figure, Supplemental Digital Content 2, for representative muscle biopsy sections (pH 4.6) from A) sedentary, B) endurance, C) power-trained, and D) strength-trained participants (dark stained fibers = type I, light-stained fibers = type II, intermediate stained fibers = type IIX, <http://links.lww.com/MSS/A693>). The ICC values for the percentage of type I, type IIA, and type IIX fibers in our laboratory are 0.96, 0.95, and 0.93, respectively (95% CI: lower = 0.91, 0.92, and 0.87 and upper = 0.99, 0.98, and 0.95, respectively).

Statistics. A *post hoc* power analysis was used for the determination of the results' actual power (G*Power ver. 3.1; Frank Faul, Universitat Kiel, Germany). According to the design of the present study (four groups $\times$ one measurement), the number of participants, and the average of MFCV_{mean} of each experimental group, an effect size of 0.634 was calculated, which revealed an actual power of 0.923 for the difference between groups (12,16). The power for the correlation coefficients when all participants were included ($n = 38$) ranged between 0.850 and 0.910. For the results of multiple regressions, an actual power between 0.900 and 0.950 was calculated.

All data are presented as mean $\pm$ SD. Descriptive statistics were used for the analysis of the raw data of MFCV from each subject. A one-way ANOVA with a Bonferroni *post hoc* multiple comparison test was used to determine differences among the four groups. Pearson's product moment correlation coefficient was used to explore correlations between variables. The interpretation of the observed correlations was performed according to Hopkins's ranking: correlations coefficients between 0.3 and 0.5 were considered moderate, between 0.51 and 0.70 large, between 0.71 and 0.90 very large, and >0.91 almost perfect (18). Stepwise multiple regression analysis was performed to evaluate the best linear combination for prediction of CSA and % CSA of each muscle fiber type.

Chi-square goodness of fit test (e.g., square root sign) was used for the determination of the reliability between the prediction equations that were discovered with stepwise multiple regression analysis and the actual CSA and % CSA of each muscle fiber type, assuming no differences between the distributions of the predicted and actual CSA and % CSA as a null-hypothesis. In addition, ICC was adopted using a two-factor mixed-effects model, and type consistency, standard error of measurements, interassay coefficient of variation, 95% limits of agreements (LOA), standard error of the limits, 95% confidence interval for the LOA, and repeatability coefficient (e.g., the maximum difference that is likely to occur between repeated measurements) were used as previously proposed (3,4). It is generally accepted that ICC values higher than 0.800 and close to 1, coefficient of variation lower than 10%, mean of the differences close to 0, small values and/or small range of values in LOA analysis, and low standard error of limits and repeatability coefficient are indicators of the absolute reliability and reproductively of the measurements (3). Statistical analyses were performed with SPSS Statistics

Ver. 20 (IBM Corporation, USA). A two-tailed significance was accepted at $P \leq 0.05$.

RESULTS

Significant differences were found among the four groups for LBM, the vastus lateralis fiber type composition and fiber CSA, the estimated $\dot{V}O_{2peak}$, the MFCV, the CMJ performance and power, the isometric force, and the RFD (Table 1). LBM, CSA of type II muscle fibers, and maximum isometric force were higher for the strength group. The % CSA of type II muscle fibers, MFCV, CMJ performance, and isometric leg press RFD were higher for the power group (Fig. 1). Except for the estimated $\dot{V}O_{2peak}$, the CMJ performance, the vastus lateralis percent type I fibers, and the % CSA of type I, type II, and type IIX muscle fibers, no difference was found between the sedentary participants and the marathon runners (Table 1). Please see also Figure, Supplemental Digital Content 3, for the histograms for MFCV and CSA for each of the four experimental groups of the present study, <http://links.lww.com/MSS/A694>.

Significant correlations were found between mean MFCV, max MFCV, F/S on the one hand, and the percent of type I, type IIX, and type II muscle fibers on the other hand, in sedentary participants ($r = -0.637$ to 0.802 , $P < 0.01$), power athletes ($r = -0.692$ to 0.939 , $P < 0.001$), and strength-trained individuals ($r = -0.655$ to 0.866 , $P < 0.001$), whereas these correlations were nonsignificant for the endurance athletes. Significant correlations were also found between all MFCV parameters and the CSA, the % CSA of all muscle fibers for each group ($r = -0.673$ to 0.967 , $P < 0.001$), with the lowest correlations observed for the endurance athletes (CSA: $r = 0.650$ – 0.800 ; % CSA: $r = -0.673$ to 0.840), and the highest correlations observed for the power athletes (CSA: $r = 0.781$ – 0.910 ; % CSA: $r = -0.747$ to 0.937). When all participants were calculated as one group, moderate correlations were found between MFCV and the percent of type I, type IIX, and overall type II muscle fibers (Pearson r range between -0.358 and 0.485 , $P < 0.05$). Very large or almost perfect correlations (18) were found between MFCV and CSA as well as the % CSA of all fiber types (Pearson r range between -0.712 and 0.943 , $P < 0.005$; Table 2, Fig. 2).

Low to moderate correlations were observed between MFCV and CMJ performance for the sedentary and marathon groups ($r = 0.512$ – 0.666 , $P < 0.05$), whereas large to almost perfect correlations were observed between MFCV and CMJ performance for the power group ($r = 0.739$ – 0.937 , $P < 0.001$) followed by the strength group ($r = 0.639$ – 0.832 , $P < 0.001$). The correlations between the isometric leg press performance and MFCV were higher for the power athletes ($r = 0.722$ – 0.977 , $P < 0.001$), whereas the lowest were observed for the sedentary and endurance groups ($r = 0.583$ – 0.858 , $P < 0.01$). When all participants were calculated as one group, MFCV was significantly correlated with CMJ and isometric leg press performance (0.584 – 0.992 , $P = 0.000$, Table 3A); the highest correlations were found between isometric leg press RFD and MFCV_{max} (Pearson r

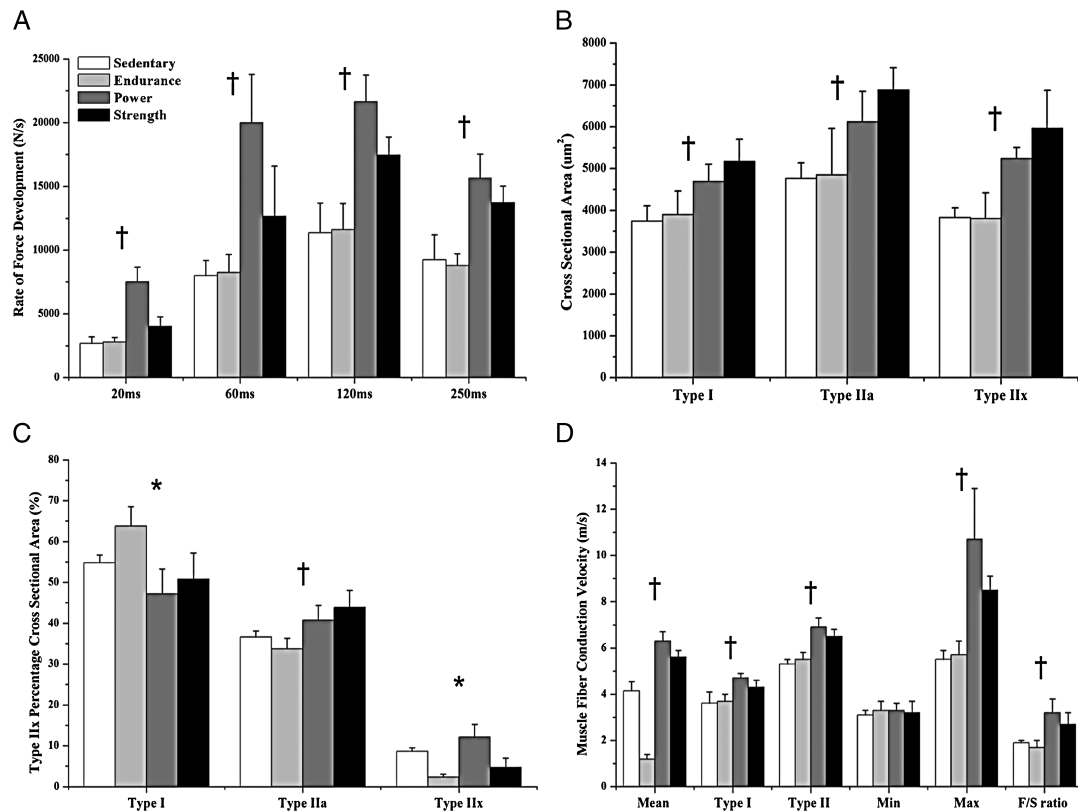


FIGURE 1—Isometric leg press RFD (A), vastus lateralis muscle fiber CSA (B), percentage muscle fiber CSA (C), and MFCV (D), among sedentary individuals, endurance runners, and power- and strength-trained participants. Values are presented as mean $\pm$ SD. *Statistically significant differences between all groups. †Difference between all groups except the contrast between sedentary and endurance groups ($P < 0.05$).

range between 0.838 and 0.992, $P = 0.000$). Partial correlations revealed a significant influence of the % CSA of type IIx muscle fibers (Table 3B) on the relationships between

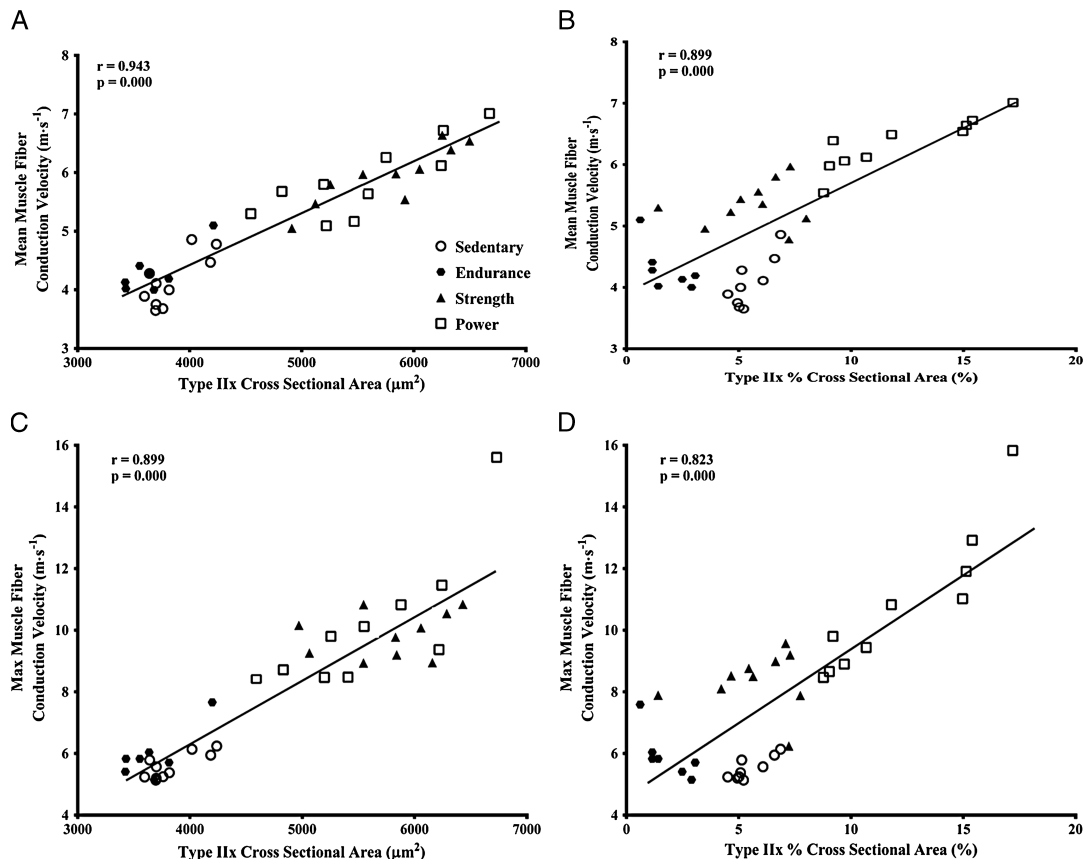
performance and MFCV, with Pearson's r ranging between nonsignificant up to 0.629 ($P < 0.05$) when all participants were analyzed as a group.

TABLE 2. Correlations between vastus lateralis fiber type composition and vastus lateralis MFCV, for all participants as group and for each group separately.

MFCV	Percentage				CSA				% CSA			
	I	IIa	IIx	II	I	IIa	IIx	Mean	I	IIa	IIx	II
All participants ($n = 38$)												
Mean	-0.358		0.416	0.346	0.924	0.907	0.943	0.953	-0.815	0.751	0.762	0.812
Type II					0.879	0.870	0.875	0.906	-0.712	0.685	0.646	0.713
Max	-0.424		0.485	0.418	0.830	0.840	0.899	0.887	-0.853	0.778	0.823	0.859
F/S	-0.414		0.477	0.418	0.751	0.769	0.793	0.800	-0.801	0.761	0.732	0.801
Sedentary ($n = 10$)												
Mean	-0.803		0.709	0.802	0.800	0.830	0.772	0.805	-0.690	0.675	0.672	0.690
Type II					0.699	0.739	0.650	0.698	-0.659	0.652	0.622	0.659
Max	-0.822	0.635	0.743	0.819	0.806	0.855	0.795	0.815	-0.700	0.690	0.635	0.698
F/S									-0.645	0.630	0.665	0.643
Endurance ($n = 9$)												
Mean					0.792	0.798	0.853	0.789				
Type II					0.813	0.847	0.746	0.808				
Max					0.769	0.756	0.760	0.759				
F/S												
Power ($n = 10$)												
Mean	-0.870		0.918	0.869	0.894	0.852	0.903	0.904	-0.847	0.889	0.920	0.847
Type II					0.872	0.952	0.967	0.958	-0.859	0.852	0.822	0.859
Max	-0.835	0.710	0.939	0.847	0.881	0.910	0.909	0.909	-0.857	0.930	0.937	0.910
F/S	-0.715	0.637	0.847	0.728					-0.855	0.809	0.828	0.856
Strength ($n = 9$)												
Mean	-0.812		0.760	0.815	0.873	0.822	0.860	0.869	-0.800	0.810	0.826	0.800
Type II					0.802	0.865	0.799	0.888	-0.666	0.689	0.610	0.668
Max	-0.827	0.672	0.868	0.827	0.880	0.808	0.840	0.895	-0.769	0.746	0.801	0.764
F/S									-0.588		0.503	0.546

Only significant correlations are presented ($P < 0.01$).

% CSA, percentage area of muscle covered by a specific muscle fiber type; Mean, mean MFCV of all muscle fibers; Type II, mean MFCV of type II fibers; Max, maximum MFCV of all muscle fibers; F/S ratio, the ratio between faster and slowest MFCV from each individual; Mean CSA, the average CSA of all muscle fibers per participant.



AQ2 FIGURE 2—Correlation plots between vastus lateralis type IIx muscle fiber CSA and mean and maximum MFCV ($n = 38$).

Stepwise multiple regression analysis revealed significant models for the prediction of the % CSA of type II and Ila muscle fibers, as well as the CSA of all muscle fiber types, from the combination of CMJ, isometric leg press RFD and MFCV:

$$\begin{aligned} \% \text{CSA Ila: } & 28.697 + (\text{RFD}_{150\text{ms}} \times 0.001) \\ & + (\text{F/S} \times 1.805) - (\text{jumpheight} \times 24.097) \quad [1] \\ (r = 0.836, r^2 = 0.707, F = 26.784, P = 0.000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{CSA II: } & 20.829 + (\text{RFD}_{150\text{ms}} \times 0.001) + (\text{F/S} \times 3.426) \quad [2] \\ (r = 0.871, r^2 = 0.758, F = 54.862, P = 0.000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Type I CSA } (\mu\text{m}^2): & 430.946 + (\text{MFCV}_{\text{Mean}} \times 989.068) \\ & - (\text{MFCV}_{\text{Max}} \times 121.786) \quad [3] \\ (r = 0.933, r^2 = 0.871, F = 117.745, P = 0.000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Type Ila CSA } (\mu\text{m}^2): & 308.083 + (\text{MFCV}_{\text{Mean}} \times 1043.316) \\ & + (\text{RFD}_{20\text{ms}} \times 0.077) \quad [4] \\ (r = 0.919, r^2 = 0.845, F = 95.218, P = 0.000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Type IIx CSA } (\mu\text{m}^2): & 1976.936 + (\text{RFD}_{120\text{ms}} \times 0.103) \\ & + (\text{RFD}_{40\text{ms}} \times 0.032) - (\text{MFCV}_{\text{Type I}} \times 420.133) \\ & + (\text{MFCV}_{\text{Mean}} \times 497.221) \quad [5] \\ (r^2 = 0.968, r^2 = 0.935, F = 114.412, P = 0.000) \end{aligned}$$

where MFCV is expressed in meters per second, isometric leg press RFD in newton per second, and jump height in meter.

No significant differences were observed with the chi-square goodness-of-fit test between the distribution of predicted and measured CSA and % CSA in all cases (% CSA Ila: $\chi^2 = 1406.00$, $df = 1369$, $P = 0.258$; % CSA II: $\chi^2 = 1257.00$, $df = 1869$, $P = 0.358$; CSA I: $\chi^2 = 1368.00$, $df = 1332$, $P = 0.241$; CSA Ila: $\chi^2 = 1406.00$, $df = 1369$, $P = 0.238$; CSA IIx: $\chi^2 = 1260.00$, $df = 1369$, $P = 0.238$). Table 4 presents the statistics for the reliability between the predicted and the measured CSA and % CSA. In all cases, ICC values were more than 0.863, CVs range between 4.35% and 6.22%, and mean of differences were very close to 0, and small values and/or small range of values in LOA analysis, low standard error of limits, and repeatability coefficient were observed, indicating the absolute reliability and reproductively of the measurements (Table 4). T4

DISCUSSION

The main finding of the present study was that the resting intramuscular MFCV of the vastus lateralis is highly correlated with the muscle fiber type II CSA and % CSA of the vastus lateralis in healthy sedentary and well-trained individuals, as well as that MFCV is closely linked with the CSA and the percentage CSA of type IIx muscle fibers. Intramuscular MFCV is also highly correlated with muscle power during jumping and isometric leg press RFD. Accordingly, among the participants of the current study,

TABLE 3. (A) Pearson's *r* correlations between vastus lateralis MFCV parameters and performance during the CMJ and the isometric leg press test, and (B) the effect of the % CSA of type IIx on these correlations, when all participants are calculated as one group (*n* = 38; only significant correlations are presented; *P* = 0.000).

(A) Pearson's <i>r</i> Correlations									
MFCV	CMJ								
	Max Force	Average Force			RFD	Impulse	Max Power	Relative Power	Height
Mean	0.711	0.823			0.858	0.785	0.839	0.846	0.667
Type II	0.584	0.715			0.781	0.693	0.756	0.783	0.602
Max	0.753	0.864			0.857	0.804	0.861	0.849	0.659
F/S	0.692	0.822			0.808	0.702	0.759	0.732	0.515
Isometric Leg Press Test									
	RFD								
	Max Force	20 ms	40 ms	60 ms	100 ms	120 ms	150 ms	200 ms	250 ms
Mean	0.784	0.524	0.716	0.838	0.971	0.978	0.968	0.938	0.925
Type II	0.720	0.559	0.681	0.797	0.909	0.916	0.893	0.847	0.866
Max	0.739	0.508	0.712	0.829	0.931	0.942	0.938	0.903	0.895
F/S	0.732	0.449	0.670	0.759	0.791	0.797	0.804	0.805	0.798
(B) Partial Correlations for the Effect of the % CSA of Type IIx Fibers									
MFCV	CMJ								
	Max Force	Average Force			RFD	Impulse	Max Power	Relative Power	Height
Mean	0.416	0.619				0.458			
Type II		0.639							
Max		0.601							
F/S									
Isometric Leg Press Test									
	RFD								
	Max Force	20 ms	40 ms	60 ms	100 ms	120 ms	150 ms	200 ms	250 ms
Mean	0.499				0.401	0.499	0.524	0.555	0.626
Type II							0.500	0.518	0.606
Max									0.541
F/S									0.552

Mean, mean MFCV of all muscle fibers; Type II, mean MFCV of type II fibers; Max, maximum MFCV of all muscle fibers; F/S ratio, the ratio between faster and slowest MFCV from each individual.

power-trained individuals had the uppermost muscle power and RFD as well as the highest MFCV, whereas endurance-trained individuals had the lowest muscle power and RFD, the lowest muscle fiber CSA, and the lowest MFCV.

Previous studies in experimental animals and human patients with neuromuscular diseases proposed that MFCV is determined by either the size or the type of muscle fibers (5,31,35). Here, the relationship between MFCV and fiber type composition in healthy and well-trained participants was explored. It seems that in these participants muscle fiber percentage distribution has only a minor effect on MFCV, whereas the CSA of type II and especially of type IIx fibers has a stronger effect on MFCV. The combination of the percentage distribution and the size of type II fibers (i.e., the % CSA) and specifically of IIx fibers may better explain vastus lateralis MFCV. It is generally accepted that type II muscle fibers have larger CSA than type I fibers; thus, they are expected to have lower cytoplasmic resistance, and therefore the local electric currents can propagate faster along their surface (17). Furthermore, the type of muscle fibers may also influence the conduction velocity because of the different numbers, densities (19,23), and isoforms of the Na⁺/K⁺-ATPase pumps present in type I and type II muscle fibers (11). The excitability of the sarcolemma and the spread of the action potentials along the length of the muscle fibers are facilitated with the Na⁺/K⁺-ATPase pump (11,19). Type II muscle fibers have more of these pumps than type I fibers (11). Also, the Na⁺/K⁺-ATPase consists of two subunits, α

and β , with multiple isoforms (23). The β 2-subunit isoform has a greater rate of Na⁺/K⁺ ion transfer and lower inactivity period, and it seems to be the predominant isoform in type II fibers (40). These divergent physiological features among fiber types suggest a faster spread of action potentials along the length of the type II muscle fibers, and the present results are in accordance with this concept. Nevertheless, it should not be disregarded that the transverse tubules also contribute a large part of a muscle cell's conduction velocity (11). MFCV as evaluated here probably missed this information because needle electrodes only record action potentials on the surface membrane. Future studies may address this interesting issue.

The RFD seems to be a key factor for performance in power-demanding activities such as sport activities or fast actions in everyday life such as fall avoidance, as it allows the application of a higher percentage of maximum strength in the early phases (e.g., 0–100 ms) of these movements (1,13). Previous reports suggest that neural activation is a fundamental determinant factor of power performance (1,13). However, in order for these action potentials to reach the contractile machinery, they have to be propagated along the fiber length. Moderate but significant correlations between MFCV estimated with surface electrodes during isometric efforts and maximal voluntary strength have been reported before (29,37). Those previous studies reported only, on average, MFCV in single joint actions and mostly on patients with neuromuscular disorders. The present study provides evidence that in addition to the rapid activation of the fastest

TABLE 4. Intrarater reliability between predicted and measured % CSA and CSA of type I, Ila and IIX muscle fibers.

	% CSA Ila		% CSA II		CSA I (μm^2)		CSA Ila (μm^2)		CSA IIX (μm^2)	
	Measured	Predicted [1]	Measured	Predicted [2]	Measured	Predicted [3]	Measured	Predicted [4]	Measured	Predicted [5]
Mean $\pm$ SD	37.84 $\pm$ 4.06	38.76 $\pm$ 4.48	44.22 $\pm$ 7.91	43.87 $\pm$ 6.79	4534.31 $\pm$ 798.51	4534.31 $\pm$ 745.06	5969.91 $\pm$ 1333.87	5968.84 $\pm$ 1225.48	4784.69 $\pm$ 1108.79	4784.69 $\pm$ 1073.56
Grand mean $\pm$ SD	38.30 $\pm$ 4.28		44.04 $\pm$ 7.33		4534.31 $\pm$ 767.09		5969.38 $\pm$ 1272.25		4533.20 $\pm$ 1506.14	
ICC	0.01		0.299		0.000		0.968		0.000	
ANOVA (F , $P > 0.05$)	0.869		0.863		0.933		0.918		0.968	
95% CI (low-high)	0.755 to 0.899		0.752 to 0.926		0.874 to 0.964		0.848 to 0.956		0.938 to 0.984	
SEM	1.54		2.71		198.55		364.31		269.42	
CV (%)	4.65		6.25		4.47		6.22		4.35	
LOA ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0.91 $\pm$ 2.52		-0.90 $\pm$ 1.15		0.00 $\pm$ 287.23		1.06 $\pm$ 525.57		0.70 $\pm$ 279.27	
95% CI _{Diff}	-1.74 to -0.08		-1.27 to -0.53		-94.41 to 94.41		-171.68 to 173.81		-93.79 to 95.19	
High 95% of LOA (95% CI _{LOA})	4.02 (3.81 to 4.24)		1.35 (1.26 to 1.45)		5562.98 (538.36 to 587.36)		1031.19 (986.58 to 1075.79)		548.08 (524.38 to 571.79)	
Low 95% of LOA (95% CI _{LOA})	-5.85 (-6.07 to -5.64)		-3.16 (-3.26 to -3.06)		-562.98 (-538.36 to -587.36)		-1029.06 (-984.45 to -1073.66)		-546.68 (-570.38 to -522.97)	
LOA 95% width	9.88		4.52		1125.96		2060.25		1094.77	
SEL	0.10		0.04		12.43		22.75		12.09	
RC	6.98		3.19		796.18		1456.81		774.11	

% CSA, percentage area of muscle occupied by a muscle fiber type; SEM, standard error of measurement; CV, interassay coefficient of variation; LOA, Bland and Altman 95% limits of agreements; Mean_{Diff}, mean of the difference between the measured and predicted values; SD_{Diff}, standard deviation of the difference between the measured and predicted values; CI_{Diff}, confidence interval of the difference between the measured and predicted values; 95% CI_{LOA}, 95% confidence interval for the LOA; SEL, standard error of limits; RC, repeatability coefficient.

α -motor units and an increased neural drive at the onset of muscle contraction and power production, and the RFD depends also on maximum MFCV. It seems that individuals with muscle fibers with higher MFCV would have higher rates of force development.

Nevertheless, it seems that the close link between MFCV and muscle power as well as the RFD is largely influenced by the percent and CSA of type IIX muscle fibers, as revealed with partial correlations. This indicates that although MFCV is correlated with power production and RFD, its role is indirect as a result of an elevated proportion and size of type IIX muscle fibers. Large type II muscle fibers produce more power (1,13) mostly because of their faster intrinsic contractile characteristics (e.g., higher ATPase activity). However, large fibers have lower cytoplasmic resistance resulting in faster action potential velocities, but as suggested by the current data, this fast propagation velocity in power- and strength-trained individuals is dictated by the fiber cross section. Thus, it seems that there is a cause-and-effect relationship between fiber mass and MFCV, which is not the case for the relationship between MFCV and power. Fast action potentials may travel faster along type II muscle fibers' sarcolemma; thus, the cross-bridge cycle may initiate sooner compared with type I fibers, leading to an earlier muscle contraction in these fibers, thus resulting in higher RFD and power production. However, the current cross-sectional study design may not provide any insight into the significance of either genetics or long-term exercise training on MFCV as well as the percentage of different fiber types in human skeletal muscle. In addition, further research is needed to reveal the mechanism that leads to a faster spread of action potentials in type IIX fibers, and they could better explain the relationships between MFCV and % CSA of type IIX muscle fibers.

Significant differences were detected in MFCV among individuals with different training background. Indeed, power-trained athletes had the highest MFCV values and endurance trained the lowest. These data further support previous reports showing significant differences in biceps brachii MFCV measured with surface electrodes between sprinters, long distance runners, and swimmers (20,22). In the present study, muscle power and MFCV were ordered similarly among the experimental groups: power trained > strength trained > endurance trained = sedentary individuals. This seems to be in accordance to the type II muscle fiber percent CSA order found here. It is generally accepted that the type of systematic training induces specific neuromuscular phenotypes part of which is the MFCV, which in turn is related to power performance. Interestingly, stepwise multiple regression analysis revealed prediction equations for muscle fiber CSA, specifically for the percent of CSA of type II and type Ila fibers. The latter may be estimated by the linear combination of the isometric leg press RFD, the CMJ performance, and the resting MFCV. These tests are less invasive compared with the needle muscle biopsy and may be readily performed several times during a training year. However, future studies should address this issue more systematically because of the relatively low number of participants in the present study.

The diagnosis of selected neuromuscular diseases relies partly on the F/S ratio, which summarizes the spread of MFCV of each individual (35), with neuromuscular disease patients often having increased F/S ratio. Interestingly, the F/S ratio was highly correlated with type II fiber CSA and type II fiber percent sectional area. This suggests that the selective hypertrophy of type II muscle fibers in strength/power-trained individuals (34) may increase the range of F/S ratio. In this case, it may be predicted that the spread of MFCV may be increased. This point needs further investigation because it may affect the diagnosis of certain neuromuscular diseases in strength/power-trained individuals.

Unfortunately, it was not possible to recruit more subjects in each group because of budget restrictions. A larger number of subjects would have strengthened the current results, especially the results of the stepwise regression analysis. Also, analysis of electromyographic data during power performance might have provided a better insight into the relationship between MFCV and performance, particularly regarding the amount of muscle tissue recruitment and the recruitment of additional muscles. Although vastus lateralis has been

described as a good surrogate for quadriceps, other muscles such as the triceps surae are involved during jumping and leg press. Additional data on the morphology and MFCV of these muscles might be also useful to clarify the link between MFCV and power performance.

In conclusion, the results of the present study indicate that the velocity of the neural signals propagation along the muscle fibers of vastus lateralis is linked with performance during lower body multijoint explosive actions. This link is mostly dictated by the size and the distribution of type II, and especially of type IIx muscle fibers, and it underscores the importance of the size and percentage distribution of type IIx muscle fibers for high power production and RFD. However, it remains uncertain if this is a power-training-induced adaptation or is due to hereditary factors.

The authors express their gratitude to the participants. They declare that they have no external financial support for this study. They also declare that they have no conflict of interest and the results of the present study do not constitute endorsement by the American College of Sports Medicine.

REFERENCES

1. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985). 2002;93:1318–26.
2. Arendt-Nielsen L, Zwarts M. Measurement of muscle fiber conduction velocity in humans: techniques and applications. *J Clin Neurophysiol*. 1989;6:173–90.
3. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*. 1998;26:217–38.
4. Bland MJ, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;327:307–10.
5. Blijham PJ, ter Laak HJ, Schelhaas HJ, van Engelen BG, Stegeman DF, Zwarts MJ. Relation between muscle fiber conduction velocity and fiber size in neuromuscular disorders. *J Appl Physiol* (1985). 2006;100:1837–41.
6. Bosquet L, Léger L, Legros P. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med*. 2002;32:675–700.
7. Buchthal F, Guld C, Rosenfalck P. Innervation zone and propagation velocity in human muscle. *Acta Physiol Scand*. 1955;35:174–90.
8. Buchthal F, Guld C, Rosenfalck P. Propagation velocity in electrically activated muscle fibres in man. *Acta Physiol Scand*. 1955;34:75–89.
9. Clausen T. Regulation of active Na^+ - K^+ transport in skeletal muscle. *Physiol Rev*. 1986;66:542–80.
10. Clausen T. Effects of age and exercise training on Na^+ - K^+ pumps in skeletal muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2003;285:R720–1.
11. Clausen T. Na^+ - K^+ pump regulation and skeletal muscle contractility. *Physiol Rev*. 2003;83:1269–324.
12. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates; 1988. p. 567.
13. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 1—biological basis of maximal power production. *Sports Med*. 2011;41:17–38.
14. Elias LJ, Bryden MP, Bulman-Fleming MB. Footedness is a better predictor than is handedness of emotional lateralization. *Neuropsychologia*. 1998;36:37–43.
15. Farina D, Ferguson RA, Macaluso A, De Vito G. Correlation of average muscle fiber conduction velocity measured during cycling exercise with myosin heavy chain composition, lactate threshold, and $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$. *J Electromyogr Kinesiol*. 2007;17:393–400.
16. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G* Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007;39:175–91.
17. Hodgkin AL, Nakajima S. The effect of diameter on the electrical constants of frog skeletal muscle fibres. *J Physiol*. 1972;221:105–20.
18. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*. 2000;30:1–15.
19. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of neural science*. McGraw-Hill New York: 2000. p. 100.
20. Kilen A, Gizzi L, Jensen BR, Farina D, Nordsborg NB. Changes in human muscle oxygen saturation and mean fiber conduction velocity during intense dynamic exercise—effect of muscular training status. *Muscle Nerve*. 2012;46:746–54.
21. Kjeldsen K, Schmidt TA, Christensen KØ, Saltin B, McKenna MJ. Does human skeletal muscle Na^+/K^+ -ATPase concentration correlate with capacity for muscle performance? In: *The Sodium Pump*. Bamberg E, Schoner W, eds.: Steinkopff, 1994; pp. 860–3.
22. Klaver-Król EG, Henriquez NR, Oosterloo SJ, Klaver P, Kuipers H, Zwarts M. Distribution of motor unit potential velocities in the biceps brachii muscle of sprinters and endurance athletes during prolonged dynamic exercises at low force levels. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20:1115–24.
23. Levenson R. Isoforms of the Na,K -ATPase: family members in search of function. In: *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Volume 123*. Springer Berlin Heidelberg, 1994; pp. 1–45.
24. Linthorne NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*. 2001;69:1198–204.
25. Mitrovic S, Lüder G, Hopf HC. Muscle fiber conduction velocity at different states of isotonic contraction. *Muscle Nerve*. 1999;22:1126–8.
26. Nielsen OB, Clausen T. The Na^+/K^+ -pump protects muscle excitability and contractility during exercise. *Exerc Sport Sci Rev*. 2000;28:159–64 2000.
27. Overgaard K, Nielsen OB, Flatman JA, Clausen T. Relations between excitability and contractility in rat soleus muscle: role of

- the Na⁺-K⁺ pump and Na⁺/K⁺ gradients. *J Physiol*. 1999;518: 215–25.
28. Pozzo M, Merlo E, Farina D, Antonutto G, Merletti R, Di Prampero PE. Muscle-fiber conduction velocity estimated from surface EMG signals during explosive dynamic contractions. *Muscle Nerve*. 2004;29:823–33.
 29. Sadoyama T, Masuda T. Changes of the average muscle fiber conduction velocity during a varying force contraction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1987;67:495–7.
 30. Sadoyama T, Masuda T, Miyata H, Katsuta S. Fibre conduction velocity and fibre composition in human vastus lateralis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988;57:767–71.
 31. Stålberg E. Propagation velocity in human muscle fibers in situ. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1966;287:1–112.
 32. Stålberg E. Single fibre electromyography. *Trends Neurosci*. 1979;2:185–8.
 33. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Finkel JE, et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* (1985). 1994;76:1247–55.
 34. Terzis G, Georgiadis G, Stratakis G, Vogiatzis I, Kavouras S, Manta P, et al. Resistance exercise-induced increase in muscle mass correlates with p70S6 kinase phosphorylation in human subjects. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102:145–52.
 35. Troni W, Cantello R, Rainero I. Conduction velocity along human muscle fibers in situ. *Neurology*. 1983;33:1453–9.
 36. Uth N, Sørensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO_{2max} from the ratio between HR_{max} and HR_{rest}—the heart rate ratio method. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91:111–5.
 37. Van der Hoeven JH, Lange F. Supernormal muscle fiber conduction velocity during intermittent isometric exercise in human muscle. *J Appl Physiol*. 1994;77:802–6.
 38. Zaras N, Stasinaki A, Krase A, Methenitis S, Karampatsos G, Georgiadis G, et al. Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28:3484–95.
 39. Zaras ND, Stasinaki AN, Methenitis SK, Krase AA, Karampatsos GP, Georgiadis GV, et al. Rate of force development, muscle architecture, and performance in young competitive track and field throwers. *J Strength Cond Res*. 2016;30:81–92.
 40. Zhang L, Morris KJ, Ng YC. Fiber type-specific immunostaining of the Na⁺,K⁺-ATPase subunit isoforms in skeletal muscle: age-associated differential changes. *Biochim Biophys Acta*. 2006;1762: 783–93.

AUTHOR QUERIES

AUTHOR PLEASE ANSWER ALL QUERIES

AQ1 = Please check if authors name are correctly captured for given names (in red) and surnames (in blue) for indexing after publication.

AQ2 = Please provide discussion of labels A to D found in the image.

END OF AUTHOR QUERIES