



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

**«Άμεσες και βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις
στην εκρηκτική δύναμη αθλητών ισχύος»**

Αθανάσιος Λ. Τσούκος

Διδακτορική Διατριβή

**ΠΡΟΠΟΝΗΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΕΙΔΙΚΗ ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

ΜΑΪΟΣ 2017

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

Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

Βεληγκέκας Παναγιώτης (Επιβλέπων)
Αναπληρωτής Καθηγητής Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικά Άλματα

Γελαδάς Νικόλαος
Καθηγητής Εργοφυσιολογίας

Βαγενάς Γεώργιος
Καθηγητής Στατιστικής Φ.Α.& Αθλητισμού

Καρτερολιώτης Κωνσταντίνος
Καθηγητής Μεθοδολογίας της Έρευνας στη Φυσική Αγωγή και τον Αθλητισμό

Τερζής Γεράσιμος
Αναπληρωτής Καθηγητής Κλασικού Αθλητισμού, Αθλητικές Ρίψεις

Μπογδάνης Γρηγόριος
Επίκουρος Καθηγητής Κλασικού Αθλητισμού (Άλματα)

Θεοδώρου Απόστολος
Επίκουρος Καθηγητής Αθλητικών Αλμάτων

Πρακτικό της Εξεταστικής Επιτροπής



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 Αθανασίου Τσούκου

Η επταμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Γ.Σ.Ε.Σ. της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 16/3/2017 για την κρίση και αξιολόγηση της διδακτορικής διατριβής του **κ. Αθανασίου Τσούκου** με τίτλο: «Άμεσες και βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις στην εκρηκτική δύναμη αθλητών ισχύος» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Π. Βεληγκέκα** Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων), **Ν. Γελαδά** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Βαγενά** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Κ. Καρτερολιώτη** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Τερζή** Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Γ. Μπογδάνη** Επίκ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, **Α. Θεοδώρου** Επίκ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών εκλήθησαν σήμερα 26/5/2017 ημέρα Παρασκευή και ώρα 12:30 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 κρινόμενη 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 ... **Α.Ρ.Ι.Ε.Τ.Α**.....

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Π. Βεληγκέκας, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ν. Γελαδάς, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Βαγενάς, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Κ. Καρτερολιώτης, Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Τερζής, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Γ. Μπογδάνης, Επίκουρος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Α. Θεοδώρου, Επίκουρος Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Έκφραση Ευχαριστιών

Το παρόν πόνημα δεν αποτελεί μόνο αντικείμενο μόχθου του συγγραφέα, επιβεβαιώνοντας την αξιωματική παραδοχή του αρχαίου Ρωμαίου ποιητή Βιργίλιου «Labor Omnia Vincit Improbus», αλλά είναι και αποτέλεσμα ομαδικής επιστημονικής σκέψης, δουλειάς και αγάπης για την έρευνα και τον αθλητισμό. Μέσα από αυτή την πνευματική συνεργασία και προσπάθεια νιώθω πλημμυρισμένος από γνώσεις, χειρισμούς και δεξιότητες που ήδη έχουν επιδράσει θετικά στη ζωή μου. Θεωρώ λοιπόν απαραίτητο να ευχαριστήσω εκείνους τους ανθρώπους που με βοήθησαν να περατώσω την παρούσα διδακτορική διατριβή. Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βεληγκέκα Παναγιώτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σ.Ε.Φ.Α.Α Αθηνών του τομέα Αθλητικών Αλμάτων Κλασικού Αθλητισμού, που με καθοδήγησε σωστά σε όλα τα επίπεδα από το 2009 στις μεταπτυχιακές μου σπουδές έως σήμερα με την ολοκλήρωση των διδακτορικών σπουδών. Πολλές ευχαριστίες στους συναδέλφους Καθηγητές Φυσικής Αγωγής, μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς φοιτητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών της Σ.Ε.Φ.Α.Α καθώς και στους δοκιμαζόμενους που έλαβαν μέρος στις μελέτες. Επίσης ευχαριστώ τους Καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος που διεύρυναν τις επιστημονικές μου γνώσεις και προήγαγαν τα επιστημονικά μου κίνητρα, καθώς και τα μέλη του Εργαστηρίου Κλασικού Αθλητισμού για τις δημιουργικές συζητήσεις, τις ανταλλαγές απόψεων, την υλική και ηθική υποστήριξη τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες και μνεία στον καθοδηγητή μου και συνεπιβλέποντα κ. Μπογδάνη Γρηγόριο, Επίκουρο Καθηγητή της Σ.Ε.Φ.Α.Α, για τις ατελείωτες ώρες που αφιέρωσε από τον πολύτιμο χρόνο του, για τη μεταφορά γνώσεων, τη μύηση στις επιστημονικές μεθόδους, την εκμάθηση συγγραφής επιστημονικών άρθρων και τους τρόπους ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Τέλος η παρούσα διδακτορική διατριβή είναι και απόρροια εσωτερικής γαλήνης και ψυχολογικής υποστήριξης. Για τον λόγο αυτό θα ήθελα κλείνοντας να ευχαριστήσω τη σύζυγο μου, Κωνσταντίνα, την κόρη μου, Νεκταρία-Μαρία, και τον υιό μου, Λουκά, για την υπομονή, την ανοχή και την αγάπη τους.

Άμεσες και βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις στην εκρηκτική δύναμη αθλητών ισχύος.

Περίληψη

Η μυϊκή δύναμη αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων στον αθλητισμό και σημαντικό παράγοντα για την καθημερινότητα και την υγεία του ανθρώπου. Η προπόνηση με αντιστάσεις είναι η πιο σημαντική μέθοδος για τη βελτίωση της μυϊκής δύναμης. Προκειμένου να αντληθούν περισσότερες πληροφορίες για τις άμεσες και βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις στην εκρηκτική δύναμη αθλητών ισχύος πραγματοποιήθηκαν δυο μελέτες. Σκοπός της πρώτης μελέτης ήταν να διερευνηθεί η άμεση επίδραση μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων στην άσκηση ημικάθισμα με δυο διαφορετικές γωνίες στο γόνατο (90° ή 140°) στο κατακόρυφο άλμα. Δευτερεύων σκοπός ήταν να εξεταστεί αν η κατακόρυφη αλτική ικανότητα μπορεί να επηρεάσει αυτή την επίδραση. Δεκατέσσερις αθλητές ισχύος του κλασικού αθλητισμού συμμετείχαν σε δυο πειραματικές συνθήκες και μια συνθήκη ελέγχου σε τυχαία και ισοσταθμισμένη σειρά. Αξιολογήθηκε η επίδοση του κατακόρυφου άλματος (CMJ) με μια δυναμοπλατφόρμα πριν και 15 δευτερόλεπτα, 3, 6, 9 και 12 λεπτά μετά από 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων. Το CMJ βελτιώθηκε σε σχέση με την αρχική μέτρηση (baseline) κατά $3.8 \pm 1.2\%$ 12 λεπτά ($p=0.027$) μετά την ισομετρική άσκηση με γωνία στο γόνατο 140°, ενώ δεν υπήρξε μεταβολή μετά τη συνθήκη των 90°. Στη συνθήκη ελέγχου, παρατηρήθηκε μείωση στο CMJ κατά $-3.6 \pm 1.2\%$ ($p=0.049$) 12 λεπτά μετά την αρχική μέτρηση. Όταν οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε «καλούς» και «μέτριους» άλτες σύμφωνα με την αρχική τους αλτική επίδοση υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ τους (CMJ: 45.1 ± 2.2 εν. 37.1 ± 3.9 cm, αντίστοιχα, $p = 0.001$). Η τριπλή ανάλυση διασποράς έδειξε ότι το CMJ αυξήθηκε μόνο στους «καλούς» άλτες κατά $5.4 \pm 1.4\%$ ($p<0.001$) στις 90° και κατά $7.4 \pm 1.2\%$ ($p<0.001$) στις 140°. Αυτή η βελτίωση ήταν μεγαλύτερη για τη συνθήκη των 140°. Συνεπώς η γωνία του γονάτου και η κατακόρυφη αλτική ικανότητα είναι σημαντικές παράμετροι για την άμεση βελτίωση της μυϊκής ισχύος μετά από ισομετρική άσκηση μέγιστης έντασης. Σκοπός της δεύτερης μελέτης ήταν να διερευνηθούν οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις μιας προπόνησης με αντιστάσεις μυϊκής ισχύος

χαμηλού όγκου στην εκρηκτική δύναμη 24 και 48 ώρες μετά. Δεκαεπτά αθλητές ομαδικών και ατομικών αθλημάτων ισχύος (ηλικία: 22.7 ± 5.5 y, ύψος: 181 ± 8 cm, μάζα: 80.7 ± 8.6 kg, % λίπους: 9.2 ± 1.7 %, 1-ME ημικάθισμα: 163 ± 29 kg) έλαβαν μέρος σε δυο πειραματικές συνθήκες και σε 2 συνθήκες ελέγχου σε τυχαία και ισοσταθμισμένη σειρά. Η εκρηκτική απόδοση αξιολογήθηκε πριν, 24 και 48 ώρες μετά από μια προπονητική συνεδρία βελτίωσης της μυϊκής ισχύος (5 σειρές των 4 ημικαθισμάτων με αναπήδηση στο 40% της 1 ME με 3 λεπτά διάλειμμα). Στις συνθήκες ελέγχου αξιολογήθηκε η εκρηκτική απόδοση χωρίς την εφαρμογή της προπονητικής συνεδρίας. Εξαρτημένες μεταβλητές ήταν: το κατακόρυφο άλμα (CMJ), το άλμα βάθους (DJ), η μέγιστη ισομετρική δύναμη και ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης (RFD) σε τρία χρονικά διαστήματα: 0-100, 0-200 και 0-300 ms. Δεν υπήρξε καμία μεταβολή στις συνθήκες ελέγχου. Σε αντίθεση, μετά την προπονητική συνεδρία, το CMJ βελτιώθηκε κατά $5.1 \pm 1.0\%$ και $3.0 \pm 1.0\%$ μετά από 24 και 48 ώρες αντίστοιχα. Ο δείκτης δύναμης αντίδρασης (RSI) κατά τη διάρκεια του άλματος βάθους αυξήθηκε κατά $10.7 \pm 2.1\%$ μόνο στη συνθήκη των 24 ωρών. Ο RFD βελτιώθηκε σε όλα τα χρονικά διαστήματα μετά από 24 ώρες (εύρος βελτίωσης: $9.7 \pm 3.4\%$ to $18.3 \pm 4.1\%$, $p < 0.01$). Αντιθέτως μετά από 48 ώρες παρατηρήθηκε βελτίωση μόνο στον RFD 0-100 ms ($9.8 \pm 3.1\%$, $p < 0.01$). Τα αποτελέσματα αυτά συνιστούν ότι η εκρηκτική δύναμη βελτιώνεται 24 ώρες μετά από μια προπονητική συνεδρία ισχύος με χαμηλό όγκο. Συνεπώς προτείνεται στους αθλητές να πραγματοποιούν μια προπονητική συνεδρία χαμηλού όγκου και μέτριας έντασης, μία ημέρα πριν από ένα αγώνα προκειμένου να αυξάνουν τις επιδόσεις τους.

Συμπερασματικά, η παραγωγή μυϊκής ισχύος μπορεί να αυξηθεί άμεσα (12 λεπτά) αλλά και βραχυπρόθεσμα (για 24-48 ώρες) με τη χρήση των κατάλληλων ασκήσεων ενεργοποίησης.

Λέξεις κλειδιά: μεταδιεγερτική ενεργοποίηση, κόπωση, μήκος μυός, αποκατάσταση, ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης, ημικάθισμα και αναπήδηση, άλμα βάθους, αθλητές ισχύος

Acute and delayed effects of resistance exercise on neuromuscular performance.

Abstract

Muscular strength is crucial for achieving high performance in sports as in daily activities and health. Resistance training is the most popular method for the improvement of muscular strength. This thesis will examine the acute and delayed effects of resistance exercise in explosive performance in order to obtain more information about resistance training. The purpose of the first study was to examine the acute effects of maximum isometric squats at 2 different knee angles (90° or 140°) on countermovement jump (CMJ) performance in power athletes. Fourteen national-level male track and field power athletes completed 3 main trials (2 experimental and 1 control) in a randomized and counterbalanced order 1 week apart. Countermovement jump performance was evaluated using a force-plate before and 15 seconds, 3, 6, 9, and 12 minutes after 3 sets of 3 seconds maximum isometric contractions with 1-minute rest in between, from a squat position with knee angle set at 90 or 140°. Countermovement jump performance was improved compared with baseline only in the 140° condition by $3.8 \pm 1.2\%$ on the 12th minute of recovery ($p = 0.027$), whereas there was no change in CMJ height in the 90° condition. In the control condition, there was a decrease in CMJ performance over time, reaching $23.6 \pm 1.2\%$ ($p = 0.049$) after 12 minutes of recovery. To determine the possible effects of baseline jump performance on subsequent CMJ performance, subjects were divided into 2 groups (“high jumpers” and “low jumpers”). The baseline CMJ values of “high jumpers” and “low jumpers” differed significantly (CMJ: 45.1 ± 2.2 vs. 37.1 ± 3.9 cm, respectively, $p = 0.001$). Countermovement jump was increased only in the “high jumpers” group by $5.4 \pm 1.4\%$ ($p = 0.001$) and $7.4 \pm 1.2\%$ ($p = 0.001$) at the knee angles of 90 and 140°, respectively. This improvement was larger at the 140° angle ($p = 0.049$). Knee angle during isometric squats and vertical jumping ability are important determinants of the acute CMJ performance increase observed after a conditioning activity. The second study examined the delayed effects of a power type training session on explosive performance. Seventeen well-trained male power and team sport athletes (age: 22.7 ± 5.5 y, height: 181 ± 8 cm, body mass: 80.7 ± 8.6 kg, body fat: 9.2 ± 1.7 %, 1-RM half-squat: 163 ± 29 kg) performed four sessions (2

experimental and 2 control) one week apart in a randomized and counterbalanced order. Explosive performance was assessed before, 24 and 48 h following a low-volume, power-type training session (5 x 4 jump squats at 40% 1RM with 3 min rest), as well as before and after 24 and 48 h of rest (control). Dependent variables were: countermovement jump (CMJ), reactive strength index (RSI) during a drop jump, leg press maximum isometric force and rate of force development (RFD) at three time windows: 0-100, 0-200 and 0-300 ms. ANOVA revealed no changes in the control conditions. In contrast following training, CMJ was improved by $5.1 \pm 1.0\%$ and $3.0 \pm 1.0\%$ at 24 and 48 h, respectively, compared to baseline. RSI improved by $10.7 \pm 2.1\%$ only at 24 h. RFD increased at all time-windows at 24 h (range of improvement: $9.7 \pm 3.4\%$ to $18.3 \pm 4.1\%$, $p < 0.01$). However, at 48 h, improvement was only seen in RFD0-100 ($9.8 \pm 3.1\%$, $p < 0.01$). These findings suggest that a low-volume, power-type training session results in delayed enhancement of explosive muscle performance, which is greatest at 24 h after the activity. Athletes are advised to perform power type training 1 day before competition or a high quality training session to improve their performance.

In conclusion, muscle power may be increased both acutely (for 8-12 min) as well as in the next 24-48 hours, using the appropriate conditioning activities.

Key words: postactivation potentiation, fatigue, muscle length, recovery, rate of force development, jump squat, drop jump, power athletes

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ	III
ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ.....	IV
ΈΚΦΡΑΣΗ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ.....	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	VI
ABSTRACT	VIII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	X
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	XII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	XII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	XII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	7
1.2 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	8
1.3 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ.....	8
1.4 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ	9
1.5 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ.....	9
1.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΟΡΩΝ.....	10
1.7 ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	10
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	12
2.1 ΆΜΕΣΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ	12
2.1.1 <i>Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και κόπωση.....</i>	<i>12</i>
2.1.2 <i>Τρόποι επίτευξης της Μεταδιεγερτικής Ενεργοποίησης</i>	<i>13</i>
2.1.3 <i>Πιθανοί μηχανισμοί πρόκλησης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης</i>	<i>14</i>
2.1.3.1 <i>Φωσφορυλίωση ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης.....</i>	<i>15</i>
2.1.3.2 <i>Αλλαγές στη μυϊκή αρχιτεκτονική: γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών</i>	<i>17</i>
2.1.3.3 <i>Επιστράτευση κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας</i>	<i>19</i>
2.1.4 <i>Αλληλεπίδραση Μεταδιεγερτικής Ενεργοποίησης και Κόπωσης</i>	<i>24</i>
2.1.5 <i>Παράγοντες που επηρεάζουν τη μυϊκή απόδοση μετά την άσκηση ενεργοποίησης</i>	<i>27</i>
2.1.5.1 <i>Χαρακτηριστικά άσκησης ενεργοποίησης.....</i>	<i>27</i>
2.1.5.2 <i>Χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων</i>	<i>30</i>
2.1.6 <i>Συμπεράσματα και πρακτικές εφαρμογές.....</i>	<i>35</i>
2.1.7 <i>Η επίδραση του μήκους του σκελετικού μύος στη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και την κόπωση με ειδική αναφορά στα καθίσματα με αντιστάσεις</i>	<i>36</i>
2.2 ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ.....	38
2.2.1 <i>Είδη προπόνησης αντιστάσεων με βάση τους προπονητικούς στόχους.....</i>	<i>38</i>
2.2.2 <i>Αποκατάσταση της μυϊκής ισχύος μετά από προπόνηση με αντιστάσεις με ειδική αναφορά στο κατακόρυφο άλμα και στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης (RFD).....</i>	<i>40</i>
2.2.3 <i>Αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης μετά από προπόνηση με αντιστάσεις.....</i>	<i>43</i>

2.3	ΕΚΡΗΚΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	46
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ		50
3.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	50
3.1.1	Περιγραφή των δοκιμαζόμενων	50
3.1.2	Ερευνητικός σχεδιασμός πρώτης μελέτης	50
3.1.3	Πειραματική διαδικασία	51
3.1.3.1	Μέτρηση μυϊκής ισομετρικής δύναμης κατά τη διάρκεια ισομετρικών καθισμάτων	52
3.1.3.2	Αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος	53
3.1.3.3	Προκαταρκτικές μετρήσεις και εξοικείωση	54
3.1.3.4	Αξιολόγηση της κόπωσης κατά τη διάρκεια μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων στις δυο πειραματικές γωνίες	55
3.1.4	Πειραματικές συνθήκες και συνθήκη ελέγχου	56
3.1.5	Στατιστική ανάλυση	57
3.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	57
3.2.1	Περιγραφή των δοκιμαζόμενων	57
3.2.2	Ερευνητικός σχεδιασμός δεύτερης μελέτης	58
3.2.3	Πειραματική διαδικασία	59
3.2.3.1	Προκαταρκτικές μετρήσεις και εξοικείωση	60
3.2.3.2	Αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης στην άσκηση ημικάθισμα	60
3.2.3.4	Αξιολόγηση άλματος βάθους	62
3.2.3.5	Αξιολόγηση μέγιστης ισομετρικής δύναμης και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης	62
3.2.4	Πειραματικές συνθήκες και συνθήκες ελέγχου	63
3.2.5	Στατιστική ανάλυση	64
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		66
4.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	66
4.1.1	Χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων της πρώτης μελέτης	66
4.1.2	Σχέση μέγιστης ισομετρικής δύναμης-γωνίας κατά την εκτέλεση ισομετρικών καθισμάτων	66
4.1.3	Χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης και κόπωσης	67
4.1.4	Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών	68
4.1.5	Αλλαγές στην επίδοση του κατακόρυφου άλματος σε σχέση με την γωνία των γονάτων και την κατακόρυφη αλτική ικανότητα κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών	69
4.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	71
4.2.1	Χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων της δεύτερης μελέτης	71
4.2.2	Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος (CMJ) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών	72
4.2.3	Η χρονική πορεία του δείκτη δύναμης αντίδρασης(RSI) κατά τη διάρκεια του άλματος βάθους (DJ)	73
4.2.4	Η χρονική πορεία της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης (RFD)	74
ΣΥΖΗΤΗΣΗ		77
5.1	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	77
5.2	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	82
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		89
6.1	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	89
6.2	ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	90
6.3	ΑΝΑΠΑΝΤΗΤΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		92

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... 116

ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	117
ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	119
ΚΑΡΤΕΛΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	121
ΚΑΡΤΕΛΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	122
ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΟΥ.....	124
ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	128
ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	133

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας 2.1.</i> Έρευνες στις οποίες χρησιμοποιήθηκε άσκηση ενεργοποίησης για την επίτευξη άμεσης βελτίωσης της μυϊκής απόδοσης.....	31
<i>Πίνακας 4.1.</i> Σωματομετρικά χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων 1ης μελέτης.....	66
<i>Πίνακας 4.2.</i> Χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης κατά τη διάρκεια των δυο διαφορετικών συνθηκών 90° ή 140° (μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση).....	68
<i>Πίνακας 4.3.</i> Σωματομετρικά χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων 2 ^{ης} μελέτης.....	72
<i>Πίνακας 4.4.</i> Αρχικές τιμές (baseline values) της μέγιστης ισομετρικής δύναμης (MIF) και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης (RFD) στα χρονικά παράθυρα 0-100, 0-200, 0-300 ms κατά τη διάρκεια των διαφορετικών πειραματικών συνθηκών (μέσες τιμές ± τυπική απόκλιση).....	75

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

<i>Σχήμα 2.1.</i> Υποθετική επίδραση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στην ταχοδυναμική σχέση.....	18
<i>Σχήμα 2.2.</i> Υποθετικό μοντέλο της σχέσης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης, κόπωσης και μυϊκής απόδοσης, σε συνάρτηση με τον όγκο της ενεργοποίησης.....	26
<i>Σχήμα 3.1.</i> Σχηματική απεικόνιση 1ης μελέτης.....	51
<i>Σχήμα 3.2.</i> Σχηματική απεικόνιση 2ης μελέτης.....	59
<i>Σχήμα 4.1.</i> Σχέση μέγιστης ισομετρικής δύναμης και γωνίας κατά την εκτέλεση ισομετρικών καθισμάτων σε τέσσερις διαφορετικές γωνίες.....	67
<i>Σχήμα 4.3.</i> Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών.....	70
<i>Σχήμα 4.4.</i> Η χρονική πορεία της επίδοσης του κατακόρυφου άλματος (CMJ) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών (2 ^η μελέτη).....	73
<i>Σχήμα 4.5.</i> Η χρονική πορεία της επίδοσης του δείκτη δύναμης αντίδρασης(RSI) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών (2 ^η μελέτη).....	74
<i>Σχήμα 4.6.</i> Η χρονική πορεία της επίδοσης του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης (RFD) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών (2 ^η μελέτη) στα διαφορετικά χρονικά παράθυρα 0-100 ms, 0-200 ms, 0-300 ms.....	76

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 2.1.</i> Το μόριο της μωσίνης.....	16
<i>Εικόνα 2.2.</i> Η επίδραση της γωνίας πρόσφυσης των μυϊκών ινών.....	20
<i>Εικόνα 2.3.</i> Μέτρηση αντανακλαστικού Hoffman (αντανακλαστικό-H) και του κυματισμού-M.....	22

<i>Εικόνα 2.4. Παρουσίαση ισομετρικού καθίσματος</i>	38
<i>Εικόνα 2.5. Μέτρηση του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης</i>	48
<i>Εικόνα 3.1. Κλωβός άρσης βαρών</i>	53
<i>Εικόνα 3.2. Εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με προδιάταση (CMJ)</i>	54

Κεφάλαιο I

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μυϊκή δύναμη αποτελεί παράμετρο υψίστης σημασίας τόσο στην καθημερινότητα του ανθρώπου όσο και στον αθλητισμό. Υψηλά επίπεδα μυϊκής δύναμης (ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης ή η ικανότητα παραγωγής συνολικής μηχανικής ισχύος) βελτιώνουν την ποιότητα ζωής καθώς και την αθλητική απόδοση (Kell, Bell, & Quinney, 2001; Suchomel, Nimphius, & Stone, 2016). Λειτουργικές ικανότητες που παίζουν σημαντικότατο ρόλο σε πολλά αθλήματα, όπως η ταχύτητα (sprint), η αλτικότητα, η αλλαγή κατεύθυνσης και η ειδική αθλητική απόδοση έχουν βρεθεί ότι σχετίζονται θετικά με τη μυϊκή δύναμη (Suchomel et al., 2016). Επιπλέον η μυϊκή δύναμη συνεισφέρει σημαντικά στην υγεία των αθλητών αφού οι δυνατότεροι έχουν μικρότερες πιθανότητες να τραυματιστούν, καθώς πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι ο ρυθμός των τραυματισμών είναι μειωμένος σε αθλητές που ακολούθησαν ένα πρόγραμμα ενδυνάμωσης (Fleck & Falkel, 2006; Lehance, Binet, Bury, & Croisier, 2009).

Μια δημοφιλής μέθοδος για τη βελτίωση της μυϊκής δύναμης που χρησιμοποιείται ευρέως από προπονητές, γυμναστές και ειδικούς της φυσικής κατάστασης είναι η προπόνηση με αντιστάσεις (Baechle & Earle, 2008). Η προπόνηση με αντιστάσεις έχει τεράστια οφέλη στην υγεία καθώς συμβάλλει στην καλή λειτουργία του μυοσκελετικού συστήματος αφού προλαμβάνει την οστεοπόρωση, τη σαρκοπενία, την οσφυαλγία και άλλες δυσλειτουργίες (Kraemer, Ratamess, & French, 2002; Winett & Carpinelli, 2001). Ακόμη επιδρά θετικά σε παράγοντες κινδύνου για την υγεία όπως στην αντίσταση στην ινσουλίνη, στον μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας, στον μεταβολισμό της γλυκόζης, στην αρτηριακή πίεση και στο ποσοστό του σωματικού λίπους οι οποίοι έχουν συσχετιστεί με τον διαβήτη, τις καρδιοπάθειες και τον καρκίνο (Kraemer et al., 2002; Winett & Carpinelli, 2001).

Η προπόνηση με αντιστάσεις έχει οριστεί ως μια προοδευτικά αυξανόμενη επιβάρυνση που επιβάλλεται πάνω στον ανθρώπινο σκελετικό μυ με συνέπεια την ανάπτυξη του μεγέθους του και της δύναμης αυτού (Close, Kayani, Vasilaki, & McArdle, 2005). Προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη της προπόνησης με αντιστάσεις και να προκληθούν προσαρμογές έχουν προταθεί τρεις βασικές αρχές.

Αυτές οι αρχές είναι: (α) η προοδευτικότητα δηλαδή η προοδευτική αύξηση της επιβάρυνσης, (β) η εξειδίκευση που αναφέρεται στο είδος της επιβάρυνσης το οποίο πρέπει να προσαρμόζεται στις ασκησιογενείς απαιτήσεις ώστε να επιτυγχάνονται οι ανάλογες προσαρμογές, και (γ) ο περιορισμός, δηλαδή η συστηματική εναλλαγή του προπονητικού προγράμματος αντιστάσεων σε σχέση με τον χρόνο προκειμένου να συνεχιστούν οι προσαρμογές (Kraemer et al., 2002). Με βάση τις προηγούμενες αρχές, η συνταγογράφηση της προπόνησης με αντιστάσεις περιλαμβάνει τον προσδιορισμό συγκεκριμένων μεταβλητών όπως: αξιολόγηση του αθλήματος και του αθλητή, επιλογή των ασκήσεων, συχνότητα της προπόνησης, σειρά εκτέλεσης των ασκήσεων, αποκατάσταση μεταξύ των ασκήσεων, μέγεθος της αντίστασης και αριθμός των επαναλήψεων (Baechle & Earle, 2008).

Τα είδη της προπόνησης αντιστάσεων με βάση τους προπονητικούς στόχους είναι: (α) προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μέγιστης δύναμης (Tan, 1999), (β) προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μυϊκής υπερτροφίας (Krieger, 2010), (γ) προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011) και (δ) προπόνηση για τη βελτίωση της μυϊκής αντοχής (Bird, Tarpenning, & Marino, 2005). Τα ανωτέρω είδη της προπόνησης αντιστάσεων επιφέρουν διαφορετικές προσαρμογές στη νευρομυϊκή απόδοση (Kilduff, Bevan, Kingsley, Owen, Bennett, Bunce & Cunningham, 2007; Linnamo, Newton, Hakkinen, Komi, Davie, McGuigan & Triplett-McBride, 2000; McCaulley, McBride, Cormie, Hudson, Nuzzo, Quindry & Travis Triplett, 2009; Smilios, Pilianidis, Sotiropoulos, Antonakis, & Tokmakidis, 2005). Οι προσαρμογές της νευρομυϊκής απόδοσης αναφέρονται στις αλλαγές που προκαλούνται στη μέγιστη και εκρηκτική δύναμη των δοκιμαζόμενων (Cormie et al., 2011; Ferri, Narici, Grassi, & Pousson, 2006; Linnamo et al., 2000; Raeder, Wiewelhove, Westphal-Martinez, Fernandez, DePaula Simola, Kellmann & Ferrauti, 2015; Tillin & Bishop, 2009). Οι προσαρμογές αυτές μπορούν να επιτευχθούν άμεσα, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (Chen, Yeh, Lee, Chen, Huang, Lee, & Kuo, 2011; Cook, Kilduff, Crewther, Beaven, & West, 2013; Docherty & Hodgson, 2007; Häkkinen, Kraemer, Newton, & Alen, 2001; Hodgson, Docherty, & Robbins, 2005; Sale, 2002). Οι άμεσες νευρομυϊκές προσαρμογές προκαλούνται αμέσως μετά (~15 δευτερόλεπτα) την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης της προπόνησης με

αντιστάσεις (Bogdanis, Tsoukos, Veligeas, Tsolakis, & Terzis, 2014) έως και περίπου τα 20 λεπτά (Crewther, Kilduff, Cook, Middleton, Bunce & Yang, 2011; Kilduff et al., 2007). Σε αυτό το χρονικό διάστημα προκαλούνται προσαρμογές κυρίως μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ της κόπωσης και του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Sale, 2002) η οποία αποτελεί τη φυσιολογική βάση της συνδυαστικής μεθόδου προπόνησης (Ebben, 2002). Οι βραχυπρόθεσμες προσαρμογές αναφέρονται σε αλλαγές που προκύπτουν στη νευρομυϊκή απόδοση (εκρηκτική και μέγιστη δύναμη) από 1 ώρα μετά την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης (Häkkinen, 1993) έως και 7 ημέρες (Kroon & Naeije, 1991). Σε αυτή την περίπτωση οι ερευνητές προσδιορίζουν την κόπωση (Ahtiainen & Häkkinen, 2009; Häkkinen, 1993; Häkkinen & Pakarinen, 1993) και την αποκατάσταση (Judge & Burke, 2010; Raastad & Hallén, 2000) της νευρομυϊκής απόδοσης μετά την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης της προπόνησης με αντιστάσεις. Οι μακροπρόθεσμες προσαρμογές αναμένονται μετά από συστηματική προπόνηση διάρκειας από 2 εβδομάδες έως 6 και πλέον μήνες.

Η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση έχει οριστεί ως η άμεση βελτίωση της μυϊκής δύναμης ή ισχύος μετά από εθελούσια μυϊκή σύσπαση η οποία εκτελείται με μέγιστη ή υπομέγιστη ένταση (Tillin & Bishop, 2009). Η σύσπαση αυτή ονομάζεται άσκηση ενεργοποίησης. Οι φυσιολογικοί μηχανισμοί που προκαλούν το φαινόμενο αυτό είναι η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης, η αυξημένη επιστράτευση των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας και οι αλλαγές που προκύπτουν στη γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών (Tillin & Bishop, 2009). Ωστόσο η άσκηση ενεργοποίησης μπορεί να προκαλέσει και κόπωση, δηλαδή μείωση της μυϊκής δύναμης ή/και της ισχύος. Έτσι κατά τη διάρκεια του χρόνου αποκατάστασης μετά την άσκηση ενεργοποίησης, η ισορροπία μεταξύ κόπωσης και μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης καθορίζει αν η μυϊκή απόδοση θα αυξηθεί, θα παραμείνει στάσιμη ή θα μειωθεί (Rassier & Macintosh, 2000). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία αυτή είναι τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης (όγκος, ένταση, είδος σύσπασης), το μέγεθος του διαλείμματος μεταξύ της άσκησης ενεργοποίησης και της νευρομυϊκής απόδοσης και τα χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων (επίπεδο μυϊκής δύναμης) (Chatzopoulos, Michailidis, Giannakos, Alexiou, Patikas, Antonopoulos, & Kotzamanidis, 2007;

Hamada, Sale, MacDougall, & Tarnopolsky, 2000; Rixon, Lamont, & Bembem, 2007; Sale, 2002; Tillin & Bishop, 2009).

Ένα χαρακτηριστικό των δοκιμαζομένων που επηρεάζει την αλληλεπίδραση ενεργοποίησης και κόπωσης είναι ο τύπος των μυϊκών ινών. Οι Hamada, Sale, MacDougall, και Tarnopolsky (2003) βρήκαν ότι οι δοκιμαζόμενοι με μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II (71.8% τύπου II-ταχείας σύσπασης) προκάλεσαν μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση σε σχέση με τους δοκιμαζόμενους που οι μύες τους καταλαμβάνονταν από μυϊκές ίνες τύπου I (61.4% τύπου I-βραδείας σύσπασης). Όμως οι δοκιμαζόμενοι με τις μυϊκές ίνες τύπου II παρουσίασαν μεγαλύτερη κόπωση. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι οι δοκιμαζόμενοι με υψηλό ποσοστό ινών ταχείας σύσπασης προκαλούν μεγαλύτερη ενεργοποίηση και κόπωση μετά από την άσκηση ενεργοποίησης (Hamada et al., 2003). Ωστόσο η μυϊκή βιοψία με την οποία προσδιορίζεται ο τύπος και υπολογίζεται το ποσοστό των μυϊκών ινών είναι μια μέθοδος αιματηρή, δαπανηρή και αντιμετωπίζεται συγκρατημένα από αθλητές υψηλού επιπέδου και δοκιμαζόμενους καθώς πραγματοποιείται συνήθως εισαγωγή ειδικής βελόνας στον έξω πλατύ μηριαίο μυ αφού προηγηθεί τομή με αποστειρωμένο νυστέρι (Stasinaki, Gloumis, Spengos, Blazeovich, Zaras, Georgiadis & Terzis, 2015). Ταυτόχρονα η έρευνα έχει δείξει ότι η αλτική επίδοση έχει συσχετιστεί σημαντικά με το ποσοστό ινών τύπου II (Bosco & Komi, 1979; Häkkinen, Komi, & Alén, 1985), οπότε θα αποτελούσε ερευνητικό ενδιαφέρον αν οι αθλητές με υψηλή αλτική επίδοση θα προκαλούν μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση, κάτι που θα ήταν πολύ χρήσιμο στην προπονητική πρακτική αφού δεν χρησιμοποιείται κάποια επίπονη ιατρική μέθοδος για τον προσδιορισμό της κατανομής του τύπου των μυϊκών ινών.

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η ισομετρική σύσπαση με μέγιστη ένταση (Sasaki, Tomioka, & Ishii, 2012) είναι αποδοτικότερη καθώς προκαλεί μεγαλύτερη ενεργοποίηση από την έκκεντρη-πλειομετρική και τη σύγκεντρη-μειομετρική (Bogdanis, et al., 2014; Esformes, Keenan, Moody, & Bampouras, 2011; Rixon et al., 2007). Ο Bogdanis και συν. (2014) σε μια πρόσφατη μελέτη συνέκρινε τα διαφορετικά είδη μυϊκής σύσπασης στην άσκηση ημικάθισμα με εξισωμένη την επιβάρυνση αποδείχθηκε ότι 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων προκάλεσαν μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση από τις

έκκεντρες και σύγκεντρες στην άσκηση των καθισμάτων με γωνία στο γόνατο 90° (Bogdanis et al., 2014). Ωστόσο η επίδραση της γωνίας του γονάτου κατά τη διάρκεια ισομετρικών καθισμάτων δεν έχει διερευνηθεί και παραμένει άγνωστο ποια γωνία επιφέρει μεγαλύτερη ενεργοποίηση. Είναι πιθανόν η γωνία του γονάτου η οποία καθορίζει το μήκος των εμπλεκόμενων πρωταγωνιστών μυών, να επηρεάζει την αλληλεπίδραση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης και κόπωσης διαφορετικό τρόπο (Lee, Braim, Becker, Prosser, Tokay & Binder-McLeod, 2007; Miyamoto, Mitsukawa, Sugisaki, Fukunaga, & Kawakami, 2010; Rassier, 2000; Smith, Cheng, & Rice, 2011). Ο Lee και συν. (2007) παρατήρησαν μικρότερη κόπωση κατά τη διάρκεια ηλ.εκτρικά προκλητών ισομετρικών συσπάσεων όταν η γωνία στο γόνατο ήταν 165° (μικρότερο μήκος μυός) σε σχέση με τη γωνία των 90° (μεγαλύτερο μήκος μυός). Οι ερευνητές απέδωσαν τα αποτελέσματα αυτά σε μεταβολικούς παράγοντες. Επιπροσθέτως μελέτες έχουν δείξει ότι η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση είναι μεγαλύτερη όταν το μήκος του μυός είναι μικρό (Miyamoto et al., 2010; Place, Maffiuletti, Ballay, & Lepers, 2005; Smith, Cheng & Rice, 2011). Σε αντίθεση οι Esformes και Bampouras (2013) σε πειραματικές συνθήκες περισσότερο εφαρμόσιμες προπονητικά διερεύνησαν την επίδραση του καθίσματος με γωνία στο γόνατο 60-70° (μεγάλο μήκος μυός) και του καθίσματος με γωνία 135° (μικρό μήκος μυός) στο κατακόρυφο άλμα CMJ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι προκλήθηκε μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μετά και από τα δυο πρωτόκολλα, αλλά στο πρωτόκολλο με το μεγάλο μήκος μυός η ενεργοποίηση ήταν μεγαλύτερη. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω παραμένει άγνωστο ποια θα είναι η επίδραση των ισομετρικών καθισμάτων με διαφορετική γωνία στο γόνατο στην αλτική επίδοση δεδομένου ότι η ισομετρική σύσπαση προκαλεί μεγαλύτερη ενεργοποίηση από την έκκεντρη, τη μειομετρική και τη δυναμική (Esformes, Cameron, & Bampouras, 2010)

Αρκετά προπονητικά βιβλία και σχετικά λίγες μελέτες προτείνουν ότι μια προπόνηση με αντιστάσεις πρέπει να προηγείται 24-48 ώρες πριν από τον αγώνα ή μια ποιοτική προπόνηση του εκάστοτε αθλήματος καθώς βελτιώνει την αθλητική απόδοση (Gatz, 2009; Gee, French, Howatson, Payton, Berger & Thompson, 2011; Jacoby, 2009; Mujika, 2009; Silvester, 2003). Ωστόσο παρότι είναι διαδεδομένη αυτή η τακτική μεταξύ των αθλητών και των προπονητών υπάρχει περιορισμένη

έρευνα σχετικά με την επίδραση της προπόνησης με αντιστάσεις στη νευρομυϊκή απόδοση πριν από έναν αγώνα ή μια ποιοτική προπόνηση (Gee et al., 2011; Hartmann, Wirth, Keiner, Mickel, Sander & Szilvas, 2015). Ένας από τους πιο βασικούς παράγοντες που μπορεί να περιορίσει αυτή την επίδραση είναι η κόπωση η οποία μπορεί να διαρκέσει από 1 ώρα έως 7 ημέρες (Kroon & Naeije, 1991; Linnamo et al., 2000). Μια πρόσφατη έρευνα εξέτασε την επίδραση του όγκου της προπόνησης αντιστάσεων στη νευρομυϊκή απόδοση, τις ορμονικές ανταποκρίσεις και τη μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών έως 48 ώρες μετά την άσκηση (González-Badillo, Rodríguez-Rosell, Sánchez-Medina, Ribas, López-López, Mora-Custodio, Pareja-Blanco, 2016). Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι το πρωτόκολλο με τις 3 σειρές των 8 επαναλήψεων στο 80% της 1 ME στα καθίσματα και στις πιέσεις χεριών σε πάγκο προκάλεσαν μεγαλύτερη κόπωση η οποία κράτησε 48 ώρες σε σχέση με το πρωτόκολλο με τον μισό όγκο (3 σειρές των 4 επαναλήψεων στο 80% της 1 ME) το οποίο εμφάνισε γρηγορότερη αποκατάσταση της απόδοσης (εντός 6 ωρών).

Οι Linnamo, Häkkinen, και Komi (1998) έχουν εξετάσει τις επιδράσεις της έντασης στη νευρομυϊκή αποκατάσταση μετά από μια προπόνηση με αντιστάσεις. Οι ερευνητές εφάρμοσαν δυο πρωτόκολλα στην άσκηση των εκτάσεων του τετρακέφαλου με όγκο 5 σειρές των 10 επαναλήψεων με 2 λεπτά διάλειμμα και ένταση τις 10 ME ή στο 40% των 10 ME όπου η εκτέλεση των επαναλήψεων πραγματοποιήθηκε με μέγιστη ταχύτητα κίνησης δηλαδή με εκρηκτικό τρόπο. Η μέγιστη δύναμη αποκαταστάθηκε σε 2 ώρες, μετά το πρωτόκολλο με τη μικρότερη ένταση ενώ στο πρωτόκολλο με τη μεγαλύτερη ένταση η αποκατάσταση κράτησε περισσότερο από 2 ημέρες. Ωστόσο η απόδοση ισχύος μειώθηκε το ίδιο και στα δυο πρωτόκολλα. Μπορούμε συνεπώς να συμπεράνουμε από την παραπάνω μελέτη ότι ο όγκος και η ένταση της προπόνησης με αντιστάσεις είναι σημαντικές μεταβλητές για μια γρήγορη αποκατάσταση. Επιπροσθέτως σε μια άλλη μελέτη όπου διερευνήθηκαν όλα τα είδη της προπόνησης αντιστάσεων με βάση τους προπονητικούς στόχους με εξισωμένο όγκο (McCaulley et al., 2009), παρατηρήθηκε ότι το πρωτόκολλο υπερτροφίας (4 σειρές των 10 επαναλήψεων στο 75% της 1 ME) και το πρωτόκολλο της μέγιστης δύναμης (11 σειρές των 3 επαναλήψεων στο 90% της 1 ME) προκάλεσαν σημαντικές μειώσεις στη μέγιστη δύναμη και στον ρυθμό

ανάπτυξης της δύναμης στα πρώτα 200 ms κατά τη διάρκεια ισομετρικών καθισμάτων, που διατηρήθηκαν σχεδόν για 24 ώρες. Σε αντίθεση στο πρωτόκολλο ισχύος (8 σειρές των 6 επαναλήψεων στην άσκηση ημικάθισμα με αναπηδήσεις στο 0% της ME) παρατηρήθηκε μια μη σημαντική τάση βελτίωσης της μέγιστης δύναμης η οποία ξεπέρασε την συνθήκη ελέγχου από 60 λεπτά έως 2 ημέρες μετά.

Επιπλέον μια ανάλογη μη σημαντική τάση βελτίωσης παρατηρήθηκε σε άλλη έρευνα (González-Badillo et al., 2016) όπου η μέση ταχύτητα ώθησης της μπάρας στην άσκηση των πιέσεων σε πάγκο ήταν 4.9% μεγαλύτερη σε σχέση με την αρχική μέτρηση (baseline), 48 ώρες μετά από 3 σειρές των 4 επαναλήψεων στο 80% της 1 ME στις ασκήσεις των καθισμάτων και των πιέσεων σε πάγκο. Ωστόσο, και τα δυο πρωτόκολλα ισχύος των ανωτέρω μελετών (McCaulley et al., 2009; González-Badillo et al., 2016) προκαλούν περιορισμούς. Στην πρώτη μελέτη το φορτίο είναι μηδενικό (ουσιαστικά αποτελεί μια πλειομετρική άσκηση με το 0% της 1 ME) (McCaulley et al., 2009) οπότε η ένταση δεν επαρκεί ίσως για την πρόκληση ενεργοποίησης, ενώ στη δεύτερη η ένταση είναι μεγάλη 80% (1 ME) και δεν εκτελούνται οι επαναλήψεις με υψηλή ταχύτητα κίνησης (González-Badillo et al., 2016), στοιχείο που εναντιώνεται στην αρχή της εξειδίκευσης. Συνεπώς η προπόνηση με αντιστάσεις ισχύος με ένα πρωτόκολλο μικρού όγκου και έντασης (30-50% της 1 ME) αλλά με μεγάλη ταχύτητα κίνησης δεν έχει διερευνηθεί και πιθανότατα να προκαλούσε βελτίωση της νευρομυϊκής απόδοσης 24 ή 48 ώρες μετά από την εφαρμογή του. Πρακτικά αυτό θα ήταν πολύ σημαντικό για τους αθλητές καθώς ένα τέτοιο προπονητικό πρωτόκολλο θα εφαρμοζόταν πριν από αγώνες και πριν από αγωνιστικά τεστ και ποιοτικές προπονήσεις για την μεγιστοποίηση της απόδοσής τους.

1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω παραμένουν αδιευκρίνιστα:

α. αν το μήκος του μυός κατά τη μέγιστη ισομετρική σύσπαση του επηρεάζει το βαθμό εκδήλωσης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης και κόπωσης

β. αν η μυϊκή ισχύς ενός ατόμου μεταβάλλει την ικανότητα των μυών του να ενεργοποιούνται μετά από μια άσκηση μυϊκής ενεργοποίησης και

γ. αν η εκρηκτική δύναμη μπορεί να βελτιωθεί εκτελώντας μια σειρά ασκήσεων ενεργοποίησης 1-2 ημέρες πριν.

1.2 Σημασία της έρευνας

Από τις μελέτες θα προκύψουν σημαντικές πληροφορίες για τη συνταγογράφηση προπονητικών προγραμμάτων χρησιμοποιώντας τη συνδυαστική μέθοδο προπόνησης, καθώς και για τον τρόπο με τον οποίο είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος σε αθλητές υψηλού επιπέδου και σε φυσικώς δραστήριους δοκιμαζόμενους. Επίσης, θα διερευνηθεί με επιστημονική μέθοδο η προπονητική πρακτική να εκτελείται σύντομη προπόνηση «ενεργοποίησης» 1-2 ημέρες πριν από αγώνα ή από μια ποιοτική αθλητική προπόνηση κατά τη διάρκεια της προπαρασκευαστικής ή αγωνιστικής περιόδου. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν θα έχουν άμεση εφαρμογή στα περισσότερα αθλήματα τόσο ομαδικά (ποδόσφαιρο, μπάσκετ, βόλεϊ, χάντμπολ κτλ.) όσο και ατομικά (στίβος, άρση βαρών, τζούντο, τένις κτλ.).

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Πρώτο ερευνητικό ερώτημα: Πόσο επηρεάζει το μήκος των μυών κατά την ισομετρική σύσπαση το μέγεθος της κόπωσης και της ενεργοποίησης;

Δεύτερο ερευνητικό ερώτημα: Προκαλείται μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση σε αθλητές με υψηλή αλτική επίδοση;

Τρίτο ερευνητικό ερώτημα: Θα επιφέρει ένα πρωτόκολλο προπόνησης αντιστάσεων με χαμηλό όγκο και υψηλή ένταση βελτίωση της εκρηκτικής δύναμης 24 ή 48 ώρες μετά την εφαρμογή του;

1.4 Ερευνητικές υποθέσεις

Πρώτη ερευνητική υπόθεση: τα μέγιστα ισομετρικά καθίσματα και στις δυο γωνίες θα προκαλέσουν μεταδιεγερτική ενεργοποίηση (αύξηση της αλτικής επίδοσης) από 15 δευτερόλεπτα έως 12 λεπτά μετά την εφαρμογή τους σε σχέση με τις αρχικές μετρήσεις (baseline).

Δεύτερη ερευνητική υπόθεση: τα μέγιστα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 140° (μικρό μήκος μυός) θα προκαλέσουν μεγαλύτερη αύξηση της αλτικής επίδοσης σε σχέση μετά τα μέγιστα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 90° (μεγάλο μήκος μυός).

Τρίτη ερευνητική υπόθεση: οι δοκιμαζόμενοι με υψηλή αλτική επίδοση θα εμφανίσουν μεγαλύτερη αύξηση της αλτικής επίδοσης σε σχέση με τους δοκιμαζόμενους με μικρότερη αλτική επίδοση.

Τέταρτη ερευνητική υπόθεση: η προπόνηση με αντιστάσεις ισχύος (ημικάθισματα με αναπηδήσεις) θα προκαλέσει βελτίωση της εκρηκτικής δύναμης 24 έως 48 ώρες μετά την εφαρμογή τους.

1.5 Οριοθετήσεις και περιορισμοί

1. Στις μελέτες, οι συμμετέχοντες είναι αθλητές με εμπειρία στην προπόνηση δύναμης τουλάχιστον έξι ετών.
2. Στις μελέτες, οι συμμετέχοντες είναι άνδρες.
3. Στις μελέτες δεν χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρομυογράφος (EMG) για την εξέταση νευρική ενεργοποίησης.
4. Στις μελέτες δεν χρησιμοποιήθηκε διακρανιακή μαγνητική διέγερση (TMS-transcranial magnetic stimulation) για την εξέταση κεντρικής ενεργοποίησης ή κόπωσης.
5. Στις μελέτες δεν εξετάστηκε η ψυχολογία των αθλητών.
6. Στις μελέτες δεν εξετάστηκε η ορμονική απόκριση των συμμετεχόντων.

1.6 Περιγραφή των όρων

Προπόνηση με αντιστάσεις: άσκηση με προοδευτικά αυξανόμενη εξωτερική επιβάρυνση (αντίσταση) που επιβάλλεται πάνω στον ανθρώπινο σκελετικό μυ με συνέπεια την ανάπτυξη του μεγέθους του και της δύναμης αυτού.

Μέγιστη δύναμη: η ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης από ένα μυ ή μια ομάδα μυών κατά τη διάρκεια μιας σύσπασης.

Μυϊκή υπερτροφία: η αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών η οποία προκύπτει από την προπόνηση.

Μυϊκή ισχύς: η εφαρμοζόμενη δύναμη πολλαπλασιαζόμενη με την ταχύτητα της κίνησης ($P=F \times V$). Επίσης, το έργο που ασκήθηκε προς τη μονάδα του χρόνου ($P=W/t$),.

Ρυθμός ανάπτυξης δύναμης: Ο ρυθμός που η μυϊκή δύναμη αναπτύσσεται ενάντια σε μια εξωτερική αντίσταση, σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση: η άμεση βελτίωση της μυϊκής δύναμης ή ισχύος μετά από εθελούσια μυϊκή σύσπαση η οποία εκτελείται με μέγιστη ή υπομέγιστη ένταση

Άσκηση ενεργοποίησης: αναφέρεται στην άσκηση (ασκήσεις με αντιστάσεις, άλματα κ.α) η οποία προκαλεί το φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.

Νευρομυϊκή απόδοση: η απόδοση στη μέγιστη και εκρηκτική δύναμη των δοκιμαζόμενων.

Εκρηκτική δύναμη: η ικανότητα του νευρομυϊκού συστήματος να αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα κίνησης στο ανθρώπινο σώμα (άλμα) ή σε κάποιο όργανο (ρίψη) και να εφαρμόζει πολύ γρήγορα τη δύναμη που παράγει (ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης).

Κόπωση: η μείωση της ικανότητας του μυός να παράγει δύναμη

1.7 Συντομογραφίες

ME: Μέγιστη επανάληψη

ATP:	Τριφωσφορική αδενοσίνη
CMJ:	Κατακόρυφο άλμα με ταλάντευση ή αντίθετη κίνηση
DJ:	Άλμα βάθους ή άλμα πτώσης από κουτί
SJ:	Άλμα από θέση ημικαθίσματος
RFD:	Ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης
ICC:	Ενδοταξικός δείκτης συσχέτισης
Kg:	Μονάδα μέτρησης βάρους, κιλά
Sec:	Μονάδα μέτρησης χρόνου, δευτερόλεπτα
p:	Επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας
m, cm:	Μονάδες μέτρησης μήκους, σε μέτρα και εκατοστόμετρα
d:	δείκτης Cohen's d για τον προσδιορισμό του μεγέθους επίδρασης για τις κατά ζεύγη πολλαπλές
95%CI:	διάστημα εμπιστοσύνης 95%
ES:	μέγεθος επίδρασης

Κεφάλαιο II

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η προπόνηση με αντιστάσεις προκαλεί άμεσες και βραχυπρόθεσμες διαφοροποιήσεις στη νευρομυϊκή απόδοση (Häkkinen, Pakarinen, Alén, Kauhanen, & Komi, 1988; M. Hodgson et al., 2005; Linnamo et al., 2000; Tillin & Bishop, 2009). Οι άμεσες επιδράσεις αναφέρονται στη χρονική πορεία της νευρομυϊκής απόδοσης (εκρηκτική και μέγιστη δύναμη) αμέσως μετά την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης της προπόνησης με αντιστάσεις (~15 δευτερόλεπτα) (Bogdanis, et al., 2014) έως και περίπου τα 20 λεπτά (Kilduff et al., 2007). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σε αυτό το χρονικό διάστημα η απόδοση των σκελετικών μυών εξαρτάται από την αλληλεπίδραση της κόπωσης και του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης που διερευνάται συστηματικά τα τελευταία 20 χρόνια. Οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις αναφέρονται στη χρονική πορεία της νευρομυϊκής απόδοσης (εκρηκτική και μέγιστη δύναμη), 1 ώρα μετά την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης (Häkkinen, 1993) έως και 7 ημέρες (Kroon & Naeije, 1991). Σε αυτή την περίπτωση οι ερευνητές προσδιορίζουν την κόπωση (Ahtiainen & Häkkinen, 2009; Häkkinen, 1993; Häkkinen & Pakarinen, 1993) και την αποκατάσταση (Judge & Burke, 2010; Raastad & Hallén, 2000) της νευρομυϊκής απόδοσης μετά την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης της προπόνησης με αντιστάσεις. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία απαιτείται πλήρης αποκατάσταση από την προπόνηση για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση των ασκουμένων (Bishop, Jones, & Woods, 2008). Συνεπώς στόχος των προπονητών είναι η πλήρης γνώση και κατανόηση των άμεσων και βραχυπρόθεσμων ανταποκρίσεων της νευρομυϊκής απόδοσης των ασκουμένων προκειμένου να συνταγογραφηθούν ορθά και ασφαλή προπονητικά προγράμματα.

2.1 Άμεσες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις

2.1.1 Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και κόπωση

Η παραγωγή δύναμης και ισχύος από ένα σκελετικό μυ εξαρτάται όχι μόνο από τα φυσιολογικά του χαρακτηριστικά (π.χ. τύπος μυϊκών ινών, εγκάρσια επιφάνεια),

αλλά και από την προηγηθείσα δραστηριότητά του (Hodgson et al., 2005). Έτσι, αν προηγηθεί ήπια άσκηση (π.χ. προθέρμανση), η μυϊκή δύναμη και ισχύς αυξάνεται, ενώ αν προηγηθεί έντονη άσκηση η μυϊκή απόδοση μπορεί είτε να μειωθεί (φαινόμενο «κόπωσης», (Enoka & Stuart, 1992) είτε να αυξηθεί περαιτέρω σε σύγκριση με την κατάσταση ηρεμίας (φαινόμενο «μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης», (Sale, 2002)). Η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση έχει οριστεί ως η βραχυπρόθεσμη βελτίωση της μυϊκής απόδοσης η οποία επέρχεται μετά από προηγηθείσα έντονη εθελούσια ή ηλεκτρικά προκλητή μυϊκή σύσπαση (Robbins, 2005). Η άσκηση που προκαλεί μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μπορεί να είναι μέγιστη ισομετρική (Gullich & Schmidtbleicher, 1996) ή δυναμική με ένα μεγάλο εύρος φορτίων (Smilios et al., 2005) και με διαφορετικές μορφές εκτέλεσης (π.χ. άλματα, άσκηση με αντιστάσεις) (Tsolakis, Bogdanis, Nikolaou, & Zacharogiannis, 2011). Αν και το φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης έχει παρατηρηθεί από τη δεκαετία του 1950 (Hufschmidt, 1958), οι περισσότερες μελέτες σε ανθρώπους έχουν γίνει τα τελευταία 25 χρόνια (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Sale, 2002; Tillin & Bishop, 2009; Xenofondos, Laparidis, Kyranoudis, Galazoulas, Bassa, 2010).

Η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αθλητική πρακτική τόσο κατά την διάρκεια της προετοιμασίας των αθλητών (μακρόχρονη ή έμμεση επίδραση) για τη μεγιστοποίηση της βελτίωσης της μυϊκής ισχύος κατά την προπόνηση, όσο και για τη συμμετοχή των αθλητών σε αγώνα (βραχυπρόθεσμη ή άμεση επίδραση, (Docherty & Hodgson, 2007)).

2.1.2 Τρόποι επίτευξης της Μεταδιεγερτικής Ενεργοποίησης

Η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση έχει καταγραφεί σε πολλές μελέτες σε ανθρώπους και θηλαστικά ζώα (Grange, Vandenboom, Xení, & Houston, 1998; Manning & Stull, 1982) και μπορεί να επιτευχθεί:

- με μια σειρά ηλεκτρικά προκλητών επαναλαμβανόμενων μυϊκών συσπάσεων χαμηλής συχνότητας οι οποίες προκαλούν μια προοδευτική θετική επίδραση γνωστή ως φαινόμενο κλίμακας ή staircase effect (MacIntosh & Rassier, 2002),

- με μια ηλεκτρικά προκλητή τετανική σύσπαση, σε αυτή τη περίπτωση η βελτίωση της απόδοσης ονομάζεται μετατετανική ενεργοποίηση (O'Leary, Hope, & Sale, 1997)
- με μέγιστη εκούσια ισομετρική σύσπαση (Hamada, Sale, & MacDougall, 2000),
- με μια σειρά εκούσιων δυναμικών συσπάσεων με μέγιστο ή υπομέγιστο φορτίο (Gilbert & Lees, 2007; Smilios et al., 2005).

Η μέτρηση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης πραγματοποιείται είτε ακούσια (Hamada et al., 2003), με μια ηλεκτρικά προκλητή σύσπαση (twitch), είτε εκούσια με μυϊκές συσπάσεις κατά τη διάρκεια ασκήσεων ή αθλητικών δραστηριοτήτων (Crewther et al., 2011). Η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση γίνεται αισθητή 4-20 λεπτά μετά την ενεργοποίηση (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Kilduff et al., 2007). Ωστόσο υπάρχουν μελέτες που βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μετά από μικρότερο (Terzis, Spengos, Karampatsos, Manta, & Georgiadis, 2009) ή μεγαλύτερο χρόνο αποκατάστασης (Saez Saez de Villarreal, González-Badillo, & Izquierdo, 2007).

2.1.3 Πιθανοί μηχανισμοί πρόκλησης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης

Έρευνες της τελευταίας δεκαετίας, δείχνουν ότι οι κύριοι φυσιολογικοί μηχανισμοί που συνδέονται με πρόκληση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης είναι τρεις:

- I. η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης (Smith & Fry, 2007),
- II. οι αλλαγές που προκύπτουν στην γωνία πρόσφυσης (Tillin & Bishop, 2009), η οποία σχηματίζεται από την απονεύρωση του μυός και την μυϊκή ίνα (Mahlfeld, Franke, & Awiszus, 2004) και δείχνει τον προσανατολισμό των μυϊκών ινών σε σχέση με τον τένοντα (Folland & Williams, 2007) και

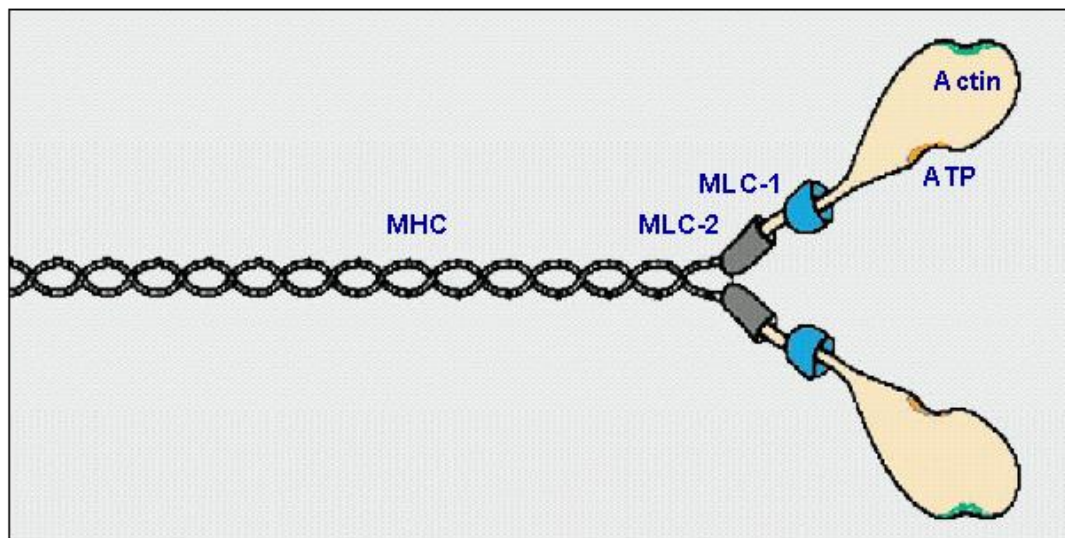
III. η αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό κατώφλι ενεργοποίησης ή επίπεδο διεγερσιμότητας (Gullich & Schmidtbleicher, 1996).

Ο πρώτος και ο δεύτερος μηχανισμός, δηλ. η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης και οι αλλαγές στην αρχιτεκτονική του μυός, είναι μυογενείς, δηλ. προκαλούνται στο επίπεδο του μυός. Ο τρίτος μηχανισμός, δηλ. η αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας δραστηριοποιείται στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού, και μπορεί να χαρακτηριστεί ως νευρογενής (Chiu, Fry, Schilling, Johnson, & Wiess, 2003; Gullich & Schmidtbleicher, 1996). Κατά τους Tubman και συν. (1996), η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση πιθανότατα προκαλείται από ένα συνδυασμό μυογενών και νευρογενών μηχανισμών.

2.1.3.1 Φωσφορυλίωση ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης

Ο επικρατέστερος φυσιολογικός μηχανισμός της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης φαίνεται να είναι η φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης (Hodgson, Docherty, & Zehr, 2008; Smith & Fry, 2007). Το μόριο της μυοσίνης αποτελείται από δύο «βαριές αλυσίδες», όπου στο άκρο τους βρίσκονται δύο «ελαφριές αλυσίδες» (Myosin Light Chains ή MLC): η «απαραίτητη ελαφριά αλυσίδα» (MLC-1) και η «ρυθμιστική ελαφριά αλυσίδα» (MLC-2), η οποία μπορεί να φωσφορυλιωθεί (Σχήμα 1). Όταν ένας μυς ενεργοποιηθεί μέσω μιας άσκησης υψηλής έντασης με αντιστάσεις, τότε αυξάνεται η απελευθέρωση των ιόντων ασβεστίου από το σαρκοπλασματικό δίκτυο, τα οποία συνδέονται με μια πρωτεΐνη, την καλμοδουλίνη (Manning & Stull, 1982). Αυτό το σύμπλοκο ενεργοποιεί ένα ένζυμο, την κινάση των ελαφριών αλυσίδων της μυοσίνης, η οποία προσθέτει φωσφορικά ιόντα στις ελαφριές αλυσίδες της μυοσίνης (Moore & Stull, 1984). Η φωσφορυλίωση των MLC-2 αυξάνει τη μυϊκή απόδοση στις συσπάσεις που ακολουθούν μέσω δύο μηχανισμών: (α) της μεταβολής της δομής της κεφαλής της μυοσίνης και (β) της αύξησης της ευαισθησίας του συμπλέγματος ακτίνης-μυοσίνης στο ασβέστιο (Grange, Vandenboom, & Houston, 1993; Sweeney, Bowman, & Stull,

1993; Vandenboom, Grange, & Houston, 1995). Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης της μυϊκής σύσπασης που ακολουθεί, μέσω της αύξησης στην συχνότητα ένωσης των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης και των λεπτών νηματίων της ακτίνης (Sale, 2002). Η θετική επίδραση της φωσφορυλίωσης των MLC-2 στη μυϊκή απόδοση είναι μεγαλύτερη όταν τα επίπεδα του ασβεστίου στο μυϊκό κύτταρο είναι χαμηλά, δηλαδή σε υπομέγιστες μυϊκές συσπάσεις και σε χαμηλές συχνότητες ηλεκτρικής διέγερσης (Abbate, Sargeant, Verdijk, & de Haan, 2000). Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, η μέγιστη ισομετρική δύναμη και η μέγιστη ταχύτητα βράχυνσης χωρίς εξωτερική αντίσταση του μυός δεν φαίνεται να βελτιώνονται σημαντικά μετά από ενεργοποίηση του μυός η οποία προκαλεί το φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Gossen & Sale, 2000; Vandenboom, Grange, & Houston, 1993).



Εικόνα 2.1. Το μόριο της μυοσίνης το οποίο αποτελείται από δύο «βαριές αλυσίδες» (Myosin Heavy Chains ή MHC), όπου στο άκρο τους βρίσκονται δύο «ελαφριές αλυσίδες» (Myosin Light Chains ή MLC): η απαραίτητη ελαφριά αλυσίδα (MLC-1) και η ρυθμιστική ελαφριά αλυσίδα (MLC-2), η οποία μπορεί να φωσφορυλιωθεί. Στις κεφαλές της μυοσίνης φαίνονται τα σημεία πρόσδεσης με την ακτίνη (Actin) και με το ATP.

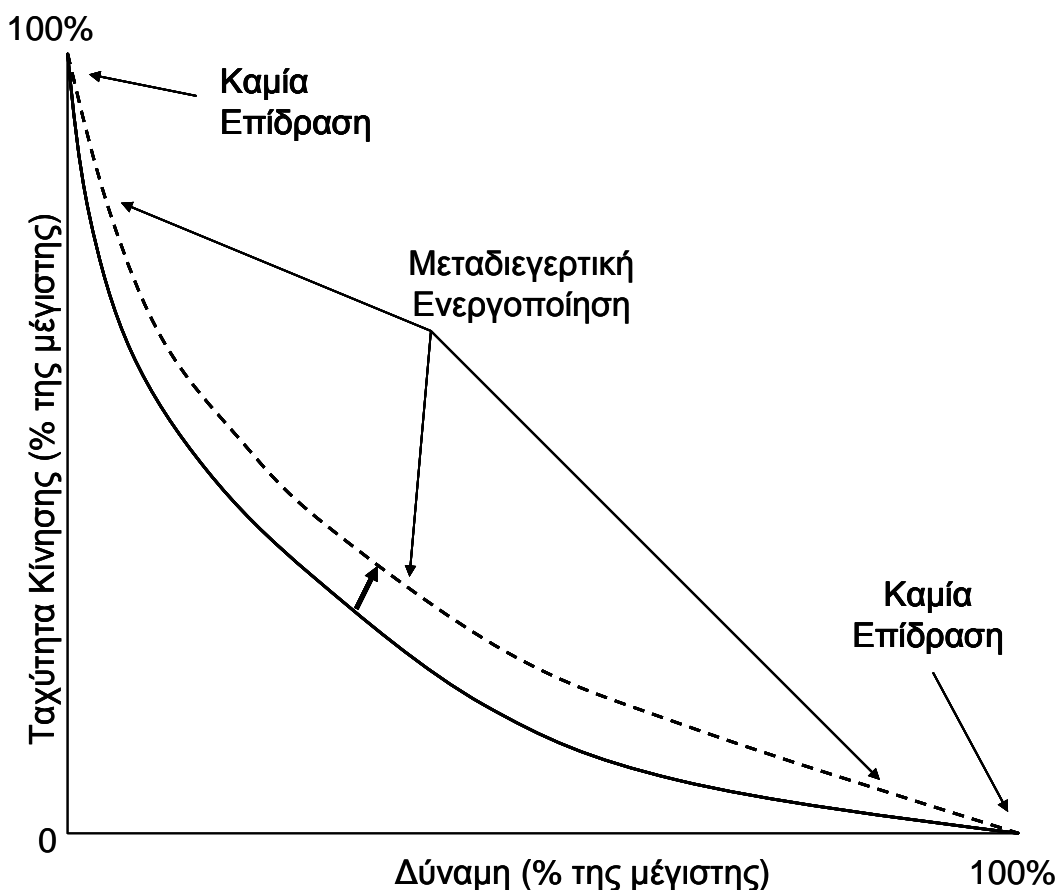
Αντίθετα, η μεγαλύτερη επίδραση παρατηρείται στο κεντρικό μέρος της ταχοδυναμικής καμπύλης λόγω της αύξησης στο ρυθμό ανάπτυξης δύναμης (Sale, 2002), βλέπε Σχήμα 2). Ένας μικρός αριθμός ερευνών ασχολήθηκαν με τη σχέση

μεταξύ της αυξημένης φωσφορυλίωσης των MLC-2 και της μυϊκής απόδοσης σε ανθρώπινους σκελετικούς μυς. Οι Stuart, Lingley, Grange & Houston (1988) και οι Smith και Fry (2007) μέτρησαν το βαθμό φωσφορυλίωσης των MLC-2 σε σχέση με τη μυϊκή απόδοση μετά από μέγιστη ισομετρική σύσπαση διάρκειας 10 δευτερολέπτων. Στην πρώτη έρευνα, η ανάλυση των βιοψιών του τετρακέφαλου μηριαίου μυός έδειξε σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας των MLC-2 σε φώσφορο, η οποία συνοδεύονταν από αύξηση της μυϊκής τάσης κατά τη διάρκεια ηλεκτρικά προκλητής σύσπασης των εκτεινόντων μυών του γόνατος (Stuart et al., 1988). Αντίθετα, οι Smith και Fry (2007) δε βρήκαν σημαντική μεταβολή της φωσφορυλίωσης των MLC-2 ή της μυϊκής ισχύος μετά από παρόμοιο πρωτόκολλο ενεργοποίησης. Εξετάζοντας τις μεταβολές σε κάθε δοκιμαζόμενο βρέθηκε ότι υπήρξε σημαντική αύξηση στη φωσφορυλίωση των MLC-2 στους επτά από τους έντεκα δοκιμαζομένους, ενώ οι υπόλοιποι τέσσερις παρουσίασαν μείωση, με το μέσο όρο να παραμένει αμετάβλητος. Φαίνεται λοιπόν ότι δεν ανταποκρίνονται όλοι οι δοκιμαζόμενοι με τον ίδιο τρόπο στην ενεργοποίηση μέσω της φωσφορυλίωσης την MLC-2, κάτι που υποδηλώνει ότι η ενεργοποίηση του μυός μπορεί να σχετίζεται με το ποσοστό μυϊκών ινών ταχείας σύσπασης (Hamada et al., 2000).

2.1.3.2 Αλλαγές στη μυϊκή αρχιτεκτονική: γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών

Το χαρακτηριστικό των πτεροειδών μυών είναι ότι οι μυϊκές τους ίνες εκφύονται και καταφύονται στους αντίστοιχους τένοντες υπό γωνία (Σχήμα 3). Η γωνία πρόσφυσης των μυϊκών ινών σχηματίζεται από την ευθεία έκφυσης-κατάφυσης του μυός σε σχέση με τον προσανατολισμό των μυϊκών δεματίων (Folland & Williams, 2007) και καθορίζει την αποτελεσματική μεταφορά της δύναμης από τους μύες, στους τένοντες και στα οστά (Folland & Williams, 2007; Fukunaga, Ichinose, Ito, Kawakami, & Fukashiro, 1997). Το άθροισμα των δυνάμεων όλων των μυϊκών ινών που αναπτύσσονται στον τένοντα κατά τη σύσπαση υπολογίζεται από τη δύναμη που ασκούν επί το συνημίτονο της γωνίας πρόσφυσης (Fukunaga et al., 1997) (Σχήμα 3). Συνεπώς οι μικρότερες γωνίες πρόσφυσης παρουσιάζουν μηχανικό πλεονέκτημα, αφού όσο μικραίνει η γωνία πρόσφυσης, το συνημίτονό της μεγαλώνει, δηλ. πλησιάζει τη μονάδα. Η γωνία πρόσφυσης μπορεί να μετρηθεί μέσω

υπερηχογραφήματος. Ένα πλεονέκτημα των πετροειδών μυών είναι ότι περιέχουν περισσότερες μυϊκές ίνες ανά μονάδα όγκου σε σχέση με έναν μυ που έχει τις ίνες του παράλληλα με τον τένοντα.



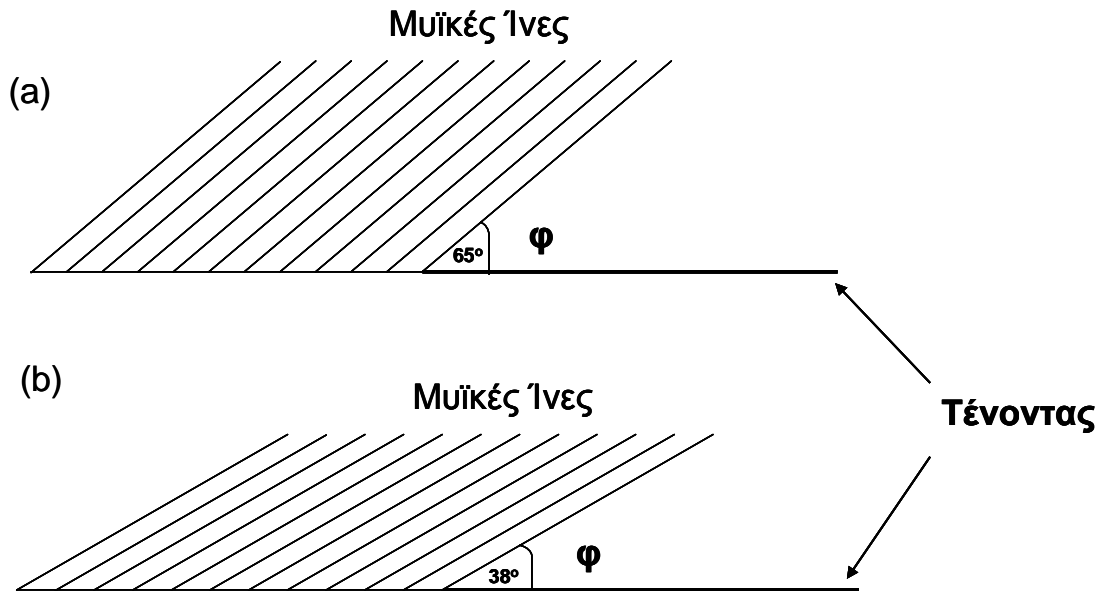
Σχήμα 2.1. Υποθετική επίδραση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στην ταχοδυναμική σχέση. Συμπαγής γραμμή: πριν την ενεργοποίηση, Διακεκομμένη γραμμή: μετά την ενεργοποίηση (προσαρμοσμένο από Sale, 2002)

Το μειονέκτημα είναι ότι λόγω της λοξής κατεύθυνσης των ινών σε σχέση με τον τένοντα, μόνο ένα μέρος της δύναμης είναι ωφέλιμο, δηλ. μεταφέρεται στον τένοντα στην επιθυμητή κατεύθυνση. Οι Mahlfeld και συν. (2004) μέτρησαν την γωνία πρόσφυσης των ινών του έξω πλατύ μηριαίου μυός πριν και μετά από μια μέγιστη σύσπαση διάρκειας 3 δευτερολέπτων. Παρατηρήθηκε μείωση της γωνίας κατά 1.8° μετά από 3-6 λεπτά από τη μέγιστη σύσπαση, γεγονός που αυξάνει τη μεταφορά

δύναμης στον τένοντα κατά περίπου 1%. Αν και η διαφορά αυτή είναι μικρή, η μεταβολή στη γωνία πρόσφυσης είναι πιθανό να συνεισφέρει στο φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Miarka, Del Vecchio, & Franchini, 2011).

2.1.3.3. Επιστράτευση κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας

Οι κινητικές μονάδες διεγείρονται σύμφωνα με το νόμο «όλον ή ουδέν». Η επιστράτευσή τους ακολουθεί την «αρχή του μεγέθους» κατά την οποία, οι μικρές κινητικές μονάδες διεγείρονται πρώτα και στη συνέχεια οι μεγαλύτερες (Henneman, Clamann, Gillies, & Skinner, 1974). Οι μεγαλύτερες κινητικές μονάδες συμμετέχουν στην παραγωγή δύναμης όταν απαιτείται να αναπτυχθεί μεγάλη τάση στο μυ. Κατά τους Hirst, Redman, και Wong (1981) οι «γρήγορες» κινητικές μονάδες απαιτούν μεγαλύτερη εκπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης για να διεγερθούν με συνέπεια να έχουν περισσότερες πιθανότητες να μην μεταφερθεί το δυναμικό δράσης ώστε να επιστρατευθούν. Η αύξηση της μυϊκής δύναμης και ισχύος μετά από μια άσκηση ενεργοποίησης μπορεί να οφείλεται και στην αύξηση της επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό κατώφλι ενεργοποίησης ή επίπεδο διεγερσιμότητας (Tillin & Bishop, 2009). Η αυξημένη επιστράτευση των κινητικών μονάδων με υψηλό κατώφλι ενεργοποίησης μπορεί να αξιολογηθεί με το ηλεκτρικά προκλητό αντανακλαστικό Hoffmann (αντανακλαστικό-H). Το αντανακλαστικό-H καταγράφεται με ηλεκτρομυογράφημα μετά από ηλεκτρική διέγερση των κεντρομόλων νευρικών ινών (Ia) που ξεκινούν από τη μυϊκή άτρακτο (Σχήμα 4). Το δυναμικό δράσης που προκαλείται από την ηλεκτρική διέγερση μεταφέρεται στο νωτιαίο μυελό μέσω των κεντρομόλων νευρικών ινών Ia και εκεί μεταδίδεται μέσω συνάψεων, στους άλφα-κινητικούς νευρώνες που καταλήγει στον μυ και καταγράφεται ως ηλεκτρική δραστηριότητα (αντανακλαστικό-H, Σχήμα 4). Επειδή το αντανακλαστικό-H παρακάμπτει τη μυϊκή άτρακτο, (προκαλείται δηλαδή μεταξύ αυτής και της σπονδυλικής στήλης), αποτελεί χρήσιμο τρόπο αξιολόγησης της μονοσυναπτικής αντανακλαστικής δράσης στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού και ειδικότερα της διέγερσης των α-κινητικών νευρώνων (Palmieri, Ingersoll, & Hoffman, 2004).



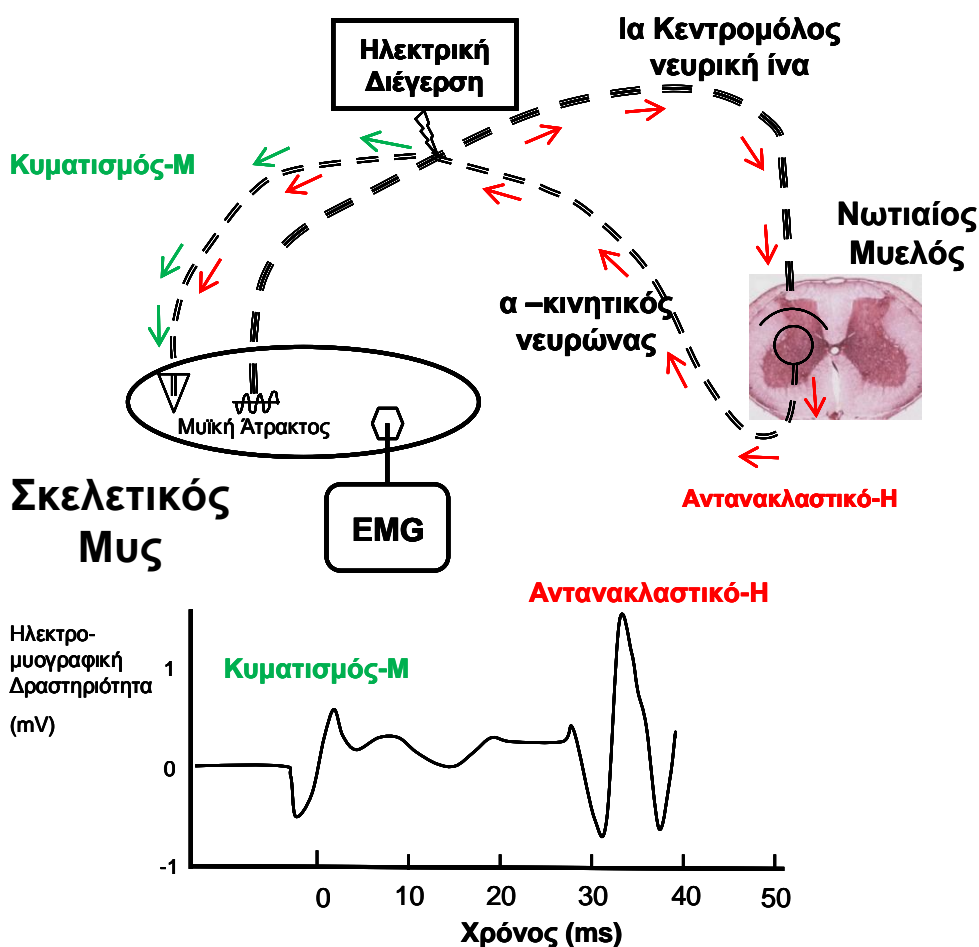
Εικόνα 2.2. Η επίδραση της γωνίας πρόσφυσης των μυϊκών ινών (φ) στη μεταφορά ωφέλιμης δύναμης στον τένοντα. Η μείωση της γωνίας (φ) σε σύγκριση που φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος (b) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ωφέλιμης δύναμης στον τένοντα.

Η αύξηση του αντανακλαστικού-Η μετά από μια μυϊκή σύσπαση ενεργοποίησης υποδηλώνει βελτιωμένη μετάδοση του δυναμικού δράσης στις συνάψεις στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού και έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας (δηλ. μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης). Η βελτιωμένη μετάδοση του δυναμικού δράσης στις συνάψεις στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού οφείλεται στο ότι κάποιες συνάψεις δεν είναι λειτουργικές σε φυσιολογικές συνθήκες (δηλ. πριν την άσκηση ενεργοποίησης).

Αυτό που επιτυγχάνεται με την άσκηση ενεργοποίησης στο επίπεδο των συνάψεων στο νωτιαίο μυελό είναι η αυξημένη λειτουργικότητα των συνάψεων μέσω αυξημένης απελευθέρωσης νευροδιαβιβαστών ή αύξησης της αποτελεσματικότητας των νευροδιαβιβαστών ή αυξημένης μετάδοσης του δυναμικού δράσης στις διακλαδώσεις των κεντρομόλων νευρικών ινών (Enoka, 2002).

Σε κυτταρικό επίπεδο, έχει επίσης αποδειχθεί ότι η αυξημένη επιστράτευση των κινητικών μονάδων μπορεί να προκληθεί μέσω υπερπόλωσης των μυϊκών και

νευρικών μεμβρανών κατά την διάρκεια της ανερέθιστης περιόδου όταν τα ιόντα Νατρίου αντλούνται έξω από την μεμβράνη. Η διαδικασία αυτή αυξάνει το δυναμικό ηρεμίας της κυτταρικής μεμβράνης και αυτή η αύξηση επιστρατεύει περισσότερες κινητικές μονάδες στην δραστηριότητα που θα ακολουθήσει (de Ruiter, Elzinga, Verdijk, van Mechelen, & de Haan, 2005; Hicks, Fenton, Garner, & McComas, 1989) καθώς η υπερπόλωση θεωρείται ότι διαρκεί περισσότερο από 20 λεπτά (Saez Saez de Villarreal et al., 2007). Το αντανακλαστικό-Η έχει χρησιμοποιηθεί από τους ερευνητές για την εκτίμηση της νευρικής ενεργοποίησης, η οποία εκδηλώνεται ως αυξημένη επιστράτευση κινητικών μονάδων (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Trimble & Harp, 1998). Η αλλαγή στο εύρος του αντανακλαστικού, δείχνει ότι έχει μειωθεί η προσυναπτική αναστολή των κεντρομόλων νευρώνων Ia (Hodgson, Docherty, & Zehr, 2008) με συνέπεια να υπάρχει αυξημένη μετάδοση του διεγερτικού δυναμικού στις συνάψεις στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού (Tillin & Bishop, 2009). Αυτή η αυξημένη μετάδοση του διεγερτικού δυναμικού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μετα-συναπτικού δυναμικού για το ίδιο προ-συναπτικό δυναμικό, η οποία διαρκεί για αρκετά λεπτά μετά τη δραστηριότητα που προκαλεί ενεργοποίηση (Lüscher, Ruenzel, & Henneman, 1983). Οι Gullich και Schmidtbleicher (Gullich & Schmidtbleicher, 1996) διαπίστωσαν μια σημαντική μείωση στο εύρος του αντανακλαστικού-Η ένα λεπτό μετά την άσκηση ενεργοποίησης (-24%) και μια βελτίωση (+20%) 4-11 λεπτά μετά. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση στην μυϊκή ισχύ των δοκιμαζόμενων μετά από άσκηση ενεργοποίησης οφείλεται σε μεγαλύτερη επιστράτευση των κινητικών μονάδων. Ένα άλλο στοιχείο που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι η αύξηση του εύρους του αντανακλαστικού-Η ήταν σημαντικά μεγαλύτερη και διήρκεσε περισσότερο στους αθλητές (+42% και $8,1 \pm 3,6$ λεπτά) απ' ό τι στους φοιτητές δοκιμαζομένους (+11% και $5,9 \pm 3,8$ λεπτά). Σε αντίθεση όμως οι Hodgson και συν. (2008) παρατήρησαν αύξηση της μυϊκής απόδοσης μετά από 3 σειρές των 5 μέγιστων εκούσιων συσπάσεων, χωρίς όμως να μεγαλώσει ταυτόχρονα το εύρος του αντανακλαστικού. Οι μελετητές οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση στην περίπτωση αυτή δεν προκλήθηκε από νευρογενείς αλλά από μυογενείς μηχανισμούς.



Εικόνα 2.3. Μέτρηση αντανακλαστικού Hoffman (αντανακλαστικό-H) και του κυματισμού-M. Με ηλεκτρικό ερεθισμό διεγείρονται οι α-κινητικοί νευρώνες, με αποτέλεσμα να καταγράφεται άμεσα (3-6 msec) ένα ηλεκτρικό δυναμικό στον μυ (κυματισμός-M). Ταυτόχρονα, διεγείρονται οι Ia κεντρομόλες νευρικές ίνες και το ερέθισμα μεταφέρεται στο νωτιαίο μυελό. Από εκεί μεταδίδεται μέσω συνάψεων στον άλφα-κινητικό νευρώνα που καταλήγει στον μυ και καταγράφεται ως ηλεκτρική δραστηριότητα (αντανακλαστικό-H) σε 28-35 msec μετά την ηλεκτρική διέγερση. EMG = καταγραφή ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας.

Ο κυματισμός-M έχει χρησιμοποιηθεί είτε ξεχωριστά είτε σε συνδυασμό με το αντανακλαστικό-H για την αξιολόγηση της διεγερσιμότητας των κινητικών μονάδων. Ο κυματισμός-M είναι η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα που καταγράφεται αμέσως μετά την ηλεκτρική διέγερση του μυός (μέσα σε 3-6 ms, Σχήμα 4). Σε κάποιες μελέτες, ο λόγος του αντανακλαστικού-H προς τον κυματισμό-M έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διεγερσιμότητας των κινητικών

μονάδων (Folland, Wakamatsu, & Fimland, 2008). Οι Hamada και συν. (2000) παρατήρησαν αύξηση στην ηλεκτρικά προκλητή μονή σύσπαση (34-114%) με ταυτόχρονη αύξηση στο εύρος του κυματισμού-M ($7\pm 4\%$) για 2 λεπτά, μετά από μέγιστη ισομετρική σύσπαση διάρκειας 10 δευτερολέπτων κυρίως στους δοκιμαζόμενους με μεγαλύτερο ποσοστό ινών τύπου II. Σε συμφωνία με αυτό, οι Folland και συν. (2008) διέκριναν μια αύξηση του λόγου του αντανακλαστικού-H προς τον κυματισμό-M (+42%), 5 λεπτά μετά από μια μέγιστη ισομετρική σύσπαση διάρκειας 10 δευτερολέπτων ενώ σημαντική βελτίωση υπήρξε και στην σχετική δύναμη της ηλεκτρικά προκλητής μονής σύσπασης (+16%). Στην έρευνα των Morana και Perrey (2009), χρησιμοποιήθηκε ένα πιο ήπιο πρωτόκολλο ενεργοποίησης, που περιλάμβανε υπομέγιστες ισομετρικές συσπάσεις που εκτελούνταν με διαλειμματικό τρόπο (5 s σύσπαση-5 s ανάπαυση) για 10 λεπτά. Το πρωτόκολλο αυτό προκάλεσε άμεση (σε 1 λεπτό) μεγάλη αύξηση της ηλεκτρικά προκλητής μονής σύσπασης (+52%), η οποία όμως δεν σχετιζόταν με την αύξηση του κυματισμού-M, ο οποίος αυξήθηκε αρκετά αργότερα (περίπου στα 7 λεπτά). Σε συμφωνία με αυτά τα δεδομένα, και άλλες έρευνες βρήκαν μεταδιεγερτική ενεργοποίηση η οποία δεν σχετιζόταν με μεταβολές του κυματισμού-M (Mettler & Griffin, 2012; Mitchell & Sale, 2011), ή το λόγο του αντανακλαστικού-H προς τον κυματισμό-M (Iglesias-Soler, Paredes, Carballeira, Márquez, & Fernández-Del-Olmo, 2011).

Οι Sotiropoulos, Smilios, Christou, Barzouka, Spaias, Douda και Tokmakidis (2010) ανέφεραν μια αύξηση στο κατακόρυφο άλμα των δοκιμαζόμενων μετά από άσκηση ενεργοποίησης (ημικάθισμα με μέτριες αντιστάσεις και γρήγορη εκτέλεση), που συνοδεύτηκε από μεγαλύτερη ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πιθανώς να υπήρξε μεγαλύτερη ενεργοποίηση του νευρικού συστήματος μετά την ενεργοποίηση των μυών που πρωταγωνιστούν στην εκτέλεση του κατακόρυφου άλματος. Αντιθέτως οι Esformes και συν. (2011) παρατήρησαν ότι μετά από ενεργοποίηση με διαφορετικά είδη μυϊκών συσπάσεων στα άνω άκρα, βελτιώθηκε η μυϊκή ισχύς μόνο μετά από ισομετρική σύσπαση, ενώ δεν υπήρχαν μεταβολές στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα τόσο στο μείζονα θωρακικό όσο και στον τρικέφαλο βραχιόνιο. Οι

ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η βελτίωση της μυϊκής ισχύος που προκλήθηκε από ισομετρική σύσπαση διάρκειας επτά δευτερολέπτων πιθανότατα οφείλονταν σε μυϊκούς και όχι σε νευρικούς παράγοντες.

Συμπερασματικά, φαίνεται ότι νευρικοί παράγοντες, όπως αυξημένη μετάδοση του δυναμικού στις συνάψεις στο επίπεδο του νωτιαίου μυελού και υπερπόλωση των νευρικών και μυϊκών μεμβρανών, πιθανόν να συμβάλλουν στο φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης, αν και τα αποτελέσματα των μελετών είναι αντικρουόμενα. Το μέγεθος της συμμετοχής των νευρογενών και των μυογενών μηχανισμών στη πρόκληση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης πιθανόν να εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης (π.χ. είδος μυϊκής σύσπασης, ένταση, διάρκεια, ταχύτητα κίνησης, κλπ), αλλά αυτό δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς μέχρι σήμερα.

2.1.4 Αλληλεπίδραση Μεταδιεγερτικής Ενεργοποίησης και Κόπωσης

Η προηγηθείσα μυϊκή σύσπαση που προκαλεί μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ότι «ενεργοποιεί» τον συγκεκριμένο μυ με συνέπεια να αυξάνεται η απόδοση του στο χρόνο που ακολουθεί. Όμως, η μυϊκή σύσπαση αυτή μπορεί να προκαλέσει και κόπωση, η οποία θα μειώσει την απόδοση κάτω από το αρχικό επίπεδο. Η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και η κόπωση συνυπάρχουν στο σκελετικό μυ (Rassier & Macintosh, 2000), γιατί κάθε μυϊκή δραστηριότητα μπορεί να ενεργοποιήσει τόσο τους φυσιολογικούς μηχανισμούς της κόπωσης όσο και της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Moore & Stull, 1984; Trimble & Harp, 1998).

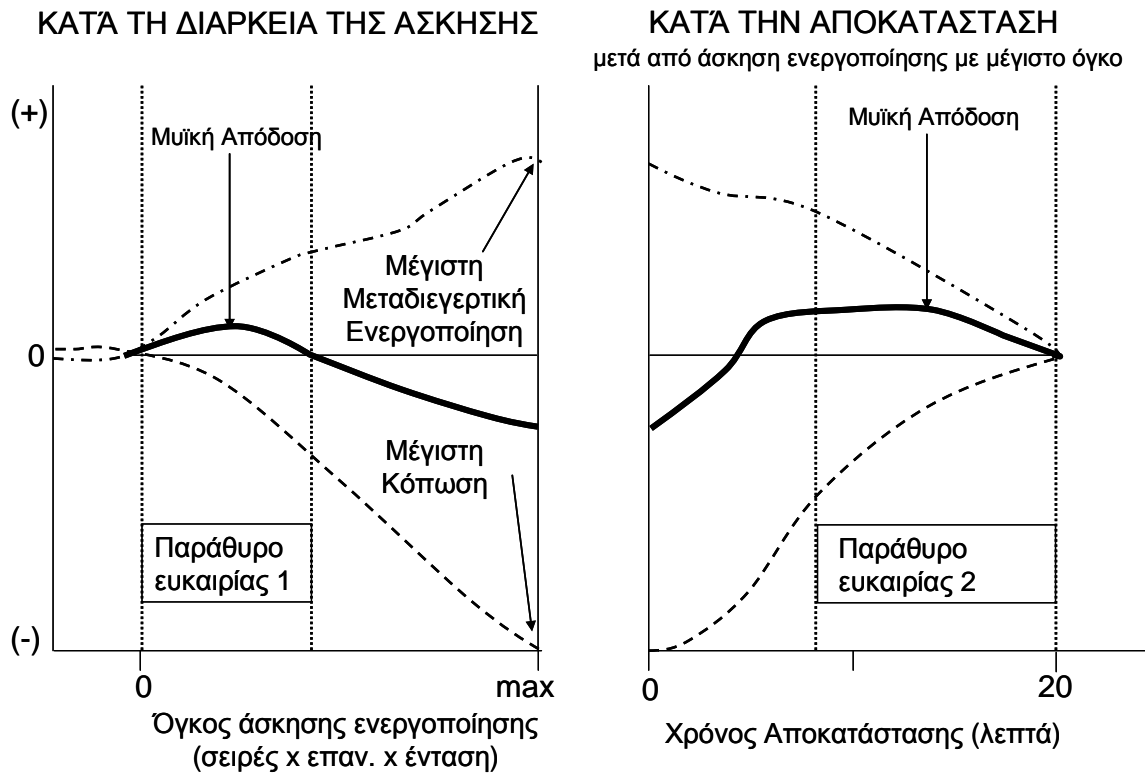
Η μυϊκή κόπωση είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο φαινόμενο που συνήθως περιλαμβάνει συνδυασμό περιφερικών και κεντρικών μηχανισμών (Harrison, 2011) και διακρίνεται σε κεντρική και περιφερική (Babault, Desbrosses, Fabre, Michaut, & Pousson, 2006). Η κεντρική κόπωση προκαλεί μείωση στην επιστράτευση των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας και μείωση στην συχνότητα πυροδότησης των ενεργών κινητικών μονάδων (Bigland-Ritchie, Johansson, Lippold, Smith, & Woods, 1983). Ως κόπωση ορίζεται η αδυναμία παραγωγής της απαιτούμενης ή αναμενόμενης δύναμης και ισχύος (Fitts, 1994). Αυτό μπορεί να

συμβαίνει λόγω περιφερικών παραγόντων (στο επίπεδο του σκελετικού μυός) όπως είναι οι διαταραχές της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου (H^+), καλίου (K^+) και ασβεστίου (Ca^{2+}) (McKenna, Bangsbo, & Renaud, 2008), οι οποίες επηρεάζουν τη διεγερσιμότητα της κυτταρικής μεμβράνης, τους μηχανισμούς μυϊκής σύσπασης και τον ενεργειακό μεταβολισμό (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008). Επίσης, περιφερική μυϊκή κόπωση μπορεί να προκαλέσουν οι ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και αζώτου οι οποίες παράγονται κατά την άσκηση (Westerblad & Allen, 2011), καθώς και η αδυναμία ανασύνθεσης ATP στο ρυθμό που απαιτείται για μέγιστη σύσπαση κυρίως από τα μειωμένα επίπεδα φωσφοκρεατίνης μετά την άσκηση ενεργοποίησης (Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy, & Nevill, 1995; Bogdanis, 2012). Η κεντρική κόπωση ορίζεται ως η μείωση της ικανότητας διέγερσης των μυών μέσω των κινητικών νευρώνων η οποία οφείλεται σε μειωμένη ικανότητα του νευρικού συστήματος - σε επίπεδο νωτιαίου μυελού ή κινητικού φλοιού - να διατηρήσει τα νευρικά ερεθίσματα στο μέγιστο ή απαιτούμενο επίπεδο (Gandevia, 2001; Gruet, Temesi, Rupp, Levy, Millet & Verges, 2013).

Οι μηχανισμοί της πρόκλησης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης μπορεί να θεωρηθεί ότι μπορούν να «εξουδετερώσουν», εν μέρει, τους περιφερικούς και νευρικούς μηχανισμούς της κόπωσης λόγω του ότι είναι σε πολλά σημεία αντίθετοι (π.χ. ο ένας αυξάνει και ο άλλος μειώνει την ευαισθησία των συσταλών πρωτεϊνών στο ασβέστιο (Fowles & Green, 2003; Morana & Perrey, 2009). Η επικράτηση της ενεργοποίησης ή της κόπωσης θα καθορίσει και την αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου στο να βελτιώσει τη μυϊκή απόδοση στο διάστημα που ακολουθεί (Tillin & Bishop, 2009).

Ένα υποθετικό μοντέλο που δείχνει τη σχέση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης, κόπωσης και απόδοσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Όταν ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης είναι μικρός (μικρή διάρκεια ή λίγες επαναλήψεις), η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση υπερσχύει της κόπωσης, με αποτέλεσμα την άμεση βελτίωση της απόδοσης. Όσο όμως ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης μεγαλώνει, η κόπωση υπερσχύει της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης με αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση. Κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης, η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μειώνεται με αργότερο ρυθμό σε σχέση με την κόπωση, με συνέπεια

να έχουμε βελτίωση της απόδοσης σε κάποιο χρονικό σημείο αρκετά μετά από το τέλος της άσκησης ενεργοποίησης (McCann & Flanagan, 2010; Tillin & Bishop, 2009).



Σχήμα 2.2. Υποθετικό μοντέλο της σχέσης μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης, κόπωσης και μυϊκής απόδοσης, σε συνάρτηση με τον όγκο της ενεργοποίησης. Η απόδοση βελτιώνεται άμεσα (παράθυρο 1) όταν ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης είναι μικρός. Αντιθέτως όταν ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης είναι μεγάλος τότε απαιτείται ένα διάλειμμα αποκατάστασης (παράθυρο 2) για να επέλθει η βελτίωση της απόδοσης (προσαρμοσμένο από Tillin & Bishop, 2009).

Λόγω του ότι τα επίπεδα κόπωσης και μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των ατόμων, συνιστάται ο ατομικός προσδιορισμός του βέλτιστου χρόνου αποκατάστασης με τη διαδικασία δοκιμή-σφάλμα (Kilduff et al., 2007; Sale, 2002). Η υπερίσχυση της κόπωσης ή της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης, το χρόνο αποκατάστασης και ορισμένα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων. Τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης, τα οποία προσδιορίζουν σε μεγάλο

βαθμό την αποτελεσματικότητα του πρωτοκόλλου, περιλαμβάνουν το συνολικό όγκο άσκησης (δηλ. συνολική διάρκεια ή αριθμός μυϊκών συσπάσεων), την έντασή της (σε ποσοστό της μέγιστης δύναμης) και τα διαφορετικά είδη της μυϊκής σύσπασης (ισομετρική, μειομετρική ή πλειομετρική) (Bogdanis et al., 2014; Esformes et al., 2011). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων περιλαμβάνουν, το προπονητικό επίπεδο, την κατανομή του τύπου των μυϊκών ινών, το βαθμό της μέγιστης μυϊκής δύναμης και το πηλίκo ισχύος-δύναμης (Chiu et al., 2003; Terzis et al., 2009).

2.1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μυϊκή απόδοση μετά την άσκηση ενεργοποίησης

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την άμεση απόδοση του δοκιμαζόμενου ως συνέπεια της άσκησης ενεργοποίησης είναι ο όγκος, η ένταση, το είδος της μυϊκής σύσπασης καθώς και τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων (Bogdanis et al., 2014; Moir, Mergy, Witmer, & Davis, 2011; Rixon et al., 2007; Ruben, Molinari, Bibbee, Childress, Harman, Reed, & Haff, 2010; Terzis et al., 2009; Tsolakis et al., 2011).

2.1.5.1 Χαρακτηριστικά άσκησης ενεργοποίησης

Ο όγκος της άσκησης ενεργοποίησης έχει θεωρηθεί από τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν την απόδοση που ακολουθεί. Κατά τους Tillin και Bishop (Tillin & Bishop, 2009) αν ο όγκος είναι μικρός τότε η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση θα εμφανιστεί αμέσως, ενώ αν ο όγκος είναι μεγαλύτερος τότε θα πρέπει να υπάρξει μια επαρκής περίοδος αποκατάστασης για να υπερσχύσει η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση της κόπωσης. Η ισομετρική άσκηση έχει χρησιμοποιηθεί πολύ συχνά για την πρόκληση του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Tillin & Bishop, 2009). Οι Hamada και συν. (2003) χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο κόπωσης το οποίο περιελάμβανε 16 ισομετρικές συσπάσεις των 5 δευτερολέπτων η κάθε μια, παρατήρησαν ότι μετά τις πρώτες 3 συσπάσεις η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση ήταν εμφανής (αύξηση δύναμης κατά

127%). Η απόδοση στη συνέχεια μειωνόταν ώσπου έφτασε αμέσως μετά την 16η σύσπαση στο 32% κάτω από την αρχική τιμή. Αυτό το εύρημα ενισχύθηκε και από τα αποτελέσματα των Vandervoort, Quinlan, και McComas (1983) οι οποίοι μια μέγιστη εκούσια σύσπαση διάρκειας 10 δευτερολέπτων προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση της δύναμης (+142%) σε σχέση με μια μέγιστη εκούσια σύσπαση 1 δευτερολέπτου (+43%) ή με μια μέγιστη εκούσια μέγιστη σύσπαση 3 δευτερολέπτων (+130%) ή με μέγιστη εκούσια σύσπαση 30 δευτερολέπτων (+65%). Οι French, Kraemer και Cook (2003) συνέκριναν δύο πρωτόκολλα με διαφορετικό όγκο και βρήκαν ότι μόνο εκείνο το πρωτόκολλο με 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων με μέγιστες εκούσιες ισομετρικές συσπάσεις στους τετρακέφαλους μύες, προκάλεσε βελτίωση στο άλμα βάθους (+5,03%) σε σύγκριση με το πρωτόκολλο των 3 σειρών με 5 δευτερόλεπτα. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αν η συνολική διάρκεια σύσπασης είναι ίση ή μεγαλύτερη των 15 δευτερολέπτων τότε προκαλείται μυϊκή κόπωση και ισοσταθμίζεται πλήρως η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση. Η υπερίσχυση της κόπωσης έναντι της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης φάνηκε και στην έρευνα των Tsolakis και συν. (2011) όπου παρατηρήθηκε μείωση της αλτικής επίδοσης στο κατακόρυφο άλμα (κατά 7,5-8,7%) μόνο στους άνδρες αθλητές της ξιφασκίας 8-12 λεπτά μετά από 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων. Σημειώνεται ότι η μείωση αυτή δεν παρατηρήθηκε στις γυναίκες αθλήτριες ξιφασκίας. Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η βέλτιστη διάρκεια μέγιστης ισομετρικής σύσπασης για τη βελτίωση της επίδοσης μετά από άσκηση ενεργοποίησης είναι περίπου 10 δευτερόλεπτα. Η βελτίωση της απόδοσης είναι περίπου 4-5% (Πίνακας 1).

Η δυναμική άσκηση έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της απόδοσης μέσω της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης. Οι Mangus και Takahasi (2006) εφάρμοσαν τέσσερις σειρές της μιας επανάληψης στο 90% της μέγιστης δύναμης των δοκιμαζόμενων στην άσκηση ημικάθισμα. Το κατακόρυφο άλμα δεν βελτιώθηκε παρότι υπήρξε μια τάση για βελτίωση ($p=0,07$). Αντιθέτως, σε ένα αντίστοιχο διαλειμματικό πρωτόκολλο οι Chatzopoulos και συν. (2007) με 10 μονές επαναλήψεις στο 90% της μέγιστης δύναμης και 3 λεπτά διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων, βρήκαν σημαντική βελτίωση σε δρόμο ταχύτητας 30 μέτρων (2%)

και ιδιαίτερα στα 10 πρώτα μέτρα (3%). Σε συμφωνία με τους Chatzopoulos και συν. (2007) βρίσκεται και η μελέτη των Batista, Ugrinowitch, Roschel, Lotufo, Ricard και Tricoli (2007) οι οποίοι χρησιμοποίησαν παρόμοιο πρωτόκολλο με 10 σειρές της μιας επανάληψης (διάρκεια επανάληψης 1,5 δευτερόλεπτα) με διάλειμμα 30 δευτερολέπτων μεταξύ των επαναλήψεων, σε ισοκινητικό μηχάνημα και με γωνιακή ταχύτητα 60° ανά δευτερόλεπτο και βρήκαν μια βελτίωση στην απόδοση της τάξεως των 6% ($p < 0,05$). Σε μια άλλη μελέτη των Villareal και συν. (2007) συγκρίθηκαν 6 διαφορετικά πρωτόκολλα με διάφορες εντάσεις. Οι μελετητές οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι για την βελτίωση της κατακόρυφης αλτικότητας απαιτείται μια ένταση της τάξεως των 80-95% της 1 μέγιστης επανάληψης (1ME). Σε συμφωνία με τους Villareal και συν. (2007), οι Crewther και συν. (2011) παρατήρησαν μια βελτίωση στο κατακόρυφο άλμα (3-4%), μετά από 1 σειρά των 3 επαναλήψεων με ένταση 3 ME (περίπου 90-93% της μέγιστης), ενώ οι Kilduff και συν. (2007) με 1 σειρά των 3 επαναλήψεων στο 87% της 1 ME και 3 σειρές των 3 επαναλήψεων στο 87% της 1 ME (Kilduff, Owen, Bevan, Bennett, Kingsley, & Cunningham, 2008) βρήκαν βελτίωση τόσο στο ύψος του κατακόρυφου άλματος (4,9%) όσο και στην μέγιστη ισχύ (6,4-7,5%). Στις περισσότερες από τις παραπάνω έρευνες η αύξηση της μυϊκής απόδοσης συνέβη κατά τη διάρκεια του 4-12^{ου} λεπτού της αποκατάστασης (Bevan, Owen, Cunningham, Kingsley, & Kilduff, 2009; Crewther et al., 2011; Kilduff et al., 2007, 2008). Επίσης αμέσως μετά την άσκηση ενεργοποίησης βρέθηκε μείωση της απόδοσης σε όλες σχεδόν τις έρευνες. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αποτελέσματα μελετών που μέτρησαν το εύρος του αντανακλαστικού-H. Ο Gullich και Schmidtbleicher (Gullich & Schmidtbleicher, 1996) παρατήρησαν την μεγαλύτερη αύξηση του αντανακλαστικού στα $8,7 \pm 3,6$ λεπτά μετά την άσκηση ενεργοποίησης ενώ οι Trimble και Harp (1998) στα 6-10 λεπτά μετά. Μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μπορεί επίσης να επιτευχθεί με δυναμική άσκηση χρησιμοποιώντας υπομέγιστα φορτία αλλά με μέγιστη ταχύτητα κίνησης. Στην έρευνα των Smilios και συν. (2005) βρέθηκε παρόμοια βελτίωση του κατακόρυφου άλματος (+3.3-4.9%) μετά από δύο πρωτόκολλα που περιελάμβαναν τρεις σειρές των πέντε επαναλήψεων με 30% και 60% της 1 ME στην άσκηση ημικάθισμα-άλμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη βελτίωση παρατηρήθηκε 1 λεπτό μετά την πρώτη σειρά και όχι μετά την ολοκλήρωση των τριών σειρών. Μια

άλλη μελέτη των Gilbert και Lees (2007) συνέκρινε την επίδραση δύο διαφορετικών εντάσεων δυναμικής άσκησης (1 ME και φορτίο που μεγιστοποιείται η ισχύς) κάνοντας πέντε μονές επαναλήψεις με 3 λεπτά διάλειμμα στην άσκηση ημικάθισμα. Βρέθηκε ότι το κατακόρυφο άλμα αυξήθηκε κατά 8,5% μετά από 20 λεπτά αποκατάστασης όταν η ένταση ήταν μέγιστη, ενώ η αύξηση περιορίστηκε στο 3,4% και εμφανίστηκε μόλις 2 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης ενεργοποίησης στην περίπτωση που το φορτίο ήταν αυτό που μεγιστοποιούσε την παραγόμενη ισχύ.

Συμπερασματικά, σε δυναμικά πρωτόκολλα με δυναμικές συσπάσεις, ο ωφέλιμος όγκος που φαίνεται να μεγιστοποιεί τη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση κυμαίνεται από 3-10 επαναλήψεις με ένταση κοντά στη μέγιστη (>80% της μιας μέγιστης επανάληψης-1 ME) και η αύξηση της μυϊκής απόδοσης εμφανίζεται κατά κανόνα 4-12 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης ενεργοποίησης και κυμαίνεται κατά κανόνα από 2-9%. Σημαντική και άμεση ενεργοποίηση (σε 1-2 λεπτά μετά την άσκηση ενεργοποίησης) μπορεί όμως να επιτευχθεί και με μικρότερες εντάσεις (30-60% 1 ME, Πίνακας 1).

2.1.5.2 Χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων

Η μυϊκή δύναμη και η κατανομή των μυϊκών ινών και είναι δύο σημαντικές παράμετροι που καθορίζουν την αλληλεπίδραση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης και κόπωσης. Το επίπεδο της μυϊκής δύναμης των δοκιμαζόμενων έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί σημαντική μεταβλητή για την εμφάνιση βελτίωσης της απόδοσης μετά από άσκηση ενεργοποίησης (Baker, 2003; Young, Jenner, & Griffiths, 1998). Οι Young και συν. (1998) βρήκαν σημαντική συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης δύναμης στο κάθισμα (5 ME) των δοκιμαζόμενων και του ποσοστού βελτίωσης στο κατακόρυφο άλμα με βάρη ($r=0,73$, $p=0,02$). Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι δυνατότεροι συμμετέχοντες με μέσο όρο μέγιστης δύναμης στο ημικάθισμα 152 ± 30 κιλά είχαν μεγαλύτερη βελτίωση στην απόδοση μετά από την άσκηση ενεργοποίησης σε σχέση με τους πιο αδύναμους.

Πίνακας 2.1. Έρευνες στις οποίες χρησιμοποιήθηκε άσκηση ενεργοποίησης για την επίτευξη άμεσης βελτίωσης της μυϊκής απόδοσης

Ερευνητές	Δείγμα	Άσκηση Ενεργοποίησης	Πρωτόκολλο/διάλειμμα	Αποτελέσματα	Εμφάνιση βελτίωσης
French και συν. (2003)	13 Αθλ. (10 Άνδρες, 3 Γυναίκες)	Μέγιστη Ισομετρική Σύσπαση κάτω άκρα	3 σειρ. x 3 δευτ. /διάλειμμα: 3 λεπτά	↑ 5% DJ	Αμέσως μετά
Gulich και Schmidbleicher (1996)	34 Αθλ. Άνδρες, 11 Αθλ. Γυναίκες	Μέγιστη Ισομετρική Σύσπαση κάτω άκρα	3σειρ.x5δευτ. /διάλειμμα: 5 λεπτά	↑ 4,4 % CMJ και ↑ 20% H-reflex	3 λεπτά 8,7 λεπτά
Tsolakis και συν. (2011)	13άνδρες και 10 γυναίκες (Αθλ. Ξιφασκίας)	Μέγιστη Ισομετρική Σύσπαση κάτω άκρα	3 σειρ. x 3 δευτ. /διάλειμμα: 15 δευτερόλεπτα	↓ 7,5-8,7% Μεγ. Ισχύος (CMJ) στους Άνδρες	8-12 λεπτά
Tsolakis και Bogdanis (2012)	20 (Αθλ. Ξιφασκίας)	Πλειομετρικά επιτόπια άλματα	3 σειρ. x 5 επαν. /διάλειμμα: 1 λεπτό	↔ Ύψος CMJ	8 λεπτά
Batista και συν. (2007)	10 (Μ. Γ) Άνδρες	Εκτάσεις Γόνατος (Ισοκινητικό)	10 σειρ. x 1επαν. 100%/διάλειμμα: 30 δευτερόλεπτα	↑ 4,5% Μέγ. Ροπής 4-12 λεπτά	4-12 λεπτά
Bevan και συν. (2009)	26 (Αθλ.) Άνδρες	Κάμψεις-Τάσεις Αγκώνων (Πάγκος)	3 σειρ. x 3επαν. 40% 1 ME/διάλειμμα: 4 λεπτά	↑ 4,2% Μεγ. Ισχύος, ↑ 8,2% Μεγ. Ύψος Ρίψης BPT	8 λεπτά
Chatzopoulos και συν. (2009)	15 (Αθλ.) Άνδρες	Ημικάθισμα 90°	10 σειρ. x 1 επαν. 90% 1 ME/διάλειμμα: 3 λεπτά	↓ χρόνου sprint 10μ. (3%) ↓ χρόνου sprint 30 μ. (2%)	5 λεπτά
Crewther και συν. (2011)	9 (Αθλ.) Άνδρες	Παράλληλο κάθισμα	1 σειρ. x 3 επαν. 3 ME	↑ 3-4% CMJ	4-12 λεπτά
Gourgoulis και συν. (2003)	20 (Μ. Γ) Άνδρες	Ημικάθισμα 90ο	1 σειρ.x2επαν.x 20,40,60,80,90% 1MAE/διάλειμμα: 5 λεπτά	↑ 4% CMJ στους δυνατότερους (>160κιλ.)	Αμέσως μετά
Kilduff και συν. (2007)	23 (Αθλ.) Άνδρες	Βαθύ Κάθισμα	1 σειρ.x3 επαν. 3 ME	↑ Μεγ. Ισχύος 6,8 και 8,0% CMJ	8 και 12 λεπτά

Μ. Γ.: Μέτρια Γυμνασμένοι, Κ.Γ.: Καλά Γυμνασμένοι, Αθλ.: Αθλητές, ME: Μέγιστος Αριθμός Επαναλήψεων, BPT: ρίψη στην άσκηση κάμψεων-τάσεων αγκώνων (πάγκος), CMJ: κατακόρυφο άλμα με αιώρηση, DJ: άλμα βάθους, RFD: ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης, Pmax: Φορτίο μεγιστοποίησης της μυϊκής ισχύος.

Ερευνητές	Δείγμα	Άσκηση Ενεργοποίησης	Πρωτόκολλο/διάλειμμα	Αποτελέσματα	Εμφάνιση βελτίωσης
Kilduff και συν. (2008)	20 (Αθλ.) Άνδρες	Βαθύ Κάθισμα	3 σειρ. x 3 επαν. 87% 1 ME/διάλειμμα: 4 λεπτά	↑ Μεγ. Ισχύος 4,9% CMJ ↑ 32% RFD	8 λεπτά
Rixon και συν. (2007)	20 Αθλ. 10 Μ. Γ., άνδρες και γυναίκες	Ημικάθισμα 90° Μέγιστη Ισομετρική σύσπαση 125° θέση καθίσματος	1 σειρ. x 3 επαν. 3ME (90%) 3 σειρ. x 3 δευτ. 100%/διάλειμμα: 2 λεπτά	↑ 7,7% Μεγ. Ισχύος (CMJ) ↑ 8,9% Μεγ. Ισχύος (CMJ)	3 λεπτά
Ruben και συν. (2010)	12 (Κ. Γ) Άνδρες	Παράλληλο κάθισμα	1 σειρ. x 5 επαν. 30% ME και 1 σειρ. X 3 επαν. 70% ME και 1 σειρ. x 3 επαν. 90% ME /διάλειμμα: 2 λεπτά	↑ 17% Μέγ. Ισχύος ↑ 12 και 17% Μέσης και Μέγιστης Δύναμης	5 λεπτά
Smilios και συν. (2005)	10 (Κ. Γ) Άνδρες	Ημικάθισμα 90ο, Ημικάθισμα-Αναπήδηση	3 σειρ. x 5 επαν. 30% ME, 60% ME /διάλειμμα: 3 λεπτά	↑ 3,4-3,96% Μέγ. Ισχύος (CMJ)	1 λεπτό
Gilbert και Lees, (2005)	15 (Κ. Γ) Άνδρες	Βαθύ Κάθισμα	5 σειρ. x 1 επαν. 100% 1ME και 5 σειρ. x 1 επαν. Pmax	↑ 8,5% Μέγ. Ισχύος (CMJ) 100% 1 ME ↑ 3,4% Μέγ. Ισχύος (CMJ) Pmax	20 λεπτά, 2 λεπτά
Terzis και συν. (2009)	8 Μ.Γ Άνδρες, 8 Μ.Γ Γυναίκες	Άλματα Βάθους (40 cm)	5 συνεχόμενα άλματα	↑ 7.5% Ριπτικής επίδοσης μόνο στους Άνδρες	Αμέσως μετά

Μ. Γ.: Μέτρια Γυμνασμένοι, Κ.Γ.: Καλά Γυμνασμένοι, Αθλ.: Αθλητές, ME: Μέγιστος Αριθμός Επαναλήψεων, BPT: ρίψη στην άσκηση κάμψεων-τάσεων αγκώνων (πάγκος), CMJ: κατακόρυφο άλμα με αιώρηση, DJ: άλμα βάθους, RFD: ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης, Pmax: Φορτίο μεγιστοποίησης της μυϊκής ισχύος.

Ακόμη οι Gourgoulis, Aggelousis, Kasimatis, Mavromatis και Garas (2003) παρατήρησαν μια αύξηση 4,0% ($p < 0,05$) στο κατακόρυφο άλμα μόνο σε όσους μπορούσαν να σηκώσουν τουλάχιστον 160 κιλά στο κάθισμα, ενώ εκείνοι που δεν μπορούσαν, βελτιώθηκαν μόνο 0,42% ($p > 0,05$). Σε μία άλλη μελέτη των Bullock και Comfort (2011) οι δοκιμαζόμενοι με μεγαλύτερο επίπεδο μυϊκής δύναμης που μπορούσαν να σηκώσουν στο κάθισμα δυο φορές το βάρος του σώματός τους, ανταποκρίθηκαν καλύτερα στο μεγαλύτερο όγκο άσκησης ενεργοποίησης (6 άλματα βάθους) σε σχέση με τον μικρότερο όγκο (4 άλματα βάθους). Ακόμη οι Ruben και συν. (2010) παρατήρησαν ότι όσοι μπορούσαν να σηκώσουν στο κάθισμα περισσότερο από δυο φορές το βάρος του σώματός τους και είχαν απόλυτη δύναμη 170 ± 24 κιλά παρουσίασαν μια μεγαλύτερη βελτίωση μετά την άσκηση ενεργοποίηση η οποία περιελάμβανε ένα προοδευτικά αυξανόμενο πρωτόκολλο αντίστασης. Κατά τους Bevan και συν. (2009), η σχέση της μυϊκής δύναμης και του ποσοστού βελτίωσης μετά την άσκηση ενεργοποίησης μπορεί να αποδοθεί στην καλύτερη ενεργοποίηση του μυϊκού συστήματος κατά την διάρκεια της προπόνησης υψηλής αντίστασης και η οποία επιδρά σε αλλαγές στο εύρος του H-reflex και στην φωσφορυλίωση των ελαφριών αλυσίδων της μυοσίνης (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Stuart et al., 1988).

Μια πιθανή αιτία για τη μεγαλύτερη βελτίωση της μυϊκής απόδοσης μετά από άσκηση ενεργοποίησης στους δυνατότερους δοκιμαζομένους είναι ότι έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ινών τύπου II ή λόγω της προπόνησης έχουν αυξήσει την εγκάρσια διατομή των ινών τύπου II, καθώς έχει συσχετιστεί σημαντικά από την βιβλιογραφία το ποσοστό ινών τύπου II με την μέγιστη μυϊκή δύναμη ($r = 0,5-0,93$, $p < 0,05$) (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, & Dyhre-Poulsen, 2002; Maughan, Watson, & Weir, 1983; Thorstensson, Grimby, & Karlsson, 1976). Οι μυϊκές ίνες τύπου II παρουσιάζουν μεγαλύτερη φωσφορυλίωση ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης (Moore & Stull, 1984) και οι κινητικές μονάδες που τις περιλαμβάνουν έχουν υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας. Συνεπώς, τα άτομα που έχουν μυς με μεγάλο ποσοστό ινών τύπου II θα εμφανίσουν μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και θα βελτιώσουν περισσότερο την απόδοσή τους όταν προηγηθεί μια άσκηση ενεργοποίησης. Οι Gullich και Schmidtbleicher (1996) παρατήρησαν ότι οι

γαστροκνήμιοι μύες, που έχουν μεγαλύτερο ποσοστό με μυϊκές ίνες τύπου II, παρουσίασαν μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση η οποία διατηρήθηκε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με αυτή των υποκνημίδιων μυών οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου I. Κατά τους Hamada και συν. (2000), το μέγεθος της νευρικής διέγερσης που επιτυγχάνεται μετά την άσκηση ενεργοποίησης είναι μεγαλύτερο στις μυϊκές ίνες τύπου II (Gullich & Schmidtbleicher, 1996) και γι' αυτό το λόγο η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση παρουσιάζεται αυξημένη σε αθλητές ισχύος (French et al., 2003).

Οι Terzis και συν. (2009) βρήκαν σημαντική συσχέτιση ($r=0,76$, $p<0,01$) της βελτίωσης της απόδοσης μετά από άσκηση ενεργοποίησης με την εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών τύπου II. Η συσχέτιση του ποσοστού των μυϊκών ινών τύπου II και της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης ήταν επίσης σημαντική αλλά μικρότερη ($r=0,69$, $p<0,01$). Οι ερευνητές υπέθεσαν ότι ο αριθμός των μορίων της μυοσίνης τύπου II είναι σημαντικότερος από τον αριθμό των κυττάρων τύπου II για την πρόκληση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης. Η τελευταία υπόθεση έρχεται σε συμφωνία με την αυξημένη φωσφορυλίωση των MLC-2 που προκαλεί η άσκηση ενεργοποίησης και οποία θεωρείται ο επικρατέστερος μηχανισμός της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης. Έτσι περισσότερα μόρια μυοσίνης θα υποστούν μεγαλύτερη φωσφορυλίωση από την άσκηση ενεργοποίησης, με συνέπεια να προκληθεί μεγαλύτερη βελτίωση στην απόδοση. Στην ίδια μελέτη συσχετίστηκε σε μέτριο βαθμό η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση σε σχέση με την μυϊκή δύναμη των δοκιμαζόμενων στις 6 ME ($r=0,50$, $p<0,05$). Οι μελετητές κατέληξαν ότι η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση επηρεάζεται περισσότερο από την κατανομή των μυϊκών ινών και ακόμα περισσότερο από την εγκάρσια διατομή των μυϊκών ινών τύπου II παρά από την μυϊκή δύναμη. Σε πρακτικό επίπεδο αυτά τα συμπεράσματα υποδεικνύουν ότι η προπόνηση με αντιστάσεις μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα των δοκιμαζόμενων για την πρόκληση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Sale, 2002) μέσω της αύξησης της εγκάρσιας διατομής των μυϊκών ινών τύπου II (MacDougall, 1992; Rixon et al., 2007; Terzis et al., 2009).

2.1.6 Συμπεράσματα και πρακτικές εφαρμογές

Συμπερασματικά η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της αυξημένης φωσφορυλίωσης των ελαφριών αλυσίδων της μυοσίνης (MLC-2) καθώς και της αυξημένης επιστράτευσης των κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας. Το μέγεθος της συμμετοχής αυτών των μηχανισμών στην πρόκληση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης (π.χ. είδος μυϊκής σύσπασης, ένταση, διάρκεια, ταχύτητα κίνησης, κλπ).

Ο βαθμός και ο χρόνος βελτίωσης της μυϊκής απόδοσης μετά από μια άσκηση ενεργοποίησης εξαρτάται από τη σχέση μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης και κόπωσης που προκαλούνται παράλληλα. Η υπερίσχυση της κόπωσης ή της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης, το χρόνο αποκατάστασης και ορισμένα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων. Όταν η άσκηση ενεργοποίησης είναι ισομετρική, η βέλτιστη συνολική διάρκειά της δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 δευτερόλεπτα (συνήθως σε μικρότερα σετ των 3-5 δευτερολέπτων). Σε διαλειμματικά πρωτόκολλα με δυναμικές συσπάσεις, ο ωφέλιμος όγκος που φαίνεται να μεγιστοποιεί τη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση κυμαίνεται από 3-10 επαναλήψεις με ένταση κοντά στη μέγιστη (>80% της μιας μέγιστης επανάληψης-1 ME), ενώ η αύξηση της μυϊκής απόδοσης εμφανίζεται κατά κανόνα 4-12 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης ενεργοποίησης και κυμαίνεται κατά κανόνα από 2-9%. Σημαντική και άμεση ενεργοποίηση (σε 1-2 λεπτά μετά την άσκηση ενεργοποίησης) μπορεί όμως να επιτευχθεί και με μικρότερες εντάσεις (30-60% 1 ME).

Σημαντικό ρόλο για τη μεγιστοποίηση του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης διαδραματίζουν η μυϊκή δύναμη και η σύσταση των μυϊκών ινών των δοκιμαζόμενων. Άτομα με αυξημένο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II παρουσιάζουν μεγαλύτερη φωσφορυλίωση ελαφριών αλυσίδων μυοσίνης καθώς επίσης και μεγαλύτερο αριθμό κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας, οι οποίες αν ενεργοποιηθούν θα βελτιώσουν περισσότερο τη μυϊκή απόδοση. Τέλος, η εγκάρσια επιφάνεια των μυϊκών ινών τύπου II φαίνεται να είναι σημαντικότερη για το μέγεθος της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης. Αυτό σημαίνει ότι η προπόνηση

μυϊκής ισχύος, η οποία προκαλεί αύξηση της εγκάρσιας επιφάνειας των ινών τύπου II πιθανότατα να επιφέρει και αύξηση του επιπέδου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.

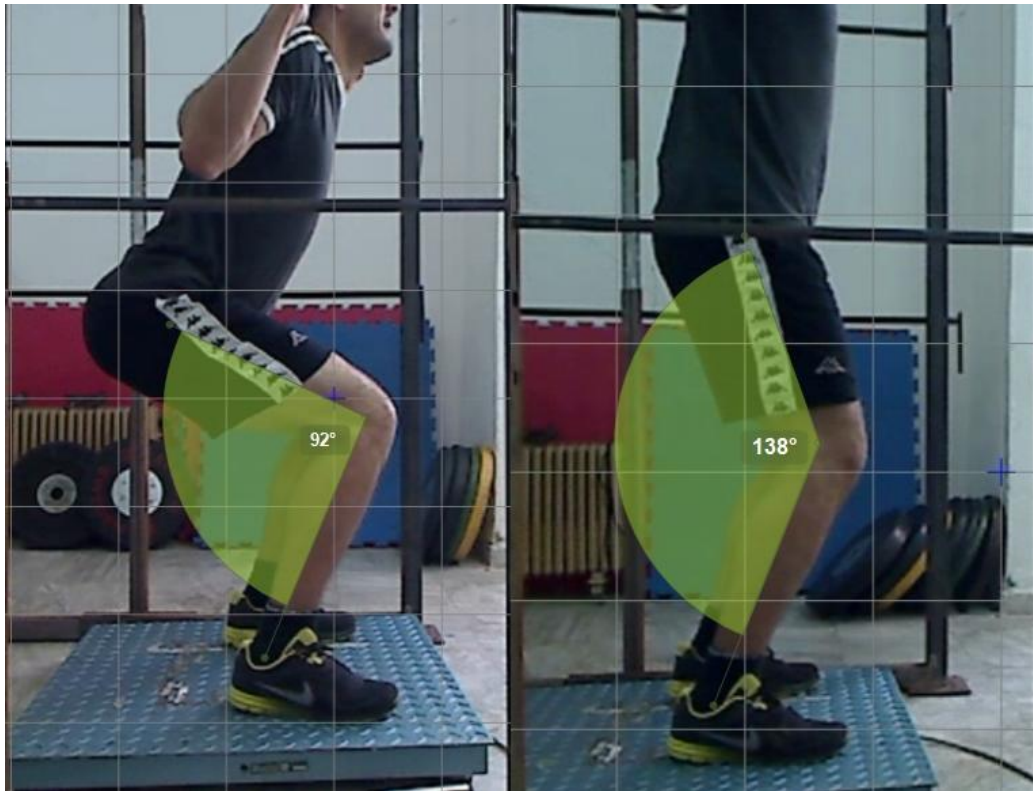
2.1.7 Η επίδραση του μήκους του σκελετικού μυός στη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση και την κόπωση με ειδική αναφορά στα καθίσματα με αντιστάσεις

Η επίδραση του μήκους του σκελετικού μυός στο φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά. Λίγες μελέτες που έχουν εξετάσει την επίδραση του μήκους του σκελετικού μυός στην επερχόμενη μυϊκή απόδοση έδειξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στην κόπωση όσο και στη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση (Lee et al., 2007; Miyamoto et al., 2010; Rassier, 2000; Smith, Cheng, & Rice, 2011). Οι Lee και συν. (2007) παρατήρησαν λιγότερη κόπωση στους εκτεινόμενους μύες του γόνατος κατά τη διάρκεια ισομετρικών συσπάσεων οι οποίες προκλήθηκαν από ηλεκτρική διέγερση όταν η γωνία στο γόνατο ήταν 165° (μικρό μήκος μυός) σε σχέση με τις 90° (μεγάλο μήκος μυός). Οι ερευνητές απέδωσαν αυτά τα ευρήματα σε μεταβολικούς παράγοντες εξαιτίας διαφορών στις αλληλεπιδράσεις των εγκάρσιων γεφυρών που προκαλούν τα διαφορετικά μήκη των μυών. Επιπροσθέτως σε τρεις μελέτες παρατηρήθηκε ότι το μικρότερο μήκος μυός προκάλεσε μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση (Miyamoto et al., 2010; Place et al., 2005; Smith et al., 2011). Δεδομένα από δυο μελέτες που χρησιμοποίησαν ηλεκτρική διέγερση στους εκτεινόμενους του γόνατος και στον τρικέφαλο βραχιόνιο μυ ανέφεραν μεγαλύτερη ενεργοποίηση κατά την ηλεκτρικά προκλητή μονήρη σύσπαση (twitch) σε μικρά μήκη μυός σε σχέση με μεγαλύτερα κατά τη διάρκεια υπομέγιστων συσπάσεων. Ομοίως οι Miyamoto, Fukunaga, και Kawakami (2009) βρήκαν μεγαλύτερη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση μετά από μια μέγιστη ισομετρική σύσπαση διάρκειας 10 δευτερολέπτων σε μικρό μήκος μυός (πελματιαία κάμψη) σε σχέση με μεγαλύτερο μήκος.

Σε εφαρμοσμένες και πιο πρακτικές ασκήσεις ενεργοποίησης όπως τα καθίσματα τα συμπεράσματα είναι αντιφατικά. Να σημειώσουμε εδώ πως στην άσκηση των

καθισμάτων με αντιστάσεις (π.χ βαθύ κάθισμα ή ημικάθισμα) το μικρό μήκος του τετρακέφαλου μυός παρατηρείται στα καθίσματα με μεγάλη γωνία στο γόνατο (π.χ 140°) καθώς οι εκτεινόντες του γόνατος είναι σε βράχυνση, ενώ το μεγάλο μήκος του μυός παρατηρείται με μικρές γωνίες (π.χ 90°) καθώς οι εκτεινόντες του γόνατος είναι σε διάταση (Bloomquist, Langberg, Karlsen, Madsgaard, Boesen, & Raastad, 2013) (εικόνα 2.4). Στην μελέτη των Mangus και Takahasi (2006) χρησιμοποιήθηκε ένα πρωτόκολλο με 4 σειρές της 1 επανάληψης στο 90% της μέγιστης δύναμης σε ημικάθισμα (περίπου 90°) ή σε καθίσματα ενός τετάρτου (περίπου 140°). Οι ερευνητές δεν παρατήρησαν καμία διαφορά στο επερχόμενο κατακόρυφο άλμα και στις δυο πειραματικές συνθήκες. Ωστόσο πέντε από τους δοκιμαζόμενους βελτίωσαν την αλτική τους επίδοση και στα δυο είδη καθισμάτων. Σε αντίθεση οι Esformes και Bambouras (2013) βρήκαν μεγαλύτερη βελτίωση στο κατακόρυφο άλμα μετά από 1 σειρά των 3 ΜΕ (περίπου 90-93% της μέγιστης) 5 λεπτά μετά την εκτέλεση καθισμάτων με γωνία στο γόνατο 60-70° (μεγάλο μήκος μυός) σε σχέση με τα καθίσματα ενός τετάρτου με γωνία στο γόνατο 135° (μικρό μήκος μυός). Οι ερευνητές δικαιολόγησαν τα αποτελέσματα αυτά προτείνοντας ότι οι δοκιμαζόμενοι όταν εκτέλεσαν τα καθίσματα με τη μικρότερη γωνία των 60-70° (μεγάλο μήκος μυός) αύξησαν την ενεργοποίηση του μείζονος γλουτιαίου μυός εξαιτίας του μεγαλύτερου έργου που εκτελέστηκε. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας γίνονται ακόμα πιο αντιφατικά από τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης με μετα-ανάλυση των Seitz και Haff (2015). Οι ερευνητές βρήκαν ότι τα καθίσματα με μεγαλύτερες γωνίες (πχ 140°) και μικρά μήκη μυός παράγουν μεγαλύτερες επιδράσεις στη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση (ES=0.58) σε σχέση με τα βαθιά καθίσματα (γωνία γονάτου 60-70°) (ES=0.25). Οι μελετητές τόνισαν ότι οι μικρότερες γωνίες κατά τη διάρκεια καθισμάτων προκαλούν μεγαλύτερη κόπωση εξαιτίας του μεγαλύτερου χρόνου που χρησιμοποιούν οι δοκιμαζόμενοι για να εκτελέσουν την άσκηση ενεργοποίησης (time under tension) και έτσι είναι πιο πιθανό να προκληθεί μεταδιεγερτική ενεργοποίηση. Ένα άλλο εύρημα αυτής της μετα-ανάλυσης ήταν ότι η επίδραση του μήκους του μυός στη μεταδιεγερτική ενεργοποίηση αλλάζει σημαντικά ανάλογα με το επίπεδο δύναμης των δοκιμαζόμενων. Οι ερευνητές ανέφεραν ότι το μέγεθος επίδρασης ήταν για τα

βαθεία καθίσματα $ES=0.55$ ενώ για τα μικρά καθίσματα (μεγάλη γωνία στο γόνατο, μικρό μήκος μυός) $ES=0.60$ στους πιο δυνατούς



Εικόνα 2.4. Παρουσίαση ισομετρικού καθίσματος με γωνία στο γόνατο 92° (αριστερή εικόνα) όπου το μήκος των εκτεινόντων μυών του γόνατος είναι μεγάλο. Στη δεξιά εικόνα παρουσιάζεται το κάθισμα με γωνία στο γόνατο 138° . Σε αυτή την περίπτωση το μήκος των εκτεινόντων μυών του γόνατος είναι μικρό.

δοκιμαζόμενους ενώ οι αντίστοιχες τιμές ήταν $ES= 0.12$ και $ES=0.67$ για τους πιο αδύναμους.

2.2 Βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις

2.2.1 Είδη προπόνησης αντιστάσεων με βάση τους προπονητικούς στόχους

Η προπόνηση με αντιστάσεις μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στην προπονητική πρακτική με βάση τους προπονητικούς στόχους (Baechle & Earle, 2008). Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- (α) προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μέγιστης δύναμης (Tan, 1999).
- (β) προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μυϊκής υπερτροφίας (Krieger, 2010).
- (γ) προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος (Cormie et al., 2011).
- (δ) προπόνηση για τη βελτίωση της μυϊκής αντοχής (Bird et al., 2005). Η μυϊκή αντοχή είναι η ικανότητα ενός μυός ή μιας μυϊκής ομάδας να εκτελεί επαναλαμβανόμενες συσπάσεις απέναντι σε υπομέγιστη αντίσταση με μικρή ή καθόλου κόπωση (Baechle & Earle, 2008).

Η βραχυπρόθεσμη αποτελεσματικότητα ενός προγράμματος με αντιστάσεις με προκαθορισμένο στόχο εξαρτάται από την ορθή χρησιμοποίηση και επιλογή συγκεκριμένων μεταβλητών. Τέτοιες μεταβλητές είναι ο τύπος της μυϊκής σύσπασης, η ένταση, ο όγκος, η επιλογή και η σειρά των ασκήσεων, οι περίοδοι αποκατάστασης, η ταχύτητα εκτέλεσης των επαναλήψεων και η συχνότητα της προπόνησης (Bird et al., 2005). Οι πιο σημαντικές παράμετροι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία για τη βελτίωση των ειδών της προπόνησης με αντιστάσεις με βάση τους προπονητικούς στόχους είναι ο όγκος και η ένταση (Baechle & Earle, 2008). Η βελτίωση της μέγιστης δύναμης πραγματοποιείται με 1-6 ME (ένταση 85-100% της 1 ME) και με όγκο 3-6 σειρές (Tan, 1999). Η βελτίωση της μυϊκής υπερτροφίας επέρχεται με 6-12 ME (ένταση 67-85% της 1 ME) και με όγκο 4-6 σειρές (Baechle & Earle, 2008; Krieger, 2010) ενώ η βελτίωση της μυϊκής ισχύος πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση βαλλιστικών ασκήσεων από 0-50% της 1 ME ή ολυμπιακών άρσεων με ένταση από 50-90% της 1 ME ή παραδοσιακών ασκήσεων δύναμης με μεγάλα φορτία (>80% της 1ME) ή παραδοσιακών ασκήσεων δύναμης με μικρά φορτία (0-60% της 1ME) (Cormie et al., 2011) από 7-12 σειρές (Cormie, McCaulley, & McBride, 2007; Tricoli, Lamas, Carnevale, & Ugrinowitch, 2005).

2.2.2 Αποκατάσταση της μυϊκής ισχύος μετά από προπόνηση με αντιστάσεις με ειδική αναφορά στο κατακόρυφο άλμα και στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης (RFD)

Τα διαφορετικά είδη της προπόνησης με αντιστάσεις επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο τη μυϊκή ισχύ καθώς η αποκατάσταση εξαρτάται από τον όγκο και την ένταση της προηγούμενης άσκησης (Gee et al., 2011; González-Badillo et al., 2016; Linnamo et al., 2000; Raastad & Hallén, 2000).. Σε προπονητικές συνεδρίες όπου στόχος είναι η βελτίωση της μέγιστης δύναμης φαίνεται πως η αποκατάσταση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον όγκο της προπόνησης. Οι Gee και συν. (2011) πραγματοποίησαν μια προπονητική συνεδρία μέγιστης δύναμης σε οκτώ αθλητές κωπηλασίας. Το πρόγραμμα περιελάμβανε τις ασκήσεις αρασέ, επολέ και βαθύ κάθισμα (4 σειρές x 5 επαναλήψεις στο 85% της 1ME), άρσεις θανάτου (3 σειρές x 8 επαναλήψεις στο 75% της 1 ME του καθίσματος), πιέσεις και έλξεις σε πάγκο (3 σειρές x 5 επαναλήψεις στο 85% της 1 ME) και κοιλιακούς (3 x 15 επαναλήψεις). Μετά την εκτέλεση του προγράμματος οι δοκιμαζόμενοι αξιολογήθηκαν σε δυο είδη κατακόρυφου άλματος μετά από 2, 24 και 48 ώρες. Η αλτική επίδοση και στα δυο αξιολογούμενα άλματα ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη μέτρηση πριν την εφαρμογή του προγράμματος για 48 ώρες. Σε αντίθεση οι Johnston, Johnston, Cook, Costley, Kilgallon, και Kilduff (2016) πραγματοποιώντας ένα συνδυαστικό προπονητικό πρόγραμμα σε αθλητές του rugby που περιελάμβανε 5 σειρές των 4 επαναλήψεων στο 100% των 3 ME στις ασκήσεις άρσεις θανάτου και πίσω βαθύ κάθισμα και μια προπόνηση για τη βελτίωση της ταχύτητας (6 σειρές των 50μ. σπριντ) δυο ώρες μετά. Οι ερευνητές παρατήρησαν ότι το ύψος του κατακόρυφου άλματος ήταν σημαντικά μειωμένο αμέσως μετά τη πρώτη και τη δεύτερη προπονητική συνεδρία αλλά δεν μεταβλήθηκε σημαντικά μετά από 24 ώρες. Παρατηρούμε λοιπόν ότι στη δεύτερη μελέτη παρότι πραγματοποιήθηκαν δυο προπονητικές συνεδρίες μέσα σε διάστημα δυο ωρών η μυϊκή ισχύς (κατακόρυφο άλμα) επανήλθε στις αρχικές τιμές. Αυτό ίσως να οφείλεται στο μικρότερο όγκο που εκτέλεσαν οι δοκιμαζόμενοι. Το τελευταίο συμπέρασμα ενισχύεται και με τα αποτελέσματα των Cook, Kilduff, Crewther, Beaven, και West (2014) όπου οι δοκιμαζόμενοι ήταν ημι-επαγγελματίες αθλητές του rugby και αφού εκτέλεσαν για

προθέρμανση 3 επαναλήψεις στο 50%, στο 80% και στο 90% των 3 ΜΕ στη συνέχεια πραγματοποίησαν 3 επαναλήψεις στο 100% των 3 ΜΕ στις ασκήσεις βαθύ κάθισμα και πιέσεις σε πάγκο. Η μέγιστη ισχύς κατά τη διάρκεια του κατακόρυφου άλματος βελτιώθηκε σημαντικά 6 ώρες μετά ενώ μειώθηκε και ο χρόνος στα 40 μέτρα σπρίντ. Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι σε μεγάλο όγκο προπόνησης μέγιστης δύναμης η μυϊκή ισχύς, όπως αξιολογείται με το κατακόρυφο άλμα, απαιτεί χρόνο αποκατάστασης μεγαλύτερο από 24 ώρες ενώ ο μικρός όγκος μπορεί να επιφέρει βελτιώσεις από 2-6 ώρες.

Πολλοί ερευνητές μελέτησαν την αποκατάσταση της αλτικής επίδοσης μετά από πρωτόκολλα μυϊκής υπερτροφίας τα οποία συνέκριναν με πρωτόκολλα μυϊκής ισχύος (González-Badillo et al., 2016; Linnamo et al., 2000). Σε μια μελέτη των González-Badillo και συν. (2016) 9 άνδρες φυσικώς δραστήριοι πήραν μέρος σε δυο προπονητικά πρωτόκολλα. Το πρώτο περιελάμβανε 4 σειρές των 8 επαναλήψεων με ένταση τις 8 ΜΕ (πρωτόκολλο μυϊκής υπερτροφίας) ενώ το δεύτερο 4 σειρές των 4 επαναλήψεων με ένταση τις 8ΜΕ (πρωτόκολλο ισχύος) στα καθίσματα και στις πιέσεις σε πάγκο. Το πρωτόκολλο της μυϊκής υπερτροφίας προκάλεσε μεγαλύτερη κόπωση στις αξιολογήσεις της ισχύος. Πιο συγκεκριμένα η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα (CMJ) ήταν για 48 ώρες σημαντικά πιο χαμηλά σε σχέση με τη μέτρηση πριν την εφαρμογή του πρωτοκόλλου από 32.5-4.4% ($p<0.05$). Σε αντίθεση το πρωτόκολλο της ισχύος δεν παρουσίασε κόπωση και μειωμένη απόδοση από 6 έως 48 ώρες μετά. Επιπλέον η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου ισχύος ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε όλα τα χρονικά σημεία σε σχέση με το πρωτόκολλο της υπερτροφίας. Σε μια άλλη μελέτη των McCaulley και συν. (2009) το πρωτόκολλο της μυϊκής υπερτροφίας περιείχε 4 σειρές των 10 επαναλήψεων στο 75% της 1ΜΕ ενώ το πρωτόκολλο της ισχύος περιελάμβανε 8 σειρές των 6 επαναλήψεων στο 0% της 1ΜΕ. Τα δυο πρωτόκολλα παρουσίασαν το ίδιο έργο ($p=0.99$). Το πρωτόκολλο της ισχύος δεν παρουσίασε καμία κόπωση και δεν είχε καμία διαφορά από τη συνθήκη ελέγχου στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης (RFD) από αμέσως μετά έως 48 ώρες μετά την τελευταία επανάληψη του πρωτοκόλλου. Σε αντίθεση το πρωτόκολλο υπερτροφίας παρουσίασε σημαντική πτώση του RFD αμέσως μετά την εφαρμογή του.

Η αποκατάσταση της μυϊκής ισχύος είναι διαφορετική, ανάλογα με το είδος μυϊκής σύσπασης που μελετάται. Σε μια μελέτη των Byrne και Eston (2002) μετρήθηκαν άλματα από ημικάθισμα (SJ), άλματα με αντίθετη κίνηση (CMJ) και άλματα βάθους (DJ) πριν και μετά από 10 σειρές των 10 επαναλήψεων με ένταση το 70% του σωματικού βάρους των δοκιμαζόμενων. Τα χρονικά σημεία επαναμέτρησης ήταν 1 ώρα και 1, 2, 3, 4, 7 ημέρες μετά. Η επίδοση του άλματος από ημικάθισμα (SJ) είχε μεγαλύτερες πτώσεις ($p < 0.05$) για 3 μέρες σε σχέση με τα άλλα άλματα (CMJ, DJ) που χρησιμοποιούν την έκκεντρη σύσπαση – προδιάταση του μυός, δηλαδή τα άλματα του κύκλου διάτασης – βράχυνσης.

Συμπεράσματα:

- σε μεγάλο όγκο προπόνησης με πρωτόκολλα που έχουν στόχο τη βελτίωση της μέγιστης δύναμης, η μυϊκή ισχύς απαιτεί χρόνο αποκατάστασης μεγαλύτερο από 24 ώρες ενώ ο μικρός όγκος μπορεί να επιφέρει βελτιώσεις από 2-6 ώρες.
- τα πρωτόκολλα μυϊκής υπερτροφίας προκαλούν μεγαλύτερη κόπωση από τα αντίστοιχα της μυϊκής ισχύος και η αποκατάσταση μπορεί να φτάσει ακόμα και τις 48 ώρες
- η προπόνηση μυϊκής ισχύος προκαλεί μικρή ή καθόλου κόπωση παρά μόνο αμέσως μετά (στα επόμενα λεπτά) την εφαρμογή των πρωτοκόλλων. Η αποκατάσταση τους επέρχεται μετά από 6 ώρες
- τα άλματα που γίνονται με αξιοποίηση του κύκλου διάτασης βράχυνσης (CMJ, DJ) φαίνεται να μην μειώνονται τόσο μετά από άσκηση μεγάλου όγκου με αντιστάσεις. Αντίθετα, τα άλματα που περιλαμβάνουν μόνο μειομετρική σύσπαση (όπως το άλμα από ημικάθισμα, SJ) επηρεάζονται περισσότερο και η πλήρης αποκατάσταση επέρχεται μετά από σημαντικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

2.2.3 Αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης μετά από προπόνηση με αντιστάσεις

Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης εξαρτάται από το είδος της προπόνησης με αντιστάσεις. Μετά από πρωτόκολλα μυϊκής υπερτροφίας ο χρόνος αποκατάστασης και επαναφοράς στα αρχικά επίπεδα μπορεί να φτάσει, ακόμα και να ξεπεράσει τις 48 ώρες (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer & Hakkinen, 2004; Linnamo et al., 1998). Οι Ahtiainen και συν. (2004) πραγματοποίησαν ένα πρωτόκολλο μυϊκής υπερτροφίας που περιελάμβανε 4 σειρές των 12 επαναλήψεων (12 ME) στην άσκηση βαθύ κάθισμα σε 8 αθλητές δύναμης και 8 φοιτητές αθλητικών επιστημών στο μηχάνημα Smith. Μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη πριν, μετά, 24 και 48 ώρες μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου. Η μέγιστη ισομετρική δύναμη επανήλθε στα αρχικά επίπεδα μετά από 24 ώρες στους φοιτητές ενώ στους αθλητές η μείωση ήταν δεδομένη και μετά από 48 ώρες. Σε μια άλλη μελέτη των Linnamo και συν. (1998) εξετάστηκε η νευρομυϊκή κόπωση και αποκατάσταση 8 ανδρών και 8 γυναικών. Οι δοκιμαζόμενοι πήραν μέρος σε δυο διαφορετικές συνθήκες. Η άσκηση ήταν η εκτάσεις των τετρακέφαλων. Η πρώτη περιελάμβανε ένα πρωτόκολλο μυϊκή υπερτροφίας (5 σειρές των 10 επαναλήψεων στις 10 ME) και η δεύτερη ένα πρωτόκολλο ισχύος (5 σειρές των 10 επαναλήψεων στο 40% των 10 ME) το οποίο εκτελέστηκε όσο το δυνατόν πιο εκρηκτικά. Μετρήθηκε η μέγιστη δύναμη πριν, αμέσως μετά, 1 ώρα, 2 ώρες, 1 ημέρα και 2 ημέρες μετά την εκτέλεση της τελευταίας επανάληψης. Η αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης στους άνδρες επήλθε 2 ώρες μετά το πρωτόκολλο ισχύος και 2 μέρες μετά το πρωτόκολλο υπερτροφίας. Στις γυναίκες οι αντίστοιχοι χρόνοι ήταν 1 ώρα και 1 ημέρα. Άρα πιθανότατα οι γυναίκες να έχουν γρηγορότερη αποκατάσταση από τους άνδρες. Οι Ide και συν. (2011) εφάρμοσαν 2 πρωτόκολλα μυϊκής υπερτροφίας σε 2 ομάδες ανδρών τα οποία περιελάμβαναν τις ίδιες ασκήσεις (πίεσεις ποδιών και εκτάσεις ποδιών), τον ίδιο όγκο (5 σειρές των 12 επαναλήψεων στο 12 ME) αλλά με διαφορετική ταχύτητα κίνησης. Η ομάδα με τη μεγάλη ταχύτητα κίνησης εκτελούσε τις επαναλήψεις σε 6 δευτερόλεπτα ενώ η ομάδα με τη μικρή ταχύτητα κίνησης σε 1,5 δευτερόλεπτα. Η μέγιστη δύναμη στις πιέσεις ποδιών επανήλθε μετά από 24 ώρες στην ομάδα που εκτελούσε με μικρή ταχύτητα ενώ στην ομάδα που εκτελούσε με γρήγορη ταχύτητα μετά από 72 ώρες.

Μετά από πρωτόκολλα μέγιστης δύναμης ο χρόνος αποκατάστασης της μέγιστης δύναμης στα αρχικά επίπεδα εξαρτάται από τον όγκο της προπόνησης και το επίπεδο των δοκιμαζόμενων. Οι Raastad και συν (2000) πραγματοποίησαν 2 πρωτόκολλα σε 10 άνδρες αθλητές. Το πρώτο περιελάμβανε 3 σειρές των 3 επαναλήψεων (3 ME) στις ασκήσεις πίσω βαθύ κάθισμα και μπροστινό βαθύ κάθισμα καθώς και 3 σειρές των 6 επαναλήψεων (6 ME) στην άσκηση των εκτάσεων των τετρακέφαλων. Στο δεύτερο πρωτόκολλο εκτελέστηκαν οι ίδιες ασκήσεις, σειρές και επαναλήψεις αλλά στο 70% της έντασης του πρώτου πρωτοκόλλου. Η μέτρηση της μέγιστης ροπής στις ισοκινητικές εκτάσεις γονάτων ($60^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$ και στις $240^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$) πραγματοποιήθηκε πριν, αμέσως μετά (5 λεπτά) και 3, 7, 11, 22, 26, 30 και 36 ώρες μετά. Η μέγιστη ροπή δύναμης στις $60^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$ επανήλθε στα αρχικά επίπεδα μόλις τρεις ώρες μετά τη συνθήκη με ένταση το 70% και στις 22 ώρες μετά τη συνθήκη με ένταση στο 100%. Στις $240^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$ η αποκατάσταση πραγματοποιήθηκε και στα δυο πρωτόκολλα εντός 3 ωρών. Σε συμφωνία με τους Raastad και Hallen (2000) βρίσκεται και η μελέτη των Chen και συν. (2011) όπου 7 αθλητές άρσης βαρών μετά από μια περίοδο από-προπόνησης 10 ημερών πραγματοποίησαν μια προπόνηση άρσης βαρών διάρκειας 2 ωρών (1 σειρά των 3 επαναλήψεων στο 60%, 1 σειρά των 3 επαναλήψεων στο 70%, 1 σειρά των 3 επαναλήψεων στο 80%, 1 σειρά των 2 επαναλήψεων στο 90%, 1 σειρά της 1 επανάληψης στο 95%) στις ασκήσεις βαθύ κάθισμα, άρσεις θανάτου, μπροστινό βαθύ και πιέσεις ώμων από καθιστή θέση. Μετρήθηκε η μέγιστη δύναμη σε αυτές τις ασκήσεις πριν την προπόνηση και μετά από 3, 24, 48 και 72 ώρες. Η αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης σε όλες τις ασκήσεις επήλθε μετά από 24 ώρες, ενώ παρατηρήθηκε μια υπεραναπλήρωση πάνω από το αρχικό επίπεδο 48 ώρες μετά. Τέτοια υπεραναπλήρωση παρατήρησαν και οι Cook και συν. (2014) 6 ώρες μετά την εφαρμογή μικρότερου όγκου προπόνησης ενός πανομοιότυπου προοδευτικά αυξανόμενου πρωτοκόλλου (από πλευράς έντασης) μέγιστης δύναμης. Το πρωτόκολλο αυτό περιελάμβανε 1 σειρά των 3 επαναλήψεων στο 50, 80, 90 και 100% των 3 ME στις ασκήσεις πιέσεις πάγκο και βαθύ κάθισμα (πρωινή προπόνηση). Οι αθλητές rugby μετρήθηκαν στη μέγιστη δύναμη (3 ME) στις πιέσεις πάγκο και στο βαθύ κάθισμα πριν και μετά από 6 ώρες. Παρατηρήθηκε σημαντική

βελτίωση στη μέγιστη δύναμη και στις δυο ασκήσεις 3,6% και 4,1% αντιστοίχως ($p < 0.01$) σε σχέση με τη συνθήκη ελέγχου.

Η προπόνηση ισχύος με αντιστάσεις φαίνεται να μην προκαλεί καμιά κόπωση και η αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης φαίνεται να επέρχεται μέσα σε δύο ώρες (Linnamo et al., 1998). Σε συμφωνία με τους Linnamo και συν. (1998) βρίσκεται και η μελέτη των McCaulley και συν. (2009) όπου συγκρίθηκαν όλα τα πρωτόκολλα δύναμης με εξίσωση της επιβάρυνσης. Δέκα άνδρες οι οποίοι είχαν τουλάχιστον 2 χρόνια εμπειρία στην προπόνηση δύναμης πραγματοποίησαν 4 συνθήκες από τις οποίες η μια ήταν η συνθήκη ελέγχου. Μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη στο κάθισμα πριν, αμέσως μετά, 60 λεπτά μετά, 24 και 48 ώρες μετά το κάθε πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο μυϊκής ισχύος (8 σειρές των 6 επαναλήψεων στο 0% της μέγιστης δύναμης) δεν προκάλεσε καμιά μείωση στη μέγιστη ισομετρική δύναμη και είχε την ίδια πορεία με την συνθήκη ελέγχου. Αξίζει να τονιστεί ότι η συνθήκη της ισχύος ξεπέρασε τη συνθήκη ελέγχου στη μέγιστη ισομετρική δύναμη από τα 60 λεπτά έως τις 48 ώρες χωρίς όμως να φτάσει σε σημαντικότητα (τάση). Σε μια άλλη μελέτη όπου χρησιμοποιήθηκε ένα πρωτόκολλο μυϊκής ισχύος (Kesoglou, Tsigganos, Argeitaki, & Smirniotou, 2009) που περιελάμβανε 4 σειρές των 5 επαναλήψεων στο 40% της μέγιστης δύναμης στην άσκηση ημικάθισμα σε ποδοσφαιριστές μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη πριν, αμέσως μετά, 24 και 48 ώρες μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου. Η μέγιστη ισομετρική δύναμη δεν άλλαξε ($p > 0.05$) σε κανέναν χρονικό σημείο.

Συμπεράσματα:

- μετά από πρωτόκολλα μυϊκής υπερτροφίας η μέγιστη δύναμη αποκαθίσταται μετά από 24-48 ώρες σε άνδρες αθλητές, μετά από 24 ώρες σε γυναίκες και φυσικώς δραστήριους άνδρες, και μετά από 72 ώρες αν η εκτέλεση των επαναλήψεων πραγματοποιείται σε μεγάλη ταχύτητα
- μετά από πρωτόκολλα μέγιστης δύναμης η αποκατάσταση της μέγιστης δύναμης επέρχεται μετά από 24 ώρες. Σε προοδευτικά αυξανόμενα πρωτόκολλα μεγάλου όγκου η αποκατάσταση επέρχεται μετά από 24 ώρες και η απόδοση μπορεί να φτάσει σε υπερανάλυση μετά από 48 ώρες αν οι

δοκιμαζόμενοι είναι αθλητές με μεγάλη εμπειρία στην προπόνηση με αντιστάσεις. Σε προοδευτικά πρωτόκολλα μέγιστης δύναμης μικρού όγκου (πρωινή προπόνηση) η υπερανάληψη παρατηρείται ακόμα και μετά από 6 ώρες σε αντίστοιχους έμπειρους αθλητές.

- Η προπόνηση μυϊκής ισχύος προκαλεί μικρή ή καθόλου κόπωση.

2.3 Εκρηκτική δύναμη

Η εκρηκτική δύναμη έχει οριστεί ως η ικανότητα του νευρομυϊκού συστήματος να αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα κίνησης στο ανθρώπινο σώμα (άλμα) ή σε κάποιο όργανο (ρίψη) δηλαδή να εφαρμόζει πολύ γρήγορα τη δύναμη που παράγει (Enoka, 1988). Η εκρηκτική δύναμη παίζει σημαντικότατο ρόλο σε αθλήματα όπου ο χρόνος για την παραγωγή της μυϊκής δύναμης είναι περιορισμένος. Για παράδειγμα στις ταχύτητες ή στα άλματα κλασικού αθλητισμού όπου ο χρόνος επαφής με το έδαφος είναι μικρότερος από τα 230 χιλιοστά του δευτερολέπτου (Luhtanen & Komi, 1979; Miller & Hay, 1986; Mero, Komi & McGregor, 1992) το επίπεδο της εκρηκτικής δύναμης του αθλητή αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων. Δυο βασικές μορφές της εκρηκτικής δύναμης είναι το κατακόρυφο άλμα (Baker, 1996) και ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης ο οποίος στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ως RFD ή rate of force development (Aagaard et al., 2002).

Το κατακόρυφο άλμα αποτελεί μια βασική δοκιμασία ελέγχου με την οποία αξιολογείται η μυϊκή ισχύς των κάτω άκρων (Carlock, Smith, Hartman, Morris, Cirosian, Pierce, Newton, Harman, Sands, & Stone, 2004), ενώ περιλαμβάνεται σε αθλητικές κινήσεις διαφόρων αθλημάτων, όπως στην πετοσφαίριση, στην καλαθοσφαίριση κ.α (Ziv & Lidor, 2010). Σε αυτά τα αθλήματα το κατακόρυφο άλμα έχει βρεθεί ότι καθορίζει το αγωνιστικό επίπεδο των αθλητών σε αθλήματα (Ziv & Lidor, 2010). Το κατακόρυφο άλμα, ως πολυαρθρική κίνηση εξαρτάται από φυσιολογικούς, κινητικούς και κινηματικούς παράγοντες όπως ο κινητικός συντονισμός (Bobbert, & van Ingen, 1988), ο τύπος των μυϊκών ινών (Bobbert,

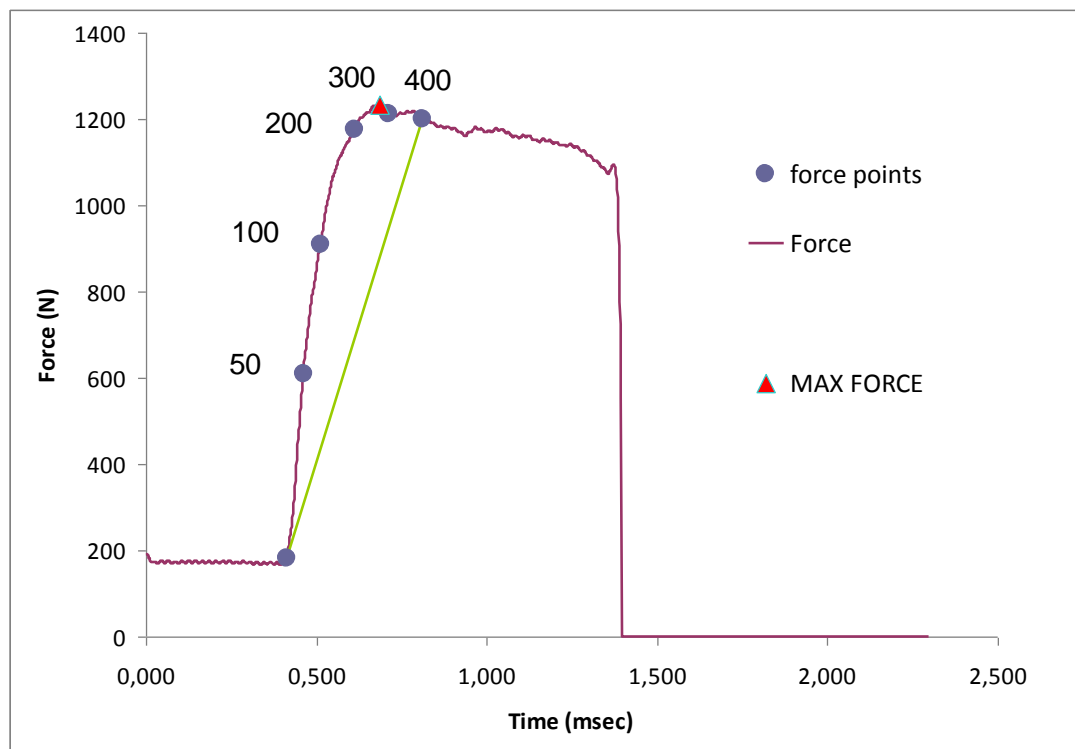
2001), η σκληρότητα (Bosco, & Pittera, 1982), το μυοτατικό αντανακλαστικό (Bobbert, 2001) και τη μέγιστη δύναμη του αθλητή (Baker, 1996).

Για την αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος χρησιμοποιούνται τρεις ασκήσεις (Asmussen & Bonde-Peterson, 1974). Η πρώτη άσκηση είναι το άλμα από θέση ημικάθισματος (Squat jump (SJ)) όπου ο δοκιμαζόμενος εκτελεί κατακόρυφο άλμα από ημικάθισμα με γωνία στο γόνατο 90° . Η κίνηση του δοκιμαζόμενου είναι κατευθείαν προς τα πάνω, χωρίς προδιάταση των μυων του τετρακεφάλου ή αντίθετη κίνηση (προς τα κάτω). Τα χέρια βρίσκονται στη μεσολαβή και ο κορμός είναι σχεδόν όρθιος. Η δεύτερη άσκηση είναι το άλμα με αντίθετη κίνηση, προδιάταση ή Countermovement jump (CMJ), κατά την οποία ο δοκιμαζόμενος, από την όρθια θέση και με τα χέρια στη μεσολαβή, εκτελεί κίνηση προς τα κάτω (αντίθετη) μέχρι τη θέση ημικάθισμα 90° και στη συνέχεια κατευθύνεται προς τα πάνω (κατακόρυφα). Η τρίτη άσκηση είναι το άλμα βάθους ή drop jump (DJ) όπου ο δοκιμαζόμενος με τα χέρια στη μεσολαβή πέφτει από κουτί ή πλινθίο συγκεκριμένου ύψους και εκτελεί κατακόρυφο άλμα μετά την προσγείωσή του στο έδαφος.

Το κατακόρυφο άλμα με αντίθετη κίνηση (CMJ) και το άλμα βάθους (DJ) ανήκουν στην κατηγορία των πλειομετρικών ασκήσεων (Chu, 1996) και κατά την εκτέλεση των οποίων παράγεται μεγαλύτερη ισχύς εξαιτίας της εκμετάλλευσης της έκκεντρης σύσπασης η οποία προηγείται της σύγκεντρης. Η αύξηση της παραγόμενης ισχύος μπορεί να εξηγηθεί με δυο μοντέλα: το μηχανικό και το νευροφυσιολογικό (Wilk, Voight, Keirns, Gambetta, Andrews, & Dillman, 1993). Στο μηχανικό μοντέλο κατά την έκκεντρη σύσπαση, αποθηκεύεται ελαστική ενέργεια στους μυς και στους τένοντες (Asmussen & Bonde-Peterson, 1974), η οποία απελευθερώνεται κατά τη σύγκεντρη σύσπαση λειτουργώντας σαν πρόσθετη κινητική ενέργεια (ελατήριο) με συνέπεια την αύξηση της τελικής παραγόμενης δύναμης (Cavagna, Saibene, & Margaria, 1965; 1977). Το νευροφυσιολογικό μοντέλο περιλαμβάνει τη βελτίωση της σύγκεντρης σύσπασης των μυων του τετρακεφάλου (μεγαλύτερη τελική παραγόμενη ισχύς κατά την εκτέλεση του κατακόρυφου άλματος) εξαιτίας της χρησιμοποίησης του μυοτατικού αντανακλαστικού ή αντανακλαστικού διάτασης (Bosco & Komi, 1979; Bosco, Komi & Ito, 1981; Bosco & Pittera, 1982). Το αντανακλαστικό αυτό είναι η ακούσια αντίδραση του νευρομυϊκού συστήματος του ανθρώπου η οποία προκαλείται από την απότομη διάταση ή την έκκεντρη σύσπαση

(Guyton, 2000). Τα ιδιοδεκτικά όργανα και οι μυϊκές άτρακτοι όταν ανιχνεύσουν μια γρήγορη διάταση ή έκκεντρη σύσπαση διεγείρονται, ενεργοποιώντας το μυοτατικό αντανακλαστικό στέλνοντας σήμα εισόδου μέσω των κεντρομόλων νευρικών ινών τύπου Ia στη σπονδυλική στήλη. Μετά από τη σύναψη με τους γρήγορους κινητικούς νευρώνες τύπου α, οι νευρικές ώσεις επιστρέφουν στον αγωνιστή μυ (Bosco & Komi, 1979; Bosco, Komi & Ito, 1981; Bosco & Pittera, 1982). Αν η σύγκεντρη σύσπαση δεν ακολουθήσει αμέσως την απότομη έκκεντρη σύσπαση ή διάταση τότε η αύξηση της τελικής παραγόμενης ισχύος μειώνεται.

Ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης (RFD) συνήθως αξιολογείται σε εκρηκτικές (ταχείας ή εκρηκτικής εκτέλεσης) ισομετρικές συσπάσεις (Zaras, Stasinaki, Methenitis, Krase, Karampatsos, Georgiadis, & Terzis, 2016; Marcora & Miller, 1999) και υπολογίζεται από τον τύπο: $\Delta\text{force}/\Delta\text{time}$ όπου force =δύναμη και time =χρόνος (Aagaard et al., 2002). Ο RFD υπολογίζεται σε πολλά χρονικά παράθυρα από τη στιγμή που ξεκινά να παράγει δύναμη ο δοκιμαζόμενος (Force onset).



Εικόνα 2.5. Μέτρηση του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης κατά τη διάρκεια ισομετρικής σύσπασης στην άσκηση πιέσεις ποδιών (leg press). Force points=σημεία δύναμης σε σχέση με τον χρόνο (π.χ 50=η δύναμη στα 50 ms), Force=η χρονική πορεία της δύναμης, Max Force=η μέγιστη ισομετρική δύναμη.

Κατά την αξιολόγηση του RFD, ο δοκιμαζόμενος πρέπει να σταθεροποιεί την καμπύλη της δύναμης πριν ωθήσει τη δυναμοπλατφόρμα και να αποφεύγει κάποια πτώση της καμπύλης δύναμης η οποία οφείλεται σε αντίθετη κίνηση (Grabiner, 1994), να χρησιμοποιεί άκαμπτα παπούτσια άρσης βαρών (Methenitis, Karandreas, Spengos, Zaras, Stasinaki, & Terzis, 2016) και να σπρώχνει σταθερές σκληρές επιφάνειες όπου αποφεύγεται η υποχωρητικότητα (Maffiuletti, Aagaard, Blazevich, Folland, Tillin, & Duchateau, 2016).

Ο RFD καθορίζεται από νευρικούς παράγοντες όπως η επιστράτευση των κινητικών μονάδων (Blazevich, Cannavan, Horne, Coleman, & Aagaard, 2009), ο ρυθμός εκφόρτισης των κινητικών μονάδων (Van Cutsem and Duchateau, 2005), ο συγχρονισμός των κινητικών μονάδων και ο συντονισμός μεταξύ των μυϊκών ομάδων (Maffiuletti et al., 2016), καθώς και από μυϊκούς παράγοντες όπως ο τύπος των μυϊκών ινών (Methenitis et al., 2016), το μέγεθος των μυϊκών ινών, η γωνία πρόσφυσης και η σκληρότητα μυών και τενόντων (Maffiuletti et al., 2016).

Ο RFD έχει βρεθεί ότι παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές σε αθλητές ισχύος σε σχέση με αθλητές δύναμης και αντοχής (Hakkinen & Myllyla, 1990; Methenitis et al., 2016) ενώ οι αθλητές αντοχής δεν διαφέρουν σημαντικά από εξεταζόμενους που δεν έχουν καμία προπονητική εμπειρία (Methenitis et al., 2016).

Κεφάλαιο III

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

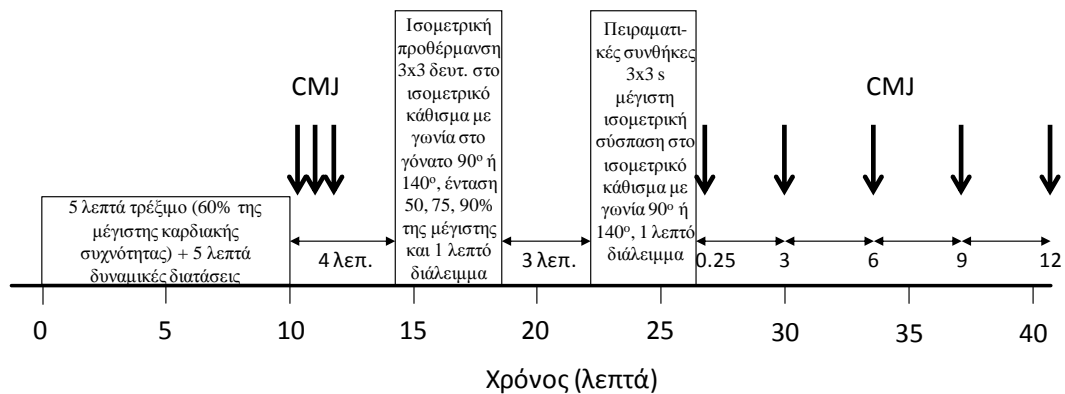
3.1 Μεθοδολογία πρώτης μελέτης

3.1.1 Περιγραφή των δοκιμαζόμενων

Στη μελέτη έλαβαν μέρος εθελοντικά 14 άνδρες αθλητές κλασικού αθλητισμού (8 αθλητές αλμάτων και 6 δεκαθλητές). Οι δοκιμαζόμενοι είχαν προπονητική εμπειρία 9.4 ± 5.8 χρόνια και πραγματοποιούσαν προπόνηση με αντιστάσεις για τουλάχιστον 6 χρόνια, ενώ έπαιρναν μέρος σε 6-8 προπονητικές μονάδες την εβδομάδα. Κανείς από τους αθλητές δεν είχε κάποιο μυοσκελετικό τραυματισμό 12 μήνες πριν την έναρξη της μελέτης. Επίσης κανείς από τους αθλητές δεν λάμβανε κάποιο συμπλήρωμα ή φάρμακο κατά τη διάρκεια της μελέτης. Οι δοκιμαζόμενοι υπέγραψαν έγγραφες συγκαταθέσεις στις οποίες αναφέρονταν όλη η διαδικασία των προκαταρκτικών μετρήσεων, των συνεδριών εξοικείωσης και των πειραματικών συνθηκών για τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να αντιμετωπίσουν και είχαν το δικαίωμα να σταματήσουν τη συμμετοχή τους όποτε οι ίδιοι το έκριναν απαραίτητο. Όλες οι διαδικασίες ήταν σύμφωνες με το κώδικα ηθικής της παγκόσμιας ιατρικής ένωσης (διακήρυξη του Ελσίνκι του 1964, όπως αυτή αναθεωρήθηκε το 2013).

3.1.2 Ερευνητικός σχεδιασμός πρώτης μελέτης

Η πρώτη μελέτη διερεύνησε τις άμεσες επιδράσεις της νευρομυϊκής (αλτικής) απόδοσης μετά από μια προπονητική συνεδρία με αντιστάσεις. Χρησιμοποιήθηκε τυχαιοποιημένη και ισοσταθμισμένη σειρά με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (repeated measures design) προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση ισομετρικών καθισμάτων σε δυο διαφορετικές γωνίες στην άρθρωση του γόνατος στο επερχόμενο κατακόρυφο άλμα σε αθλητές ισχύος εθνικού επιπέδου. Οι δοκιμαζόμενοι έλαβαν μέρος σε δυο συνεδρίες εξοικείωσης και τρεις συνεδρίες προκαταρκτικών μετρήσεων. Στη συνέχεια πραγματοποίησαν δυο πειραματικές συνθήκες και μια συνθήκη ελέγχου. Οι πειραματικές συνθήκες και η ελέγχου απείχαν μεταξύ τους τουλάχιστον μια εβδομάδα.



Σχήμα 3.1. Σχηματική απεικόνιση 1ης μελέτης. CMJ=κατακόρυφο άλμα με αντίθετη κίνηση

Οι πειραματικές συνθήκες περιελάμβαναν 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων μέγιστες ισομετρικές συσπάσεις σε θέση ημικαθίσματος (εικόνα 2.4) με γωνία στο γόνατο 90° ή 140°. Το διάλειμμα μεταξύ των ισομετρικών καθισμάτων ήταν ένα λεπτό. Η αλτική επίδοση, όπως αυτή εκφράστηκε με το CMJ (counter-movement jump) μετρήθηκε πριν από τα ισομετρικά καθίσματα και 15 δευτερόλεπτα, 3, 6, 9 και 12 λεπτά μετά (σχήμα 3.1). Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της αλτικής ικανότητας του κάθε δοκιμαζόμενου στο φαινόμενο της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στο κατακόρυφο άλμα, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική διαχωρισμού του διάμεσου του δείγματος (Chaouachi, Manzi, Chaali, Wong, Chamari, & Castagna, 2012). Η τεχνική αυτή διαχώρισε το δείγμα σε δυο ομάδες με βάση την αρχική τους αλτική επίδοση σε «καλούς άλτες» και σε «μέτριους άλτες». Οι «καλοί άλτες» βρίσκονταν πάνω από τη διάμεσο τιμή της κατανομής του κατακόρυφου άλματος ενώ οι «μέτριοι άλτες» κάτω από τη διάμεση τιμή.

3.1.3 Πειραματική διαδικασία

Πριν από κάθε προκαταρκτική ή πειραματική συνθήκη, οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποιούσαν μια τυποποιημένη προθέρμανση η οποία αποτελούνταν από 5 λεπτά χαλαρό τρέξιμο πάνω σε διάδρομο στο 60% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας και 5 λεπτά δυναμικές διατάσεις (Bogdanis et al., 2014). Ακόμη οι δοκιμαζόμενοι ενημερώθηκαν να μην πραγματοποιήσουν προπόνηση μια ημέρα πριν τη συμμετοχή τους σε οποιαδήποτε διαδικασία της μελέτης ή να λάβουν μέρος σε ήπιας έντασης άσκηση (Gullich & Schmidtbleicher, 1996). Τέλος δόθηκαν οδηγίες

στους δοκιμαζόμενους ώστε να έχουν μια ισορροπημένη και τυποποιημένη διαίτα πριν τις πειραματικές συνθήκες.

3.1.3.1 Μέτρηση μυϊκής ισομετρικής δύναμης κατά τη διάρκεια ισομετρικών καθισμάτων

Η μέτρηση της μυϊκής ισομετρικής δύναμης κατά τη διάρκεια των ισομετρικών καθισμάτων πραγματοποιήθηκε σε ειδικό κλωβό άρσης βαρών ο οποίος είχε βιδωθεί στο έδαφος. Οι δοκιμαζόμενοι έμπαιναν κάτω από τη μπάρα και το μέγεθος του καθίσματος (90° ή 140°) καθοριζόταν από τις οπές των πλάγιων υποστηριγμάτων του κλωβού όπου οι υποστηρικτές τοποθετούνταν (εικόνα 3.1). Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ισομετρική σύσπαση του μυός ειδικοί ιμάντες τοποθετούνταν πάνω στη μπάρα και οι οποίοι δένονταν πάνω στους υποστηρικτές. Επιπλέον τοποθετούνταν πάνω στη μπάρα πιάτα βάρους 10-25 κιλών έως ότου αυτή φορτωθεί πλήρως με κιλά και επιπλέον δυο βοηθοί σταθεροποιούσαν την προσθιοπίσθια κίνηση της. Ένας έμπειρος προπονητής φυσικής κατάστασης και δύναμης κατεύθυνε τους δοκιμαζόμενους έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι ο κορμός ήταν όσο το δυνατόν κατακόρυφος και στις δυο συνθήκες. Εξαιτίας του ότι κατά την ισομετρική σύσπαση δεν υπάρχει έργο ($W = F \cdot S$) καθώς δεν υπάρχει μετατόπιση ($S = 0$), η ένταση και ο όγκος της άσκησης και στις δυο συνθήκες υπολογίστηκε με το φυσικό μέγεθος της ώθησης της δύναμης. Η ώθηση της δύναμης ισοδυναμεί με το ολοκλήρωμα της εφαρμοζόμενης δύναμης σε σχέση με το χρόνο ($I = \int F \times Dt$) και μετριέται σε N x sec. Για τον υπολογισμό της ώθησης της δύναμης τοποθετήθηκε ένα δυναμοδάπεδο (Applied measurements Ltd., Reading, United Kingdom), διαστάσεων 80 x 80 εκ. το οποίο μετράει την κατακόρυφη δύναμη (F_z). Η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν τα 1000 Hz. Το δυναμοδάπεδο συνδεόταν με ένα υπολογιστή μέσω μιας διεπαφής (Kyowa PCD-320A). Τα δεδομένα συλλέγονταν και περνούσαν από ένα ψηφιακό φίλτρο (fourth order reverse Butterworth) με συχνότητα αποκοπής τα 20 Hz. Η μέγιστη και η μέση δύναμη, η συνολική διάρκεια της άσκησης καθώς και η συνολική ώθηση δύναμης (υπολογίστηκε με τον κανόνα των τραπεζίων) υπολογίστηκαν αφού προγραμματίστηκαν οι αντίστοιχοι τύποι στο λογισμικό LabVIEW (LabVIEW version 8.0, National Instruments, Austin, TX, USA).



Εικόνα 3.1. Κλωβός άρσης βαρών. Παρατηρούμε επίσης τις οπές όπου οι υποστηρικτές εισέρχονται και καθορίζονται το ύψος του ισομετρικού καθίσματος.

3.1.3.2 Αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος

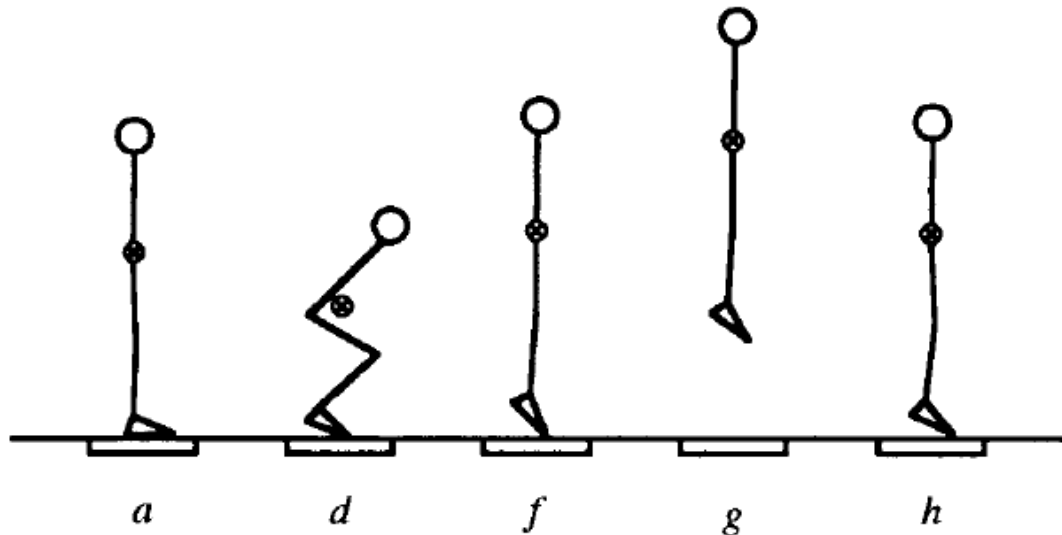
Το κατακόρυφο άλμα με αντίθετη κίνηση ή προδιάταση των μυών του τετρακέφαλου (CMJ) αξιολογήθηκε όπως ακριβώς αναφέρεται στο πρωτόκολλο του Bosco και συν. (1983). Με βάση τα δεδομένα από το δυναμοδάπεδο υπολογίστηκε ο χρόνος πτήσης των δοκιμαζόμενων αθλητών. Το ύψος του κατακόρυφου άλματος υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\text{Ύψος άλματος} = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

όπου $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $t = \frac{1}{2}$ χρόνος πτήσης.

Οι δοκιμαζόμενοι κρατούσαν τα χέρια τους σε θέση ακimbo, δηλαδή στη μέση, σε όλη τη διάρκεια του άλματος, λύγιζαν τα πόδια έως ότου έφταναν περίπου στις 90° τη γωνία στα γόνατά τους και διατηρούσαν τη θέση του σώματος από την απογείωση έως την προσγείωση. Τρία κατακόρυφα άλματα μετρήθηκαν με 30 δευτερόλεπτα

διάλειμμα μεταξύ τους πριν την εφαρμογή των ισομετρικών καθισμάτων (baseline) και 1 κατακόρυφο άλμα (CMJ) εκτελέστηκε σε κάθε χρονικό σημείο μετά την εφαρμογή των ισομετρικών καθισμάτων.



Εικόνα 3.2. Εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με προδιάταση (CMJ)

Οι δοκιμαζόμενοι παρέμεναν καθισμένοι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αλμάτων προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κόπωση. Ο ενδοταξικός δείκτης αξιοπιστίας (ICC) για τη μέτρηση του κατακόρυφου άλματος ήταν $ICC=0.98$ ($p<0.01$).

3.1.3.3 Προκαταρκτικές μετρήσεις και εξοικείωση

Στις πρώτες δυο επισκέψεις οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με τα ισομετρικά καθίσματα και στις δυο πειραματικές γωνίες (90° ή 140°) στον κλωβό της άρσης βαρών. Επίσης εξοικείωση πραγματοποιήθηκε και στο κατακόρυφο άλμα (CMJ). Οι δοκιμαζόμενοι επιβλέπονταν για την σωστή θέση από έναν έμπειρο προπονητή φυσικής κατάστασης και δύναμης.

Στην πρώτη προκαταρκτική επίσκεψη, μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη σε τέσσερις διαφορετικές γωνίες προκειμένου να καθοριστεί η σχέση μέγιστης ισομετρικής δύναμης-γωνίας κατά την άσκηση κάθισμα έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι πειραματικές γωνίες. Η πρώτη προκαταρκτική επίσκεψη αποτέλεσε ουσιαστικά πιλοτική μελέτη. Η σειρά των μετρήσεων ήταν

τυχαιοποιημένη και ισοσταθμισμένη. Οι γωνίες εκτέλεσης των ισομετρικών καθισμάτων κυμάνθηκαν από 90° έως 140°. Ο κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε ισομετρικές προσπάθειες διάρκειας 3 δευτερολέπτων σε κάθε γωνία και στη συνέχεια επαναλάμβανε τα ισομετρικά καθίσματα με την ίδια σειρά. Έτσι πραγματοποιήθηκαν 2 σειρές σε κάθε γωνία. Ο χρόνος αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων ήταν ένα λεπτό. Ο ενδοταξικός δείκτης συσχέτισης ήταν υψηλός και κυμάνθηκε από ICC = 0.92-0.97.

Στην δεύτερη προκαταρκτική επίσκεψη, μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική δύναμη στις δυο πειραματικές γωνίες (90° και 140°). Αυτή η μέτρηση πραγματοποιήθηκε προκειμένου να διασφαλιστεί και να ελεγχθεί η μέγιστη προσπάθεια των αθλητών κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών. Η σειρά των μετρήσεων ήταν τυχαιοποιημένη και ισοσταθμισμένη. Ο κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε μέγιστη ισομετρική προσπάθεια για 3 δευτερόλεπτα και στις δυο γωνίες και στη συνέχεια επαναλάμβανε άλλες δυο φορές (σύνολο 3) τα ισομετρικά καθίσματα με την ίδια σειρά. Το διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων ήταν 1 λεπτό. Η αξιοπιστία της δοκιμασίας ήταν υψηλή (ICC 140° = 0.93 και ICC 90° = 0.97) για τις δυο γωνίες (p<0.01). Η γωνία στο γόνατο (γωνία μεταξύ κνήμης και μηρού) υπολογίστηκε με τη βοήθεια μια ψηφιακής βιντεοκάμερας (Casio Exilim Pro EX-F1, CasioComputer Co., Ltd., Tokyo, Japan) στα 30 πηδία το δευτερόλεπτο και του λογισμικού Kinovea video analysis (v 0.8.15). Σημάδια τοποθετήθηκαν στον έξω σφυρό, στον μηριαίο κόνδυλο και στον μείζων τροχαντήρα του δεξιού κάτω άκρου, προκειμένου να υπολογιστεί η ακριβής γωνία στο γόνατο. Η αξιοπιστία της μέτρησης ήταν ICC (140°) = 0.96 και ICC (90°) = 0.98 (p<0.01).

3.1.3.4 Αξιολόγηση της κόπωσης κατά τη διάρκεια μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων στις δυο πειραματικές γωνίες

Από την ανασκόπηση βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η χρονική πορεία της νευρομυϊκής απόδοσης μετά την άσκηση ενεργοποίησης εξαρτάται από την αλληλεπίδραση μεταξύ της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης και της κόπωσης (Tillin & Bishop, 2009). Προκειμένου να διευκρινιστεί ποια γωνία, άρα και ποιο μήκος

μυός (μικρό ή μεγάλο) προκαλεί μεγαλύτερη κόπωση πραγματοποιήθηκε στην τρίτη προκαταρκτική επίσκεψη ένα τεστ κόπωσης. Το τεστ κόπωσης περιελάμβανε μέγιστη ισομετρική προσπάθεια για 15 δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια των ισομετρικών καθισμάτων με γωνία στο γόνατο 90° και 140°. Μετά από την τυποποιημένη προθέρμανση (Bogdanis et al., 2014) ο κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε σε τυχαία και ισοσταθμισμένη σειρά την αξιολόγηση της κόπωσης. Μεταξύ των δυο προσπαθειών υπήρξε αποκατάσταση 30 λεπτών. Η θέση του σώματος και οι γωνίες μετρήθηκαν και καταγράφηκαν όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Η κόπωση υπολογίστηκε από το ποσοστό της πτώσης της καμπύλης της δύναμης από τη μέγιστη τιμή της δύναμης έως το τέλος της αξιολόγησης (15 δευτερόλεπτα).

3.1.4 Πειραματικές συνθήκες και συνθήκη ελέγχου

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών, 1 λεπτό μετά το τέλος της προθέρμανσης, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 3 κατακόρυφα άλματα (CMJ). Το καλύτερο κρατήθηκε ως αρχική τιμή (baseline) για περαιτέρω ανάλυση. Στη συνέχεια οι αθλητές ξεκουράστηκαν για δυο λεπτά και πραγματοποίησαν μια ειδική δυναμική προθέρμανση η οποία περιελάμβανε 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων ισομετρικές συσπάσεις από θέση ημικαθίσματος 90° ή 140° με ένταση 50%, 75% και 90% με αποκατάσταση 1 λεπτού μεταξύ τους. Η μέγιστη ένταση είχε προκαθοριστεί από τις προκαταρκτικές μετρήσεις. Οι δοκιμαζόμενοι είχαν οπτική ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια της ειδικής δυναμικής προθέρμανσης από μια οθόνη που είχε τοποθετηθεί μπροστά τους έτσι ώστε να μην ξεπερνούν τις προκαθορισμένες τιμές. Μετά την ειδική προθέρμανση οι δοκιμαζόμενοι ξεκουράστηκαν για 3 λεπτά και εκτέλεσαν 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων μέγιστες ισομετρικές συσπάσεις κατά τη διάρκεια ισομετρικών καθισμάτων με γωνία στο γόνατο 90° ή 140°. Το διάλειμμα ήταν 1 λεπτό μεταξύ των ισομετρικών καθισμάτων (σχήμα 3.1). Ακολούθως οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν κατακόρυφα άλματα (CMJ) στα επόμενα χρονικά σημεία κατά την αποκατάσταση: 15 δευτερόλεπτα, 3, 6, 9 και 12 λεπτά. Στη συνθήκη ελέγχου οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν τα κατακόρυφα άλματα στα ανωτέρω χρονικά σημεία 5 λεπτά μετά την τυποποιημένη προθέρμανση.

3.1.5 Στατιστική ανάλυση

Όλες οι μεταβλητές παρουσιάζονται με μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις (mean \pm Sd). Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό λογισμικό Statistica v.8.0 software (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Για να εξεταστούν πιθανές διαφορές στη μέγιστη ισομετρική δύναμη κατά τη διάρκεια των ισομετρικών καθισμάτων στις τέσσερις διαφορετικές γωνίες (πilotική μελέτη-1^η προκαταρκτική συνεδρία) χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διασποράς επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μονής κατεύθυνσης (1-way ANOVA repeated measures). Προκειμένου να προσδιοριστούν οι επιδράσεις των μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων με διαφορετική γωνία στο γόνατο (90° ή 140°) στην αλτική επίδοση χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διασποράς επαναλαμβανόμενων μετρήσεων διπλής κατεύθυνσης (2-way ANOVA repeated measures- συνθήκη x χρόνος). Σε περίπτωση που υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στις κύριες επιδράσεις ή στην αλληλεπίδραση των δυο παραγόντων ($p \leq 0.05$) χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος Tukey post hoc test. Το μέγεθος επίδρασης υπολογίστηκε με τον συντελεστή η^2 . Το μέγεθος επίδρασης κατηγοριοποιήθηκε ως μικρό (0.01-0.059), μεσαίο (0.06-0.137) και μεγάλο (>0.137). Για τη σύγκριση των δυναμικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών και της αξιολόγησης της κόπωσης χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος t-test για εξαρτημένα δείγματα. Ο δείκτης Cohen's d υπολογίστηκε προκειμένου να προσδιοριστεί το μέγεθος επίδρασης για τις μετα-Ανονα κατά ζεύγη συγκρίσεις. Το μέγεθος επίδρασης Cohen's d κατηγοριοποιήθηκε σε μικρό (0.2), μεσαίο (0.5) και μεγάλο (0.8). Ο δείκτης ενδοταξικής συσχέτισης ICC υπολογίστηκε για να προσδιοριστεί η αξιοπιστία των μετρήσεων για όλες τις μεταβλητές. Το ποσοστό στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p \leq 0.05$.

3.2 Μεθοδολογία δεύτερης μελέτης

3.2.1 Περιγραφή των δοκιμαζόμενων

Στη μελέτη έλαβαν μέρος δεκαεπτά άνδρες αθλητές ισχύος. Τα σωματομετρικά και δυναμικά τους χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 3.2.

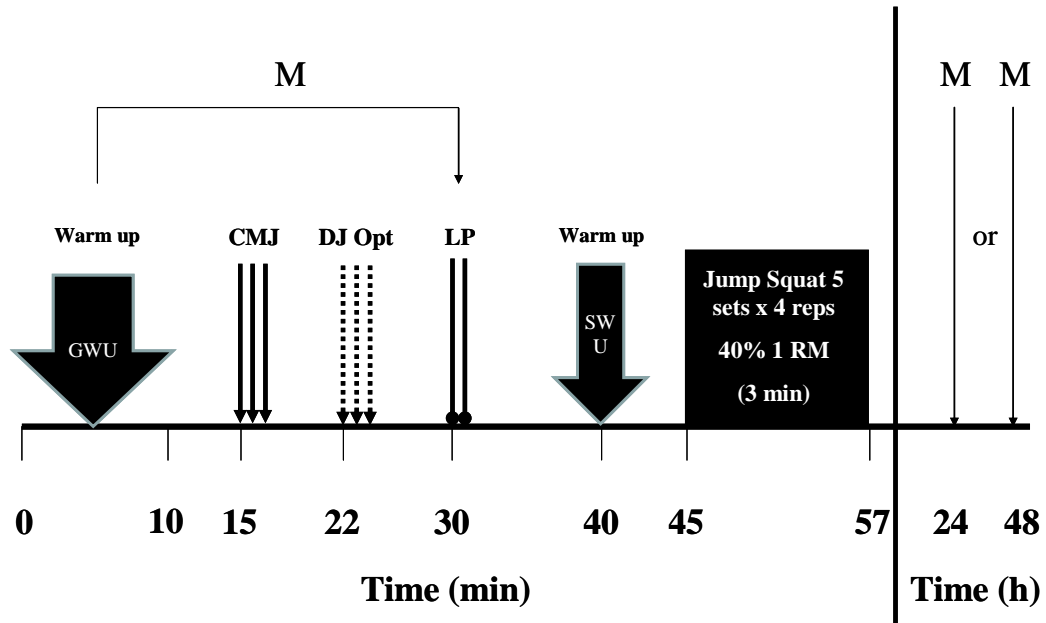
Οι δοκιμαζόμενοι είχαν προπονητική εμπειρία 10.0 ± 4.9 χρόνια, εμπειρία στην προπόνηση με αντιστάσεις 6.4 ± 3.9 χρόνια και λάμβαναν μέρος σε 6-8 προπονητικές μονάδες την εβδομάδα. Ως προαπαιτούμενο για τη συμμετοχή των αθλητών στη μελέτη ήταν η μη κατανάλωση φαρμάκων ή συμπληρωμάτων διατροφής κατά τη διάρκεια της μελέτης και ότι δεν είχαν κάποιο πρόσφατο μυοσκελετικό τραυματισμό τον τελευταίο χρόνο. Οι συμμετέχοντες υπέγραψαν έγγραφη συγκατάθεση μετά από πλήρη ενημέρωση σχετικά με τη μελέτη. Όλες οι διαδικασίες ήταν σύμφωνες με το κώδικα ηθικής της παγκόσμιας ιατρικής ένωσης (διακήρυξη του Ελσίνκι του 1964, όπως αυτή αναθεωρήθηκε το 2013).

3.2.2 Ερευνητικός σχεδιασμός δεύτερης μελέτης

Προκειμένου να διερευνηθούν οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις μιας προπόνησης με αντιστάσεις μυϊκής ισχύος χαμηλού όγκου στη νευρομυϊκή απόδοση 24 και 48 ώρες μετά, χρησιμοποιήθηκε ένας σχεδιασμός επαναλαμβανόμενων μετρήσεων σε τυχαία και ισοσταθμισμένη σειρά. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν αθλητές και έλαβαν μέρος σε δυο συνεδρίες εξοικείωσης και δυο προκαταρκτικές οι οποίες περιελάμβαναν κυρίως άλματα βάθους από κουτιά ύψους 20-80 εκατοστών και αξιολόγηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης καθώς και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης κατά τη διάρκεια της άσκησης των πιέσεων ποδιών (leg press). Στη συνέχεια οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν 2 πειραματικές συνθήκες και 2 συνθήκες ελέγχου σε τυχαία και ισοσταθμισμένη σειρά. Η κάθε συνθήκη απείχε τουλάχιστον μια εβδομάδα από την άλλη. Αξιολογήθηκε η νευρομυϊκή απόδοση πριν, 24 και 48 ώρες μετά από μια προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος χαμηλού όγκου που περιελάμβανε 5 σειρές των 4 επαναλήψεων στην άσκηση ημικάθισμα - αναπήδηση με ένταση το 40% της 1 ΜΕ και με 3 λεπτά διάλειμμα μεταξύ των σειρών (σχήμα 3.2).

Στις συνθήκες ελέγχου αξιολογήθηκε η νευρομυϊκή απόδοση πριν και μετά από 24 ή 48 ώρες χωρίς την εφαρμογή της προπόνησης με αντιστάσεις μυϊκής ισχύος. Οι δοκιμαζόμενοι δηλαδή πραγματοποίησαν μόνο μετρήσεις με χρονική διαφορά 24 ή 48 ώρες. Οι εξαρτημένες μεταβλητές ήταν: το κατακόρυφο άλμα (CMJ), ο δείκτης δύναμης αντίδρασης (RSI) κατά τη διάρκεια άλματος βάθους (DJ), η μέγιστη

ισομετρική δύναμη (PF) και ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης (RFD) στα χρονικά διαστήματα: 0-100, 0-200 και 0-300 ms κατά τη διάρκεια των πιέσεων ποδιών (leg press).



Σχήμα 3.2. Σχηματική απεικόνιση 2ης μελέτης. GMU=γενική προθέρμανση, CMJ=κατακόρυφο άλμα με αντίθετη κίνηση, DJ opt=άλμα βάθους από το ωφέλιμο ύψος, SWU=ειδική προθέρμανση, Jump Squat=άλμα + αναπήδηση, RM=μέγιστη επανάληψη, M=μετρήσεις

3.2.3 Πειραματική διαδικασία

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου. Οι δοκιμαζόμενοι ακολούθησαν ένα τυποποιημένο προπονητικό πρόγραμμα με 4 εβδομαδιαίους μικρόκυκλους προκειμένου να ελεγχθεί το προπονητικό φορτίο, η παρέμβαση της προπόνησης και της αποκατάστασης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο τέλος κάθε μικρόκυκλου μετά τις πειραματικές συνθήκες ή τις συνθήκες ελέγχου. Στους αθλητές δόθηκαν εντολές να ακολουθήσουν μια ισορροπημένη διαίτα την οποία θα επαναλάμβαναν 48 ώρες πριν τις πειραματικές συνθήκες και τις συνθήκες ελέγχου.

Πριν από κάθε πειραματική και προκαταρκτική μέτρηση ή συνεδρία εξοικείωσης οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν μια τυποποιημένη προθέρμανση η οποία αποτελούνταν από 5 λεπτά ήπιας ποδηλάτισης (60 watt) και 5 λεπτά δυναμικών διατάσεων των

μυών των κάτω άκρων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των αλμάτων (Bogdanis et al., 2014).

3.2.3.1 Προκαταρκτικές μετρήσεις και εξοικείωση

Στις δυο πρώτες επισκέψεις, οι αθλητές εξοικειώθηκαν με την άσκηση των πιέσεων των ποδιών (leg press) για την αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αξιοπιστία της μέτρησης (Maffiuletti et al., 2016). Οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με τα άλματα βάθους από κουτιά ύψους 20, 40, 60 και 80 εκατοστών καθώς και με το κατακόρυφο άλμα με προδιάταση (CMJ).

Στην πρώτη προκαταρκτική επίσκεψη, οι δοκιμαζόμενοι αξιολογήθηκαν στο κατακόρυφο άλμα. Αυτά τα δεδομένα συνέβαλλαν ώστε να διασφαλιστεί η μέγιστη προσπάθεια των δοκιμαζόμενων κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών καθώς και των συνθηκών ελέγχου. Πέντε λεπτά μετά την αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος (CMJ) οι δοκιμαζόμενοι αθλητές αξιολογήθηκαν στη μέγιστη δύναμη στην άσκηση ημικάθισμα (1 ME) με γωνία στο γόνατο 90°. Στη δεύτερη προκαταρκτική επίσκεψη οι δοκιμαζόμενοι αξιολογήθηκαν στο άλμα βάθους από διαφορετικά ύψη (20, 40, 60, 80 εκ.), προκειμένου να καθοριστεί το ωφέλιμο ύψος πτώσης, εξατομικευμένα, για τον κάθε δοκιμαζόμενο. Από αυτό το ύψος πτώσης ο κάθε δοκιμαζόμενος αξιολογήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών και των συνθηκών ελέγχου. Το βέλτιστο ύψος πτώσης καθορίστηκε ως εκείνο που παρουσίαζε τον υψηλότερο δείκτη αντίδρασης (RSI = Reactive Strength Index). Ο RSI υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$RSI (m.s^{-1}) = \text{Μέγιστο ύψος άλματος} \times \text{Χρόνος επαφής}^{-1}$$

3.2.3.2 Αξιολόγηση της μέγιστης δύναμης στην άσκηση ημικάθισμα

Η μέγιστη δύναμη (1 ME) στο ημικάθισμα πραγματοποιήθηκε (γωνία γονάτου 90°) σύμφωνα με τις οδηγίες που προτείνει η NSCA (National Strength and Conditioning Association) (Baechle & Earle, 2008). Για τη μέτρηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν Ολυμπιακά βάρη και Ολυμπιακή μπάρα (Eleiko, Halmstad,

Sweden). Για την διασφάλιση της αποφυγής τραυματισμών η διαδικασία της μέτρησης πραγματοποιήθηκε σε ειδικό κλωβό άρσης βαρών (εικόνα 3.1). Ο ενδοταξικός δείκτης συσχέτισης για την αξιοπιστία της μέτρησης ήταν ICC = 0.98 ($p < 0.01$) όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη μελέτη (Bogdanis et al., 2014). Οι δοκιμαζόμενοι, από την όρθια θέση (γωνία γονάτου 180°) ξεκινούσαν να κατεβαίνουν (έκκεντρη φάση) και σταματούσαν στην επιθυμητή γωνία των 90° από ένα ακουστικό ερέθισμα «μπιπ» το οποίο ενεργοποιούνταν από ένα φωτοκύτταρο το οποίο διακοπτόταν από το οπίσθιο τμήμα του μηρού (δικέφαλος μηριαίος) όταν η γωνία στο γόνατο ήταν στις 90° . Η γωνία του γονάτου μετριόταν στο χαμηλότερο σημείο της κίνησης με τη χρήση μιας ψηφιακής βιντεοκάμερας υψηλής ταχύτητας (Casio Exilim Pro EX-F1) στα 60 πεδία το δευτερόλεπτο με τη βοήθεια του λογισμικού Kinovea Video Analysis Software (v. 0.8.15). Για την σωστή μέτρηση της γωνίας του γονάτου με τη χρήση των παραπάνω συσκευών τοποθετήθηκαν σημάδια στον έξω σφυρό, στον μηριαίο κόνδυλο και στον μείζων τροχαντήρα του δεξιού κάτω άκρου. Η αξιοπιστία της μέτρησης ήταν ICC = 0.95 ($p < 0.01$).

3.2.3.3 Αξιολόγηση κατακόρυφου άλματος (CMJ)

Η αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος (CMJ) πραγματοποιήθηκε πάνω σε ένα δυναμοδάπεδο (Applied measurements Ltd, Reading, UK) το οποίο είχε συχνότητα δειγματοληψίας το 1 kHz. Με βάση τα δεδομένα από το δυναμοδάπεδο υπολογίστηκε ο χρόνος πτήσης των δοκιμαζόμενων αθλητών. Το ύψος του κατακόρυφου άλματος υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\text{Ύψος άλματος} = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

όπου $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $t = \frac{1}{2}$ χρόνος πτήσης.

Οι δοκιμαζόμενοι προσπαθούσαν να πηδήξουν όσο το δυνατόν ψηλότερα με τα χέρια τους να παραμένουν στη μέση σε όλη τη διάρκεια του άλματος. Η θέση του σώματος παρέμενε ίδια από την απογείωση έως την προσγείωση (Bosco et al., 1983). Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν τρία κατακόρυφα άλματα με 3 λεπτά διάλειμμα μεταξύ τους. Ο δείκτης αξιοπιστίας ήταν υψηλός ICC = 0.99 ($p < 0.01$).

3.2.3.4 Αξιολόγηση άλματος βάθους

Η αξιολόγηση του άλματος βάθους πραγματοποιήθηκε σε δυναμοδάπεδο (Applied measurements Ltd, Reading, UK) με συχνότητα δειγματοληψίας το 1 kHz. Υπολογίστηκαν ο χρόνος πτήσης και ο χρόνος επαφής με το έδαφος. Οι δοκιμαζόμενοι έπεφταν από ένα κουτί, χωρίς να ανεβάζουν το κέντρο βάρους του σώματος (Barr & Nolte, 2011) και πραγματοποιούσαν προσγείωση στο έδαφος με τα δυο πόδια. Η πτώση για την πραγματοποίηση του άλματος πραγματοποιήθηκε από το συγκεκριμένο ύψος που είχε προκαθοριστεί σε προκαταρκτική επίσκεψη. Μετά την επαφή με το έδαφος, οι δοκιμαζόμενοι αναπηδούσαν όσο το δυνατόν πιο ψηλά, ενώ ταυτόχρονα προσπαθούσαν να ελαχιστοποιήσουν την επαφή με το έδαφος (Viitasalo, Salo, & Lahtinen, 1998). Η οδηγία που δόθηκε ήταν «γρήγορα και ψηλά». Όπως και στο CMJ τα χέρια παρέμεναν σε θέση akimbo, δηλαδή στη μέση σε όλη τη διάρκεια του άλματος και η θέση του σώματος παρέμενε όρθια από την απογείωση έως την προσγείωση. Οι δοκιμαζόμενοι αθλητές εκτέλεσαν τρία άλματα βάθους με 45 δευτερόλεπτα διάλειμμα (Barr & Nolte, 2011). Οι δείκτες αξιοπιστίας για τη μέτρηση του άλματος βάθους ήταν:

Ύψος άλματος: ICC=0.95 ($p<0.01$), Χρόνος επαφής: ICC=0.96 ($p<0.01$), Δείκτης δύναμης αντίδρασης (RSI): ICC=0.99 ($p<0.01$).

3.2.3.5 Αξιολόγηση μέγιστης ισομετρικής δύναμης και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης

Η μέγιστη ισομετρική δύναμη και ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης αξιολογήθηκε σε ένα δυναμοδάπεδο (Applied measurements Ltd, Reading, UK) με συχνότητα δειγματοληψίας το 1 kHz. Το δυναμοδάπεδο τοποθετήθηκε σε ένα τσιμεντένιο τοίχο. Ο κάθε δοκιμαζόμενος καθόταν μπροστά από το δυναμοδάπεδο σε μια άκαμπτη ατσάλινη καρέκλα. Η πίσω πλευρά της καρέκλας (πλάτη) σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο σχημάτιζε γωνία 106° . Οι δοκιμαζόμενοι φορούσαν παπούτσια άρσης βαρών. Η γωνία του κορμού σε σχέση με το έδαφος ήταν $112\pm 3^\circ$, η γωνία του ισχίου (μεταξύ μηρού και κορμού) ήταν $60\pm 5^\circ$ και η γωνία στο γόνατο ήταν $98\pm 7^\circ$ (180° = πλήρης έκταση του γόνατος). Η γωνία του γονάτου επιλέχθηκε

να βρίσκεται μεταξύ των 90-100° διότι σε αυτές τις γωνίες πραγματοποιείται η άσκηση του καθίσματος + αναπήδηση που περιλαμβάνονταν στο προπονητικό πρόγραμμα με αντιστάσεις (Alegre, Jimenez, Gonzalo-Orden, Martin-Acero & Aguado, 2006). Στους δοκιμαζόμενους δόθηκε εντολή να σπρώξουν και με τα δυο τους πόδια ταυτόχρονα «όσο το δυνατόν γρηγορότερα και δυνατά» (Maffiuletti et al., 2016) για 4 δευτερόλεπτα και να αποφύγουν οποιαδήποτε κίνηση προς τα πίσω (countermovement). Ο κάθε δοκιμαζόμενος αθλητής εκτέλεσε δυο μέγιστες προσπάθειες. Μεταξύ των προσπαθειών υπήρξε αποκατάσταση 2 λεπτών. Για την ομαλοποίηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό φίλτρο (low pass Butterworth digital filter) με συχνότητα αποκοπής τα 25 Hz. Η μέγιστη ισομετρική δύναμη υπολογίστηκε από τη μέση τιμή της υψηλότερης καμπύλης διάρκειας 100ms. Ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης υπολογίστηκε σε συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα των 0-100, 0-200 και 0-300 ms (RFD0-100, RFD0-200 και RFD0-300) ως την κλίση της χρονο-δυναμικής καμπύλης σε κάθε ένα από τα παραπάνω χρονικά παράθυρα (Aagaard et al., 2002; Knezevic, Mirkov, Kadija, Nedeljkovic, & Jaric, 2014; Methenitis et al., 2016; Zaras et al., 2016). Ο δείκτης αξιοπιστίας για τη μέγιστη ισομετρική δύναμη ήταν ICC=0.97 ($p<0.01$), ενώ για τα RFD0-100, RFD0-200 και RFD0-300, ήταν 0.93, 0.97 και 0.96, αντίστοιχα ($p<0.01$).

3.2.4 Πειραματικές συνθήκες και συνθήκες ελέγχου

Η νευρομυϊκή απόδοση των δοκιμαζόμενων αξιολογήθηκε σε δυο πειραματικές συνθήκες και σε δυο συνθήκες ελέγχου. Στις πειραματικές συνθήκες οι δοκιμαζόμενοι αφού πραγματοποίησαν την τυποποιημένη προθέρμανση ξεκουράστηκαν για πέντε λεπτά, και στη συνέχεια πραγματοποίησαν τρία κατακόρυφα άλματα με 45 δευτερόλεπτα διάλειμμα μεταξύ τους. Από αυτά τα κατακόρυφα άλματα το καλύτερο επιλέχθηκε ως αρχική τιμή για την ανάλυση (baseline value). Μετά από 6 λεπτά οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν τρία άλματα βάθους από το βέλτιστο (εξατομικευμένο) ύψος πτώσης το οποίο είχε προσδιοριστεί στις προκαταρκτικές μετρήσεις. Ο χρόνος αποκατάστασης μεταξύ των προσπαθειών ήταν 45 δευτερόλεπτα. Το άλμα βάθους το οποίο παρουσίασε τον υψηλότερο δείκτη αντίδρασης (RSI) επιλέχθηκε ως αρχική τιμή για την ανάλυση (baseline value). Στη συνέχεια οι δοκιμαζόμενοι αφού πραγματοποίησαν ένα διάλειμμα 8 λεπτών

αξιολογήθηκαν στη μέγιστη ισομετρική δύναμη και στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης στην άσκηση των πιέσεων ποδιών (leg press). Ο κάθε δοκιμαζόμενος εκτέλεσε δυο προσπάθειες και η καλύτερη επιλέχθηκε ως αρχική τιμή για την ανάλυση (baseline value). Μετά από αυτήν την αξιολόγηση δόθηκε στους δοκιμαζόμενους χρόνος αποκατάστασης 10 λεπτών και στη συνέχεια πραγματοποιήσαν μια ειδική προθέρμανση με αντιστάσεις η οποία περιελάμβανε 1 σειρά των 6 καθισμάτων με αναπήδηση στο 15% της 1 ME, και 1 σειρά των 4 καθισμάτων με αναπήδηση στο 30% της 1 ME ή στο 40%, με 3 λεπτά διάλειμμα μεταξύ των σειρών. Οι δοκιμαζόμενοι αθλητές ξεκουράστηκαν για 3 λεπτά και ακολούθως εκτέλεσαν την παρεμβατική άσκηση, η οποία ήταν η άσκηση ημικάθισμα – αναπήδηση και περιελάμβανε 5 σειρές των 4 επαναλήψεων στο 40% της 1 ME. Το διάλειμμα μεταξύ των σειρών ήταν 3 λεπτά. Κατά μέσο όρο το 40% της 1 ME των δοκιμαζόμενων ήταν 65.3 ± 11.5 kg. Στη συνθήκη των 24 ωρών (24 h) επαναμετρήθηκε η νευρομυϊκή απόδοση μετά από 24 ώρες, ενώ στη συνθήκη των 48 ωρών (48 h) η επαναξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μετά από 48 ώρες. Στις συνθήκες ελέγχου η νευρομυϊκή απόδοση αξιολογήθηκε 24 και 48 ώρες μετά τις αρχικές μετρήσεις (baseline values) χωρίς την εφαρμογή της προπονητικής άσκησης. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την ίδια ώρα της ημέρας, μεταξύ 16:00 και 19:00 μ.μ. για να αποφευχθεί η ημερήσια διακύμανση.

3.2.5 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό λογισμικό SPSS (IBM SPSS Statistics Version 23). Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διασποράς (two-way repeated measures analysis of variance) διπλής κατεύθυνσης (4 συνθήκες x 2 χρονικά σημεία) για να διερευνηθούν πιθανές διαφορές στο κατακόρυφο άλμα (CMJ), στον αντιδραστικό δείκτη (RSI), στη μέγιστη ισομετρική δύναμη (PF-peak force) και στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης (RFD0-100, RFD0-200 και RFD0-300). Πραγματοποιήθηκε επίσης ο μετα – ANOVA έλεγχος Tukey's post-hoc test όταν μια σημαντική κύρια επίδραση ή αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων παρατηρούνταν ($p < 0.05$). Τα μεγέθη επίδρασης προσδιορίστηκαν για την ANOVA με τον υπολογισμό του δείκτη η^2 (μικρή επίδραση: 0.01 to 0.059, μεσαία επίδραση:

0.06 to 0.137, μεγάλη επίδραση >0.138). Το αντίστοιχο μέγεθος επίδρασης για τις κατά ζεύγη πολλαπλές συγκρίσεις προσδιορίστηκε με τον δείκτη Cohen's d (μικρή επίδραση: >0.2 , μεσαία επίδραση: >0.5 , μεγάλη επίδραση: >0.8). Η αξιοπιστία των μετρήσεων για τις εξαρτημένες μεταβλητές καθορίστηκε με τον υπολογισμό του ενδοταξικού δείκτη συσχέτισης (ICC). Όλα τα δεδομένα παρουσιάζονται σε μέσες τιμές \pm τυπικές αποκλίσεις και 95% διαστήματα εμπιστοσύνης (95%CI). Η στατιστική σημαντικότητα ορίστηκε στο $p<0.05$.

Κεφάλαιο IV ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αποτελέσματα πρώτης μελέτης

4.1.1 Χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων της πρώτης μελέτης

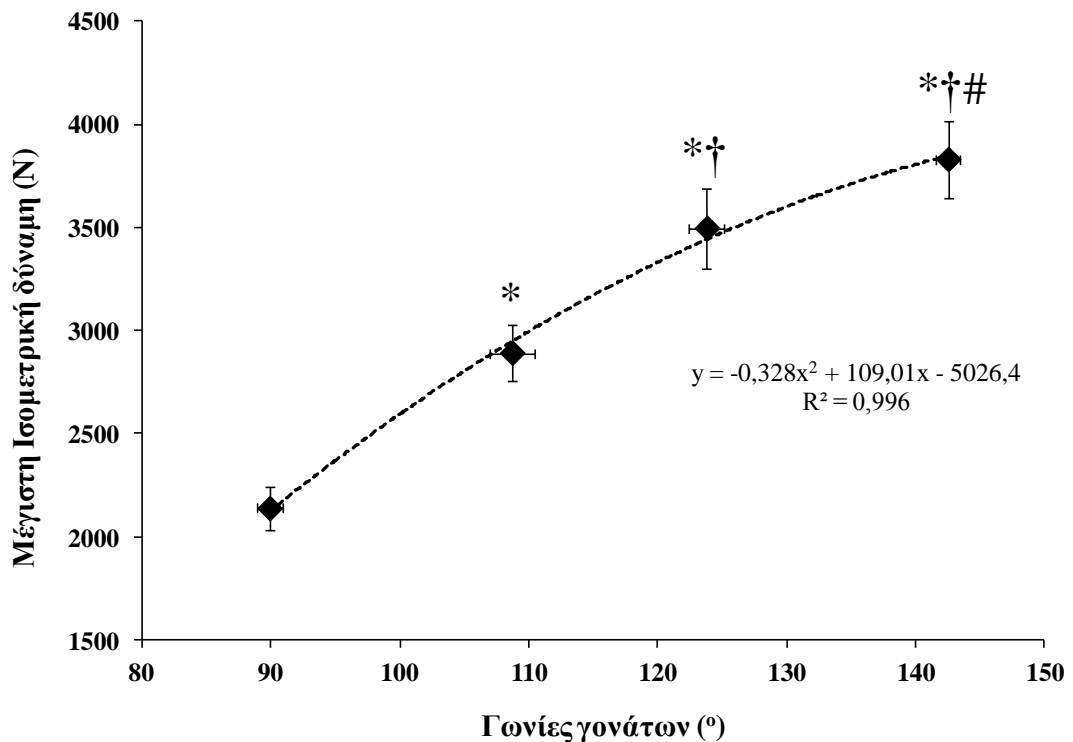
Τα χαρακτηριστικά των αθλητών που έλαβαν μέρος στην πρώτη μελέτη παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων 1ης μελέτης

Σωματομετρικά χαρακτηριστικά	\bar{X}	Range	SD
Ηλικία (έτη)	27.1	18.5-39.2	7.0
Σωματική μάζα (kg)	78.3	67-90.2	7.3
Σωματικό ύψος (m)	1.79	1.67-1.88	0.07
Σωματικό λίπος (%)	10.2	3.4-21.2	5.0

4.1.2 Σχέση μέγιστης ισομετρικής δύναμης-γωνίας κατά την εκτέλεση ισομετρικών καθισμάτων

Η σχέση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και της γωνίας των γονάτων όπως καθορίστηκε από την πρώτη προκαταρκτική επίσκεψη (πilotική μελέτη) παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1. Η μέγιστη ισομετρική δύναμη προσαρμόστηκε με ένα πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού και προβλέφθηκε πολύ υψηλά και θετικά ($R^2=0.996$) από τις τέσσερις διαφορετικές γωνίες. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η γωνία των γονάτων κατά την άσκηση του καθίσματος τόσο αυξάνεται και η μέγιστη ισομετρική δύναμη ($p<0.001$, $\eta^2=0.93$). Για τις πειραματικές συνθήκες επιλέχθηκαν οι δυο ακραίες γωνίες (90° και 140°) διότι η ισομετρική δύναμη που αναπτύσσεται κατά την εκτέλεση καθισμάτων στις 140° είναι σχεδόν διπλάσια από τις 90°.



Σχήμα 4.1. Σχέση μέγιστης ισομετρικής δύναμης και γωνίας κατά την εκτέλεση ισομετρικών καθισμάτων σε τέσσερις διαφορετικές γωνίες. Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε μέσες τιμές ± τυπικά σφάλματα. *: $p < 0.01$ από τις 90ο, †: $p < 0.01$ από τις 110ο, #: $p < 0.05$ από τις 125°.

4.1.3 Χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης και κόπωση

Κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών η μέγιστη ισομετρική δύναμη ($p < 0.001$, $d = -3.68$), η συνολική ώθηση δύναμης ($p < 0.001$, $d = -2.42$) και η μέση δύναμη ($p < 0.001$, $d = -3.23$), ήταν σημαντικά χαμηλότερες όταν η γωνία των γονάτων ήταν 90° σε σχέση με τη συνθήκη όπου η γωνία των γονάτων ήταν 140° (πίνακας 4.1). Η συνολική διάρκεια των ισομετρικών συσπάσεων ήταν ίση για τις δυο πειραματικές συνθήκες. Η μυϊκή κόπωση (σχήμα 4.2) η οποία είχε καθοριστεί από τη δεύτερη προκαταρκτική επίσκεψη ως το ποσοστό πτώσης της δύναμης κατά τη διάρκεια του τεστ κόπωσης των 15 δευτερολέπτων ήταν σημαντικά υψηλότερη όταν η γωνία των γονάτων ήταν 90° σε σύγκριση με τη συνθήκη των 140° (19.2 ± 8.0 έναντι $0.3 \pm 5.7\%$, $p < 0.01$, $d = 2.82$). Επίσης η ανάλυση διασποράς Anova έδειξε ότι η μυϊκή κόπωση εμφανίστηκε στο τεστ των 15 δευτερολέπτων από τα 5.5

δευτερόλεπτα ($p < 0.05$) και συνέχισε να μειώνεται έως το τέλος της αξιολόγησης ($p < 0.01$).

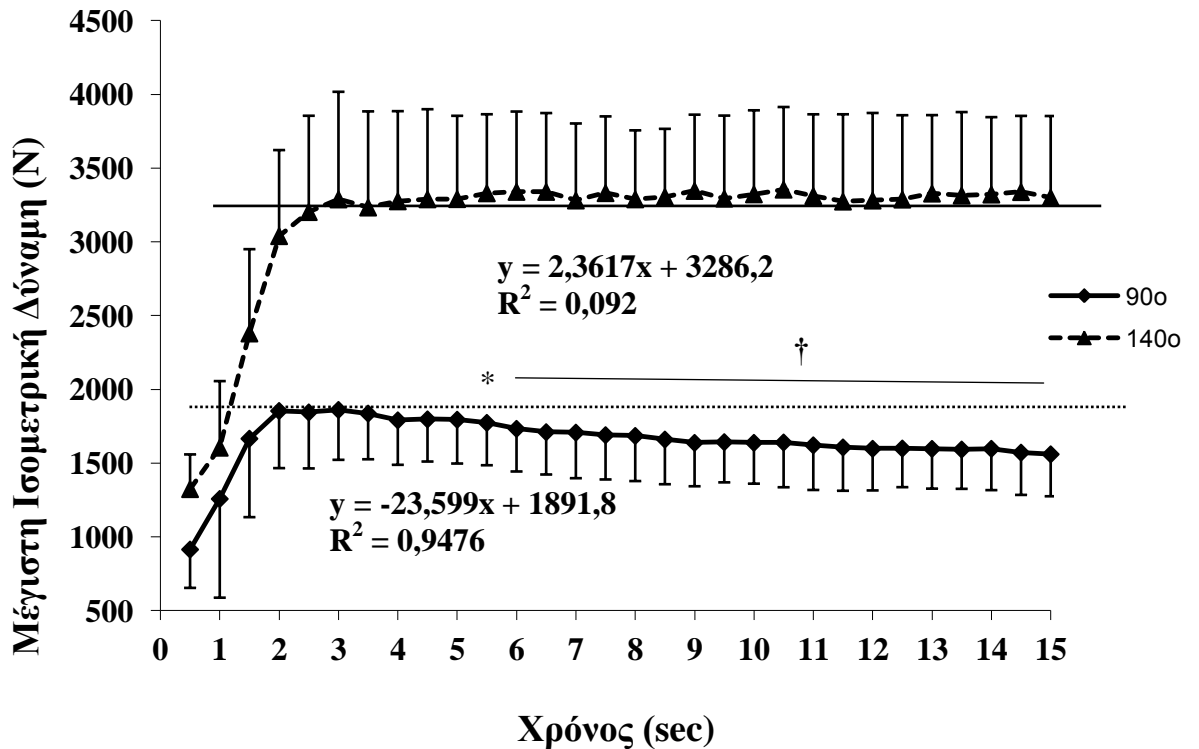
Πίνακας 4.2. Χαρακτηριστικά της άσκησης ενεργοποίησης κατά τη διάρκεια των δυο διαφορετικών συνθηκών 90° ή 140° (μέσες τιμές \pm τυπική απόκλιση)

Μεταβλητές	Γωνία γονάτων κατά την ισομετρική άσκηση (κάθισμα)	
	90°	140°
Μέγιστη ισομετρική δύναμη (N)	$2138 \pm 340^*$	3831 ± 584
Συνολική ώθηση δύναμης (N's)	$17848 \pm 2836^*$	30252 ± 6974
Συνολική διάρκεια (s)	9.9 ± 0.8	10.4 ± 1.2
Μέση δύναμη (N)	$1811 \pm 277^*$	2917 ± 419
Ακριβής γωνία γόνατος ($^\circ$)	$89.9 \pm 3.2^*$	142.5 ± 2.9

*: $p < 0.001$ από τη συνθήκη των 140°

4.1.4 Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών

Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3. Οι αρχικές τιμές (baseline) της αλτικής επίδοσης των δοκιμαζόμενων δεν διέφεραν μεταξύ των συνθηκών (41.2 ± 5.5 , 41.9 ± 4.5 και 41.5 ± 5.1 εκ. για τη συνθήκη ελέγχου, για τη συνθήκη των 90° και 140° αντίστοιχα) ($p = 0.91$). Η ανάλυση διασποράς ANOVA διπλής κατεύθυνσης έδειξε μια σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων ($p = 0.001$, $\eta^2 = 0.21$) καθώς και σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα συνθήκη ($p = 0.003$, $\eta^2 = 0.36$). Οι μετά-ANOVA συγκρίσεις (post hoc comparisons) έδειξαν ότι η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα βελτιώθηκε σε σχέση με την αρχική μέτρηση (baseline) μόνο μετά από 12 λεπτά από τα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο στις 140° κατά $3.8 \pm 1.2\%$ ($p = 0.027$). Δεν διαπιστώθηκε καμία διαφορά μετά την εκτέλεση των ισομετρικών καθισμάτων με γωνία στο γόνατο 90° . Στη συνθήκη ελέγχου παρατηρήθηκε μια μείωση στην επίδοση στο κατακόρυφο άλμα σε όλη τη διάρκεια της αποκατάστασης



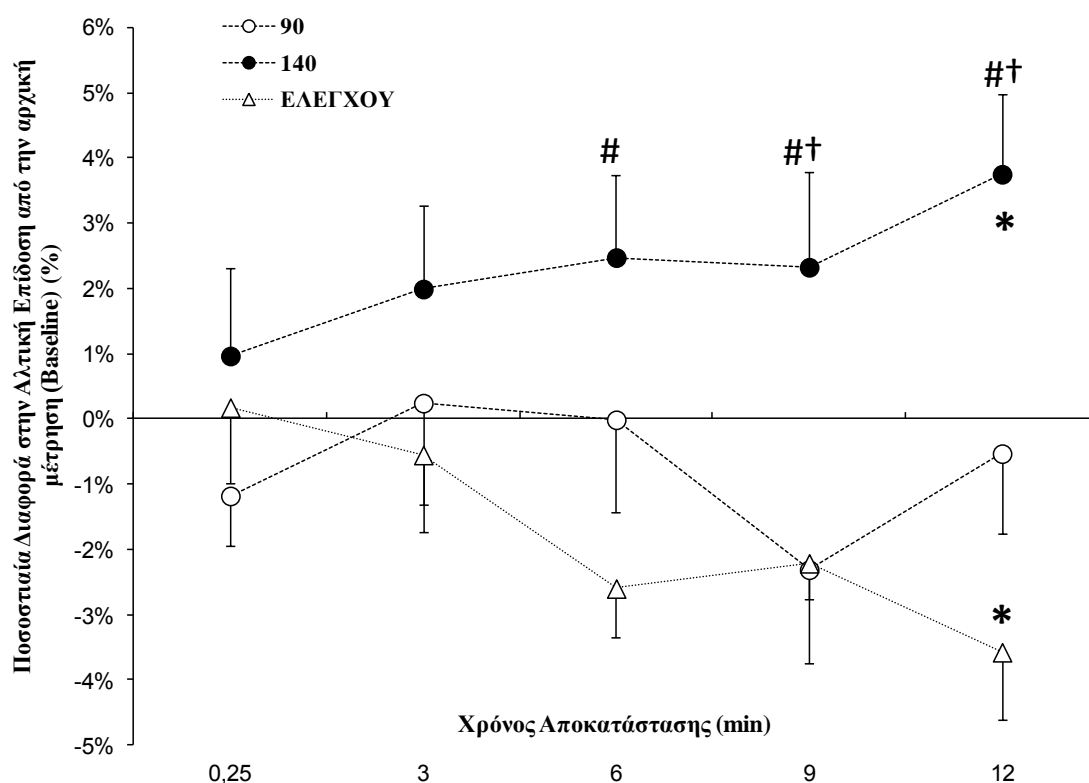
Σχήμα 4.2. Η χρονική πορεία της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά τη διάρκεια αξιολόγησης της μυϊκής κόπωσης (15 sec). Τα δεδομένα παρουσιάζονται σε μέσες τιμές ± τυπικά σφάλματα. *: $p < 0.05$ από τη μέγιστη δύναμη στις 90°, †: $p < 0.01$ από από τη μέγιστη δύναμη στις 90°.

που έφθασε το $-3.6 \pm 1.2\%$ ($p=0.049$) μετά από 12 λεπτά. Επιπροσθέτως, η βελτίωση της αλτικής επίδοσης στη συνθήκη των 140° ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τη συνθήκη ελέγχου στα χρονικά σημεία 6, 9 και 12 λεπτά του χρόνου αποκατάστασης και σε σχέση με τη συνθήκη των 90° στα χρονικά σημεία 9, 12 λεπτά.

4.1.5 Αλλαγές στην επίδοση του κατακόρυφου άλματος σε σχέση με την γωνία των γονάτων και την κατακόρυφη αλτική ικανότητα κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών

Προκειμένου να προσδιοριστεί αν η κατακόρυφη αλτική ικανότητα των δοκιμαζόμενων επηρεάζει το μέγεθος της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης μετά από ισομετρικά καθίσματα στις δυο διαφορετικές πειραματικές γωνίες (90° ή 140°) το

δείγμα χωρίστηκε σε δυο ομάδες (ομάδες: «καλοί άλτες» και «μέτριοι άλτες») με την τεχνική διαχωρισμού του διάμεσου. Η διάμεση τιμή όπου έγινε ο διαχωρισμός αυτός ήταν 42.6 εκ. Αυτό σημαίνει ότι οι «καλοί άλτες» είχαν αρχική επίδοση στο κατακόρυφο άλμα μεγαλύτερη από 42.6 εκ. ενώ οι «μέτριοι άλτες» μικρότερη επίδοση.

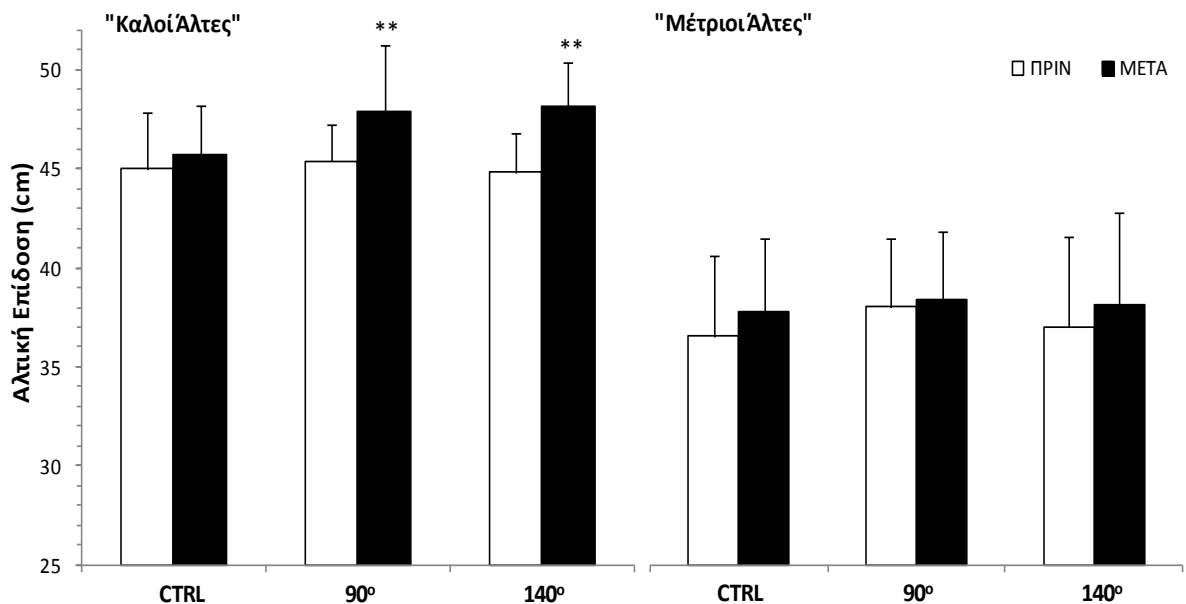


Σχήμα 4.3. Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών. *: $p \leq 0.05$ από την αρχική μέτρηση (baseline), #: $p = 0.01$ από τη συνθήκη ελέγχου, †: $p = 0.01$ από τη συνθήκη των 90°.

Οι αρχικές τιμές των επιδόσεων των «καλών αλτών» (CMJ: 45.1 ± 2.2 εκ.) ήταν σημαντικά υψηλότερες ($p = 0.001$) από εκείνες των «μέτριων αλτών» (CMJ: 37.1 ± 3.9 εκ.). Η ανάλυση διασποράς ANOVA τριπλής κατεύθυνσης (3-way ANOVA) έδειξε μια τριπλή αλληλεπίδραση των παραγόντων (χρόνος x συνθήκη x ομάδα; $p = 0.017$, $\eta^2 = 0.28$) υποδηλώνοντας ότι οι δυο ομάδες ανταποκρίθηκαν διαφορετικά κατά τη διάρκεια των τριών συνθηκών. Οι μετα-ANOVA συγκρίσεις (post hoc

comparisons) έδειξαν ότι η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα βελτιώθηκε σημαντικά μόνο στους «καλούς άλτες» κατά $5.4 \pm 1.4\%$ ($p=0.001$, $d=0.99$) στη συνθήκη των 90° και κατά $7.2 \pm 1.3\%$ ($p=0.001$, $d=1.60$) στη συνθήκη των 140° (σχήμα 4.3).

Η ποσοστιαία βελτίωση της επίδοσης στο κατακόρυφο άλμα ήταν μεγαλύτερη στη συνθήκη των 140° σε σχέση με τη συνθήκη των 90° ($p=0.049$, $d=0.62$). Σε αντίθεση οι «μέτριοι άλτες» δεν παρουσίασαν κάποια βελτίωση στην επίδοση του κατακόρυφου άλματος και στις δυο πειραματικές συνθήκες (γωνίες 90° ή 140°).



Σχήμα 4.3. Σύγκριση της αλτικής επίδοσης πριν (baseline) και μετά από τις πειραματικές συνθήκες και τη συνθήκη ελέγχου. Η αλτική επίδοση κατά τη διάρκεια του χρόνου αποκατάστασης (META) αντιστοιχεί στην καλύτερη επίδοση στο κατακόρυφο άλμα. CTRL: συνθήκη ελέγχου. **: $p < 0.01$ από την αρχική μέτρηση (baseline)

4.2 Αποτελέσματα δεύτερης μελέτης

4.2.1 Χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων της δεύτερης μελέτης

Τα χαρακτηριστικά των αθλητών που έλαβαν μέρος στη δεύτερη μελέτη παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. Χαρακτηριστικό των συμμετεχόντων αθλητών ήταν το χαμηλό ποσοστό του σωματικού λίπους (9.2 ± 1.7), η μεγάλη μέγιστη δύναμη στα καθίσματα (163 ± 29) και η σχετική δύναμη τους η τιμή της οποίας ήταν

2.03 ± 0.34 . Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότεροι δοκιμαζόμενοι σήκωναν στα καθίσματα περισσότερο από δυο φορές το σωματικό τους βάρος. Γεγονός που σημαίνει ότι ήταν αθλητές υψηλού επιπέδου και καλά προπονημένοι .

Πίνακας 4.3. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων^{2ης} μελέτης

Σωματομετρικά χαρακτηριστικά	\bar{X}	SD
Ηλικία (έτη)	22.7	5.5
Σωματική μάζα (kg)	80.7	8.6
Σωματικό ύψος (m)	1.81	0.08
Σωματικό λίπος (%)	9.2	1.7
Μέγιστη δύναμη στο ημικάθισμα (kg)	163	29
Σχετική δύναμη ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	2.03	0.34

4.2.2 Η χρονική πορεία του κατακόρυφου άλματος (CMJ) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών

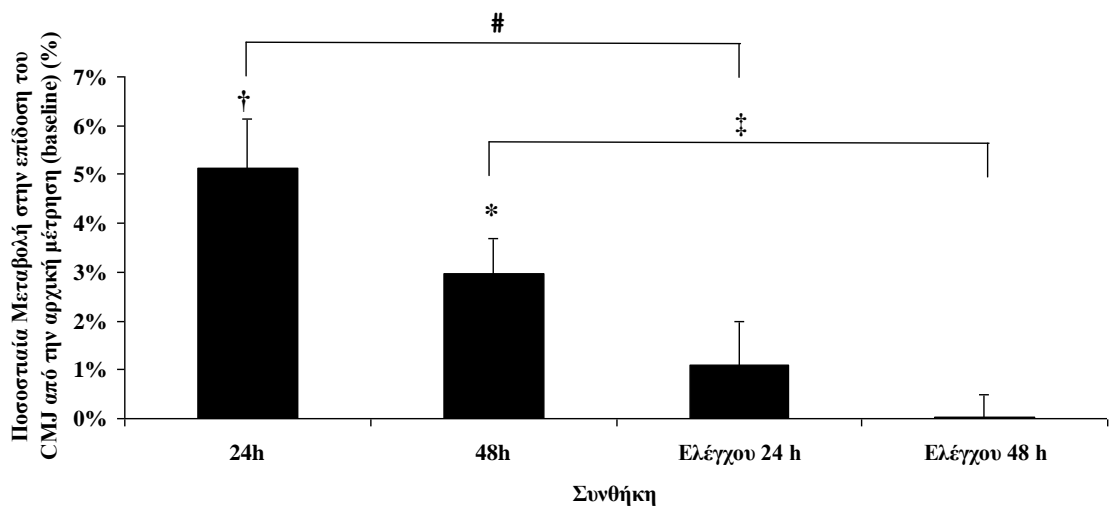
Η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα δεν διέφερε στις αρχικές τιμές (baseline) μεταξύ των τεσσάρων συνθηκών (42.3 ± 3.9 , 41.8 ± 4.4 , 41.3 ± 4.3 και 42.3 ± 4.1 cm, $p=0.65$, για τις συνθήκες ελέγχου και τις πειραματικές αντίστοιχα).

Η ανάλυση διασποράς δυο κατευθύνσεων (2-way ANOVA) έδειξε ότι υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων συνθήκη x χρόνος ($p=0.0002$, $\eta^2=0.34$). Οι μετα-ANOVA συγκρίσεις (Tukey) έδειξαν ότι η επίδοση του κατακόρυφου άλματος (CMJ) ήταν μεγαλύτερη από την αρχική μέτρηση (baseline) κατά $5.1 \pm 1.0\%$ ($+2.1$ cm, 95%CI: 1.3-3.0 cm, $p=0.0001$, $d=0.48$) μετά από 24 ώρες (24h πειραματική), καθώς και μετά από 48 ώρες (48h πειραματική), κατά $3.0 \pm 0.7\%$ ($+1.2$ cm, 95%CI: 0.6-1.8 cm, $p=0.02$, $d=0.31$). Δεν βρέθηκε καμία διαφοροποίηση σε καμία από τις συνθήκες ελέγχου (Σχήμα 4.4).

4.2.3 Η χρονική πορεία του δείκτη δύναμης αντίδρασης(RSI) κατά τη διάρκεια του άλματος βάθους (DJ)

Οι αρχικές τιμές (baseline values) δεν διέφεραν μεταξύ τους (1.82 ± 0.40 , 1.81 ± 0.46 , 1.80 ± 0.42 και 1.86 ± 0.47 m.s⁻¹, $p=0.69$, για τις δυο συνθήκες ελέγχου και τις δυο πειραματικές αντίστοιχα).

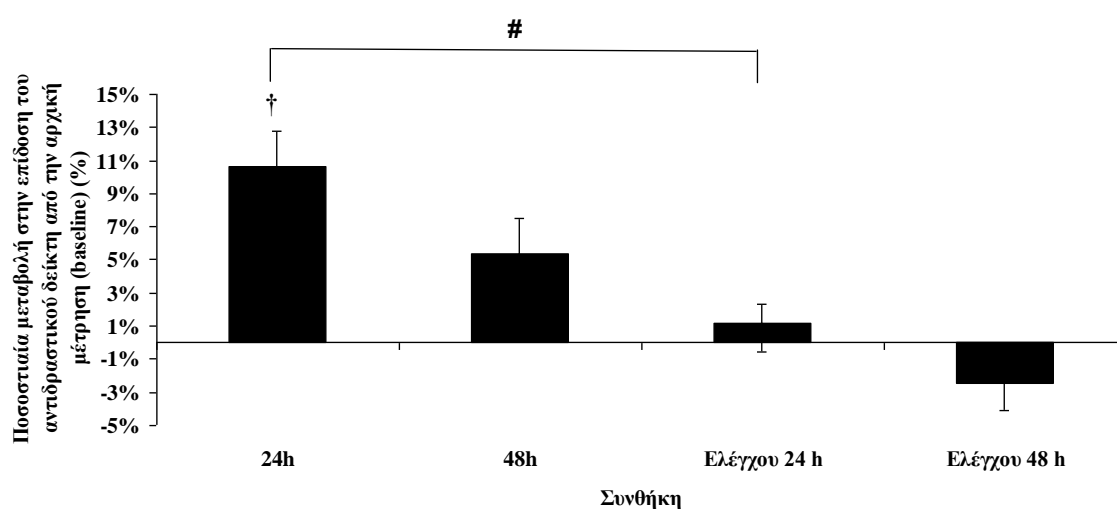
Η ανάλυση διασποράς ANOVA διπλής κατεύθυνσης έδειξε μια αλληλεπίδραση των παραγόντων συνθήκη x χρόνος για τον αντιδραστικό δείκτη του άλματος βάθους ($p=0.0004$, $\eta^2=0.31$). Οι μετα-ANOVA συγκρίσεις έδειξαν ότι ο δείκτης δύναμης αντίδρασης ήταν σημαντικά μεγαλύτερος από την αρχική μέτρηση (baseline) 24 ώρες μετά (24h πειραματική συνθήκη) κατά $10.7 \pm 2.1\%$ ($+0.18$ m·s⁻¹, 95%CI: $0.12-0.24$ m·s⁻¹, $p=0.0003$, $d=0.42$). Ο δείκτης δύναμης αντίδρασης (RSI) κατά τη διάρκεια της πειραματικής συνθήκης των 48 ωρών (48h πειραματική) δεν έδειξε καμία στατιστική διαφορά ($+0.09$ m·s⁻¹, 95%CI: $0.02-0.16$ m·s⁻¹, $p=0.23$, $d=0.20$) (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.4. Η χρονική πορεία της επίδοσης του κατακόρυφου άλματος (CMJ) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών (2^η μελέτη). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε ποσοστά σε σχέση με την αρχική επίδοση (baseline). * και †: $p < 0.05$ και $p < 0.01$, αντίστοιχα από την αρχική τιμή (baseline), #: $p < 0.01$ μεταξύ πειραματικής συνθήκης 24 h και συνθήκης ελέγχου, ‡: $p < 0.05$ μεταξύ πειραματικής συνθήκης 48 h και συνθήκης ελέγχου.

4.2.4 Η χρονική πορεία της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης (RFD)

Οι αρχικές τιμές της μέγιστης ισομετρικής δύναμης και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης στα διαφορετικά χρονικά παράθυρα δεν διέφεραν μεταξύ των πειραματικών συνθηκών (Πίνακας 4.4).



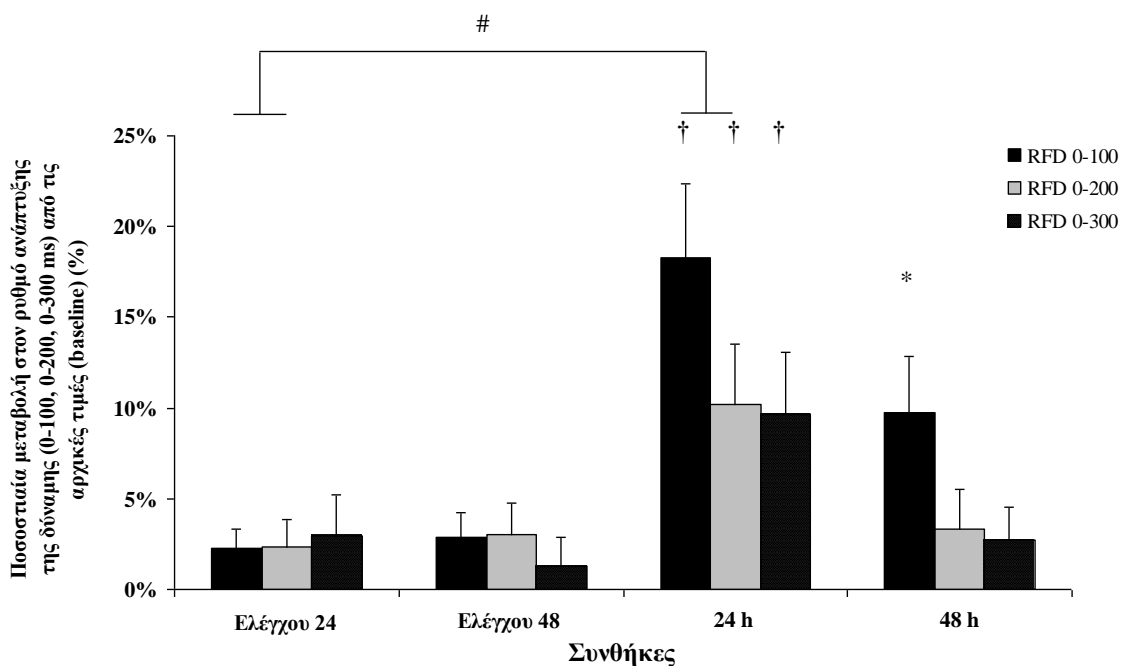
Σχήμα 4.5. Η χρονική πορεία της επίδοσης του δείκτη δύναμης αντίδρασης(RSI) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών (2^η μελέτη). Οι τιμές είναι εκφρασμένες σε ποσοστά σε σχέση με την αρχική επίδοση (baseline). †: $p < 0.01$, σημαντική βελτίωση από την αντίστοιχη αρχική επίδοση (baseline), #: $p < 0.01$ μεταξύ πειραματικής συνθήκης 24 h και συνθήκης ελέγχου.

Η ανάλυση διασποράς ANOVA διπλής κατεύθυνσης δεν έδειξε καμία αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων συνθήκη x χρόνος ($p=0.25$, $\eta^2=0.08$) για τη μέγιστη ισομετρική δύναμη (MIF). Δεν προκλήθηκε καμία μεταβολή στην μέγιστη ισομετρική δύναμη. Ωστόσο βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση (προκλήθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφοροποιήσεις) στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης στα χρονικά παράθυρα RFD0-100 ms ($p=0.0006$, $\eta^2=0.30$), RFD0-200 ms ($p=0.017$, $\eta^2=0.19$) και RFD0-300 ms ($p=0.015$, $\eta^2=0.19$). Οι μετα-ANOVA συγκρίσεις (Tukey) έδειξαν ότι η πειραματική συνθήκη των 24 ωρών (24h) παρουσίασε

σημαντικά υψηλότερες τιμές (σχήμα 4.6.) κατά $18.3 \pm 4.1\%$ για τον RFD0-100 ms ($+1771 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, 95%CI: $1027\text{-}2515 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, $p=0.0001$, $d=0.72$), κατά $10.2 \pm 3.3\%$ για τον RFD0-200 ms ($+754 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, 95%CI: $273\text{-}1236 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, $p=0.0002$, $d=0.30$) και κατά $9.7 \pm 3.4\%$ για τον RFD0-300 ms ($+536 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, 95%CI: $178.6\text{-}893.1 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, $p=0.0004$, $d=0.41$). Η πειραματική συνθήκη των 48 ωρών (48 h) προκάλεσε βελτίωση μόνο στον RFD0-100 ms κατά $9.8 \pm 3.1\%$ (95%CI: $296.7\text{-}1567.1 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, $p=0.021$, $d=0.33$).

Πίνακας 4.4. Αρχικές τιμές (baseline values) της μέγιστης ισομετρικής δύναμης (MIF) και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης (RFD) στα χρονικά παράθυρα 0-100, 0-200, 0-300 ms κατά τη διάρκεια των διαφορετικών πειραματικών συνθηκών (μέσες τιμές \pm τυπική απόκλιση)

	ΕΛΕΓΧΟΥ		24 h	48 h	Σημαντικότητα
	24 h	48 h			
MIF (N)	2655 \pm 610	2682 \pm 592	2649 \pm 594	2704 \pm 634	$p=0.84$
RFD ₀₋₁₀₀ (N·s ⁻¹)	10667 \pm 2107	10811 \pm 2305	10439 \pm 2378	10912 \pm 2580	$p=0.63$
RFD ₀₋₂₀₀ (N·s ⁻¹)	8030 \pm 1493	8060 \pm 1544	7984 \pm 1620	8134 \pm 1566	$p=0.87$
RFD ₀₋₃₀₀ (N·s ⁻¹)	5978 \pm 1198	6067 \pm 1159	5895 \pm 1207	6023 \pm 1424	$p=0.74$



Σχήμα 4.6. Η χρονική πορεία της επίδοσης του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης (RFD) κατά τη διάρκεια των πειραματικών συνθηκών (2^η μελέτη) στα διαφορετικά χρονικά παράθυρα 0-100 ms, 0-200 ms, 0-300 ms. † και *: $p < 0.05$, σημαντική βελτίωση από την αντίστοιχη αρχική επίδοση (baseline), #: $p < 0.01$ μεταξύ πειραματικής συνθήκης 24 h και συνθήκης ελέγχου.

Κεφάλαιο V

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Συζήτηση πρώτης μελέτης

Σκοπός της πρώτης μελέτης ήταν να διερευνήσει την άμεση επίδραση μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων (3 σειρές των 3 δευτερολέπτων) στην άσκηση ημικάθισμα με δυο διαφορετικές γωνίες στο γόνατο (90° ή 140°) στο κατακόρυφο άλμα. Δευτερεύων σκοπός ήταν να εξετάσει αν η κατακόρυφη αλτική ικανότητα μπορεί να επηρεάσει αυτή την επίδραση. Το κύριο εύρημα της πρώτης μελέτης ήταν πως η γωνία στο γόνατο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της άσκησης ενεργοποίησης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την άμεση βελτίωση του κατακόρυφου άλματος. Τα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 140° επέφεραν αύξηση στο κατακόρυφο άλμα 12 λεπτά μετά την εφαρμογή τους σε σχέση με την αρχική επίδοση (baseline) ενώ τα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 90° δεν προκάλεσαν καμία μεταβολή. Ένα άλλο σημαντικό εύρημα της πρώτης μελέτης ήταν ότι οι αθλητές με υψηλότερη αλτική ικανότητα παρουσίασαν μεγαλύτερη βελτίωση και στις δυο γωνίες μετά την άσκηση ενεργοποίησης, ενώ οι αθλητές με χαμηλότερη αλτική επίδοση δεν παρουσίασαν καμία διαφοροποίηση στην επίδοση του κατακόρυφου άλματος.

Το εύρημα ότι μόνο τα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 140° προκάλεσαν αύξηση στην επίδοση του κατακόρυφου άλματος πιθανότατα να οφείλεται σε διαφορές στο μήκος μυός των εκτεινόντων μυών του γόνατος μεταξύ των δυο διαφορετικών γωνιών (90° ή 140°). Όταν η γωνία του γονάτου είναι 90° , οι εκτείνοντες μύες (πχ τετρακέφαλοι μύες) ενεργούν σε μεγάλο μήκος μυός, ενώ όταν η γωνία είναι 140° τότε οι μύες αυτοί ενεργούν σε μικρό μήκος (Lee et al., 2007; Rassier, 2000). Οι επιδράσεις της γωνίας του γονάτου στη ροπή δύναμης, στη μυϊκή ενεργοποίηση και στην κόπωση έχουν εξεταστεί κατά τη διάρκεια μονοαρθρικών ισομετρικών εκτάσεων γόνατος (Babault, Pousson, Michaut, & Van Hoecke, 2003; Bobbert & Harlaar, 1993; Esformes et al., 2011). Σύμφωνα με τη σχέση της γωνίας γονάτου με τη ροπή δύναμης κατά τη διάρκεια ισομετρικών συσπάσεων στην άσκηση έκτασης του γονάτου, η μέγιστη ροπή είναι σχεδόν διπλάσια όταν η γωνία

είναι 90° σε σχέση με τις $140\text{-}150^\circ$ (Bobbert & Harlaar, 1993; Krishnan & Williams, 2014). Πολλές μελέτες που εξέτασαν τη μυϊκή κόπωση κατά τη διάρκεια ισομετρικών συσπάσεων στην άσκηση των εκτάσεων του γόνατος έδειξαν ξεκάθαρα ότι η κόπωση είναι πολύ μεγαλύτερη όταν η γωνία είναι 90° (μεγάλο μήκος μυός) σε σχέση με τις 165° (μικρό μήκος μυός). Αυτό το εύρημα αποδόθηκε από τους ερευνητές σε μεταβολικούς παράγοντες εξαιτίας διαφορών στην αλληλεπίδραση του αριθμού των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης κατά τη διάρκεια της ένωσης της (σύσπαση) με την ακτίνη (Fitch & McComas, 1985; Stuart et al., 1988). Ομοίως, σε μια άλλη μελέτη οι ερευνητές (Rassier, 2000) με τη χρήση ηλεκτρικής διέγερσης (5 δευτερόλεπτα τετανικές συσπάσεις) προκάλεσαν κόπωση σε μεγάλο και μικρό μήκος μυός (90 και 150° αντίστοιχα). Η πτώση της ροπής ήταν μεγαλύτερη στην συνθήκη των 90° (μεγάλο μήκος μυός) με συνέπεια να προκληθεί μεγαλύτερη κόπωση. Αυτή η σχέση γωνίας και κόπωσης που προκύπτει από τη βιβλιογραφία ενισχύθηκε και από τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, καθώς η πτώση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά τη διάρκεια του τεστ κόπωσης των 15 δευτερολέπτων ήταν 19.2% όταν η γωνία του γόνατος ήταν 90° ενώ όταν ήταν 140° δεν υπήρξε σημαντική μεταβολή. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι η συνθήκη των 90° (μεγάλο μήκος μυός) προκάλεσε μεγαλύτερη κόπωση. Επιπροσθέτως υπάρχουν κάποιες μελέτες που απέδειξαν ότι η αύξηση της παραγωγής μυϊκής δύναμης μετά από μια άσκηση ενεργοποίησης εξαρτάται από το μήκος του μυός αλλά με αντίστροφο τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της δύναμης μετά από μια άσκηση ενεργοποίησης είναι μεγαλύτερη όταν το μήκος που λειτουργούν οι μύες είναι μικρό σε σχέση με το μεγάλο μήκος (Place et al., 2005; Smith, Cheng, & Rice, 2011). Οι Smith και συν. (2011) εξέτασαν τις επιδράσεις μιας άσκησης ενεργοποίησης στον τρικέφαλο βραχιόνιο στην ηλεκτρικά προκλητή ροπή, με μικρό ή μεγάλο μήκος μυός (γωνία αγκώνα: 120° και 60°). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η αύξηση της ηλεκτρικά προκλητής ροπής ήταν σχεδόν τριπλάσια όταν το μήκος του τρικέφαλου βραχιονίου ήταν μικρό ($216 \pm 169\%$) σε σχέση με το μεγάλο μήκος ($77 \pm 33\%$). Επίσης οι Place και συν. (2005) παρατήρησαν μια μεγάλη αύξηση της ηλεκτρικά προκλητής ροπής (32%) μετά από ισομετρική άσκηση εκτάσεων γόνατος όταν η γωνία του γόνατου ήταν 145° σε σχέση με τις 105° όπου δεν υπήρξε βελτίωση. Ακόμη οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο μηχανισμός αυτού του

αποτελέσματος βρίσκεται στο επίπεδο του μυός και είναι η φωσφορυλίωση των ελαφρών αλυσίδων μυοσίνης ο οποίος φαίνεται να είναι ο επικρατέστερος μηχανισμός της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Tillin & Bishop, 2009). Το συμπέρασμα αυτό των Place και συν. (2005) ενισχύθηκε και από τους Stuart και συν. (1988) οι οποίοι παρατήρησαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση και ταυτόχρονη αύξηση της φωσφορυλίωσης των ελαφρών αλυσίδων μυοσίνης μετά από μια μέγιστη ισομετρική σύσπαση διάρκειας 10 δευτερολέπτων όταν η άσκηση των εκτάσεων του γόνατος εκτελέστηκε σε μικρό μήκος σε σχέση με το μεγάλο μήκος μυών. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φαίνεται να εξηγούνται από την αλληλεπίδραση μεταξύ μυϊκής ενεργοποίησης και κόπωσης. Κατά τη διάρκεια της συνθήκης των 90° (μεγάλο μήκος μυός) η κόπωση φαίνεται να ξεπέρασε την ενεργοποίηση (PAP) με συνέπεια να μην προκληθεί άμεση βελτίωση στην επίδοση του κατακόρυφου άλματος. Σε αντίθεση η άμεση βελτίωση της επίδοσης του κατακόρυφου άλματος μετά από τα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο στις 140° πιθανότατα πραγματοποιήθηκε επειδή προκλήθηκε μεγαλύτερη μυϊκή ενεργοποίηση και ταυτόχρονα η κόπωση ήταν ελάχιστη. Η μικρότερη ή και ανύπαρκτη κόπωση αποδείχθηκε και από το τεστ της κόπωσης κατά τη διάρκεια των προκαταρκτικών μετρήσεων.

Αναφορικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης και κόπωσης, παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν και οι Crewther και συν. (2011) οι οποίοι βρήκαν μια αύξηση της επίδοσης του κατακόρυφου άλματος (CMJ) κατά 3-4% μετά από 4, 8 και 12 λεπτά αποκατάστασης. Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε παρόμοια βελτίωση της αλτικής επίδοσης 12 λεπτά μετά την άσκηση ενεργοποίησης κατά 3.8%. Η άσκηση ενεργοποίησης στη μελέτη των Crewther και συν. (2011) ήταν το παράλληλο κάθισμα με ένταση τις 3 ME (90-93% της 1 ME). Ακόμη η πιθανή επικράτηση της κόπωσης μετά την άσκηση ενεργοποίησης με γωνία στο γόνατο 90° μπορεί να είναι ο κύριος λόγος της έλλειψης ενεργοποίησης, στην παρούσα μελέτη, καθώς παρόμοια πρωτόκολλα ασκήσεων ενεργοποίησης με ίδια χαρακτηριστικά (ίδια γωνία - 90°) δεν κατάφεραν να προκαλέσουν άμεση βελτίωση της επίδοσης (French et al., 2003; Lim & Kong, 2013; Till & Cooke, 2009). Σε αντίθεση μελέτες όπου χρησιμοποιήθηκε ως άσκηση ενεργοποίησης η ισομετρική σύσπαση σε μεγάλες γωνίες (πχ 140° ή μικρό μήκος μυός) οι βελτιώσεις ήταν παρόμοιες με την

παρούσα μελέτη (Esformes et al., 2011). Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα μέγιστα ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 140° είναι πιο αποδοτικά από τα ισομετρικά καθίσματα με γωνία 90° . Στη βιβλιογραφία έχουν γίνει δυο μελέτες που εξέτασαν τη γωνία της άρθρωσης (μήκος μυός) στην πρόκληση του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης χρησιμοποιώντας όμως, ως ασκήσεις ενεργοποίησης δυναμικές και όχι ισομετρικές συσπάσεις. Σε μια μελέτη των Mangus και Takahasi (2006) δεν υπήρξε καμιά μεταβολή στην αλτική επίδοση (CMJ) μετά από καθίσματα σε διαφορετικές γωνίες με ένταση στο 90% της 1 ME. Ωστόσο οι ερευνητές παρατήρησαν ότι πέντε δοκιμαζόμενοι βελτίωσαν το CMJ μετά και από τις δύο συνθήκες, χωρίς όμως να δίνουν εξήγηση για τα ευρήματά τους. Στη δεύτερη μελέτη (Esformes & Bampouras, 2013) εξετάστηκε η επίδραση του παράλληλου καθίσματος (γωνία γόνατος: $60-70^\circ$) και του ημικαθίσματος (γωνία γόνατος: 135°) στην αλτική επίδοση πέντε λεπτά μετά την εφαρμογή τους (1 σειρά των 3 ME). Προκλήθηκε ενεργοποίηση (βελτίωση της αλτικής επίδοσης) και στις δύο συνθήκες αλλά το παράλληλο κάθισμα (μεγάλο μήκος μυός) προκάλεσε ελαφρώς μεγαλύτερη βελτίωση. Οι συγγραφείς απέδωσαν το εύρημα αυτό στην αυξημένη ενεργοποίηση του μείζονος γλουτιαίου μυός και στην παραγωγή μεγαλύτερου έργου εξαιτίας της μεγαλύτερης διάρκειας της άσκησης ενεργοποίησης και της κατακόρυφης μετατόπισης σε κάθε επανάληψη. Στην παρούσα μελέτη ο χρόνος σύσπασης ήταν ίδιος και για τις δύο συνθήκες με συνέπεια να περιορίζεται αυτός ο παράγοντας και να είναι πιο άμεση η σύγκριση των δύο γωνιών (μήκος μυός). Πιθανότατα κατά τη διάρκεια βαθύτερων καθισμάτων κατά τη διάρκεια δυναμικών συσπάσεων η πρόκληση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης να είναι μεγαλύτερη εξαιτίας του μεγαλύτερου παραγόμενου έργου το οποίο ενεργοποιεί περισσότερο τους αγωνιστές μύες. Σε αντίθεση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδηλώνουν ότι κατά τη διάρκεια ισομετρικών συσπάσεων τα καθίσματα με μεγάλες γωνίες (140°) είναι πιο αποδοτικά εξαιτίας της επίδρασης του μήκους του μυός στην αλληλεπίδραση μεταξύ κόπωσης και ενεργοποίησης. Ωστόσο το κοινό σημείο στις δυο μελέτες φαίνεται να είναι το συνολικό έργο το οποίο φαίνεται να αυξάνει την ενεργοποίηση. Στη μελέτη των Esformes και συν. (2013) τα παράλληλα καθίσματα διήρκησαν περισσότερο αυξάνοντας το ολοκλήρωμα της δύναμης σε σχέση με το χρόνο (ώθηση δύναμης). Στην παρούσα μελέτη η συνολική ώθηση δύναμης ήταν μεγαλύτερη στη συνθήκη

των 140° εξαιτίας της μεγαλύτερης παραγόμενης δύναμης καθώς ο συνολικός χρόνος ήταν ίδιος για τις δυο συνθήκες (Πίνακας 4.1). Συνεπώς μια πιθανή εξήγηση της έλλειψης ενεργοποίησης στη συνθήκη των 90° (μικρό μήκος μυός) στην παρούσα μελέτη είναι η μικρή ώθηση δύναμης που προκλήθηκε. Ίσως να απαιτείται ένα συγκεκριμένο ποσό ώθησης δύναμης προκειμένου να προκληθεί μεταδιεγερτική ενεργοποίηση. Αυτή η υπόθεση στηρίζεται και από μια πρόσφατη μελέτη στην οποία διαπιστώθηκε ότι απαιτείται ένα ελάχιστο έργο (750-900 J) για να επιτευχθεί η πρόκληση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης (Seitz, Trajano, Dal Maso, Haff, & Blazevich, 2015).

Όταν οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε «καλούς» και «μέτριους» άλτες με βάση την αρχική αλτική τους επίδοση, ήταν εμφανές από τα αποτελέσματα ότι η επίδραση της άσκησης ενεργοποίησης προκάλεσε σημαντική βελτίωση της αλτικής επίδοσης και στις δύο συνθήκες μόνο για τους «καλούς» άλτες. Η βελτίωση ήταν μεγαλύτερη στη συνθήκη των 140°. Η βελτίωση του κατακόρυφου άλματος (CMJ) μόνο στην ομάδα των «καλών» αλτών είναι πιθανόν να οφείλεται στην κατανομή του τύπου των μυϊκών ινών καθώς η επίδοση στο κατακόρυφο άλμα έχει συσχετιστεί θετικά με υψηλό ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II (ταχείας σύσπασης) (Bosco & Komi, 1979; Häkkinen et al., 1985). Αυτή η υπόθεση ενισχύεται και από τα αποτελέσματα της μελέτης των Miyamoto και συν. (2010) οι οποίοι ανέφεραν ότι οι μύες που καταλαμβάνονται από μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης προκαλούν μεγαλύτερη ενεργοποίηση σε μικρό μήκος μυός, ωστόσο η μυϊκή απόδοση μπορεί ακόμη να αυξηθεί σε μικρότερο βαθμό και σε μεγαλύτερο μήκος μυών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα οι δοκιμαζόμενοι με υψηλότερη αλτική επίδοση οι οποίοι έχουν μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II (Bosco & Komi, 1979; Häkkinen et al., 1985) θα επιτυγχάνουν μεγαλύτερη φωσφορυλίωση των ελαφρών αλυσίδων μυοσίνης μετά την άσκηση ενεργοποίησης (Hamada et al., 2000; Hamada et al., 2000; Moore, Houston, Iwamoto, & Stull, 1985). Επίσης αυτοί οι δοκιμαζόμενοι πιθανώς να έχουν μεγαλύτερο αριθμό κινητικών μονάδων με υψηλό επίπεδο διεγερσιμότητας οι οποίες θα ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια της άσκησης που ακολουθεί την άσκηση ενεργοποίησης (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Tillin & Bishop, 2009). Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν με αρκετές μελέτες (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Hamada et al., 2000; Hamada, et al., 2000) αλλά η παρούσα

μελέτη είναι η πρώτη που δείχνει ότι η άμεση αύξηση της επίδοσης στο κατακόρυφο άλμα εξαρτάται από τη γωνία του γόνατος κατά τη διάρκεια ισομετρικών καθισμάτων και από την αρχική αλτική επίδοση των δοκιμαζόμενων. Από μια προσεκτική παρατήρηση των δεδομένων προηγούμενων μελετών ενισχύεται το συμπέρασμα ότι το κατακόρυφο άλμα βελτιώνεται κυρίως σε δοκιμαζόμενους με υψηλή αλτική επίδοση (Chiu et al., 2003; Crewther et al., 2011). Για παράδειγμα στη μελέτη των Crewther και συν (2011) η αύξηση της αλτικής επίδοσης μετά από παράλληλα καθίσματα με ένταση τις 3 ME παρατηρήθηκε σε δοκιμαζόμενους οι οποίοι παρουσίασαν αρχική αλτική επίδοση 47.5 cm. Επίσης στη μελέτη των Chiu και συν. (2003) η επίδοση στο ύψος άλματος των καθισμάτων με αναπήδηση μετά από 5 σειρές μονών επαναλήψεων στο 90% της 1 ME αυξήθηκε μόνο σε δοκιμαζόμενους αθλητές ενώ δεν παρουσίασε κάποια μεταβολή σε φυσικώς δραστήριους δοκιμαζόμενους. Σε αντίθεση οι Batista και συν. (2011) δεν βρήκαν διαφορές μετά από μια ή τρεις μέγιστες ισομετρικές συσπάσεις διάρκειας 5 δευτερολέπτων στην επερχόμενη αλτική επίδοση σε δοκιμαζόμενους με διαφορετικό επίπεδο μυϊκής δύναμης. Ωστόσο η αλτική επίδοση των δοκιμαζόμενων και των τριών ομάδων εκείνης της μελέτης ήταν κάτω από τη διάμεση τιμή της επίδοσης των δοκιμαζόμενων της παρούσας μελέτης (42.6 cm) η οποία διαχώρισε το δείγμα σε «καλούς» και «μέτριους» άλτες. Αυτό πιθανότατα να εξηγεί την έλλειψη πρόκλησης της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης στη μελέτη των Batista και συν. (2011). Επίσης η γωνία του γόνατου σε αυτή τη μελέτη κατά τη διάρκεια των πιέσεων ποδιών (leg press) ήταν 80-90° κάτι που σημαίνει ότι αυτός πιθανότατα να ήταν ο λόγος που δεν προκλήθηκε μεταδιεγερτική ενεργοποίηση. Από αυτές τις παρατηρήσεις στη βιβλιογραφία και τα δεδομένα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη προκύπτει ότι η γωνία στο γόνατο (μήκος μυός) και η αλτική επίδοση είναι σημαντικοί παράγοντες για την πρόκληση της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης.

5.2 Συζήτηση δεύτερης μελέτης

Σκοπός της δεύτερης μελέτης ήταν να διερευνηθούν οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις μιας προπόνησης με αντιστάσεις μυϊκής ισχύος χαμηλού όγκου στη νευρομυϊκή απόδοση 24 και 48 ώρες μετά. Το κύριο εύρημα της μελέτης ήταν ότι η εφαρμογή

του πρωτοκόλλου (5 σειρές των 4 επαναλήψεων ημικάθισμα με αναπήδηση με το 40% της μέγιστης δύναμης) χαμηλού όγκου με εκρηκτική εκτέλεση επέφερε αύξηση στο CMJ κατά 5% και 3% μετά από 24 (24h) και 48 ώρες (48h) αντίστοιχα. Επίσης το πρωτόκολλο βελτίωσε σε μεγαλύτερο βαθμό τον αντιδραστικό δείκτη RSI και τον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης μετά από 24 ώρες συγκριτικά με τη συνθήκη των 48h ενώ η μέγιστη ισομετρική δύναμη δεν μεταβλήθηκε και στις δυο συνθήκες.

Η μελέτη αυτή έδειξε πως μια προπονητική συνεδρία βελτίωσης της μυϊκής ισχύος με χαμηλό όγκο προκαλεί σημαντικές βελτιώσεις στην εκρηκτική νευρομυϊκή απόδοση για 1-2, η οποία μοιάζει με «άμεσο φορμάρισμα». Λίγες μελέτες οι οποίες εξέτασαν την αποκατάσταση της νευρομυϊκής απόδοσης μετά από μια συνεδρία προπόνησης αντιστάσεων έδειξαν ότι μπορεί να υπάρξει μια βελτίωση της εκρηκτικής απόδοσης στις επόμενες 6-48 ώρες αν η κόπωση που προκαλεί η άσκηση αντιστάσεων είναι ελάχιστη (Chen et al., 2011; Cook et al., 2013; Ekstrand, Battaglini, McMurray, & Shields, 2013; González-Badillo et al., 2016; McCaulley et al., 2009; Raastad & Hallén, 2000). Για παράδειγμα μια πρωινή προπονητική συνεδρία με αντιστάσεις προκάλεσε μια μικρή βελτίωση (1.3-2.7%) στην εκρηκτική απόδοση 6 ώρες αργότερα (Cook et al., 2013; Ekstrand et al., 2013). Επίσης οι Raastad και Hallén (2000) συνέκριναν τη νευρομυϊκή κόπωση και αποκατάσταση μετά από ένα πρωτόκολλο με μεγάλη αντίσταση σε σχέση με ένα πρωτόκολλο με μεσαία ένταση. Το πρωτόκολλο με τη μεγάλη αντίσταση περιελάμβανε 3 σειρές των 3 επαναλήψεων στο 100% των 3 ΜΕ στις ασκήσεις μπροστινό και πίσω βαθύ κάθισμα καθώς και 3 σειρές των 6 επαναλήψεων στο 100% των 6 ΜΕ στην άσκηση εκτάσεις γόνατος. Σε αντίθεση, στο άλλο πρωτόκολλο η ένταση ήταν μεσαία και περιελάμβανε τις ίδιες ασκήσεις με το 70% της έντασης του πρώτου πρωτοκόλλου. Το άλμα από θέση ημικάθισματος (squat jump) μειώθηκε κατά 12% ($p < 0.01$) 15 λεπτά μετά το πρωτόκολλο μεγάλης έντασης και η απόδοση παρέμεινε σημαντικά χαμηλότερη για 22 ώρες μετά. Σε αντίθεση, μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου με τη μεσαία ένταση, το ύψος του άλματος δεν μεταβλήθηκε 15 λεπτά μετά ενώ ήταν 5% υψηλότερο σε σχέση με την αρχική μέτρηση (baseline) από 22 έως 33 ώρες μετά. Αυτή η βελτίωση είναι παρόμοια με αυτή τη βελτίωση που παρατηρήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Η βελτίωση της εκρηκτικής νευρομυϊκής απόδοσης και η σταθεροποίηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης μπορεί να επηρεάζεται από την αρχή της εξειδίκευσης αναφορικά με την ταχύτητα κίνησης. Οι Behm και Sale (1993) σε ένα άρθρο ανασκόπησης της βιβλιογραφίας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η προπόνηση αντιστάσεων σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα κίνησης προκαλεί ωφέλιμες προσαρμογές και βελτιώσεις σε παρόμοιες ταχύτητες κίνησης ενώ τα οφέλη φαίνεται να μειώνονται όταν η ταχύτητα κίνησης της άσκησης αξιολόγησης διαφέρει σημαντικά από την ταχύτητα της άσκησης αντιστάσεων. Στην παρούσα μελέτη η ταχύτητα κίνησης των ημικαθισμάτων με αναπήδηση (βαλλιστική άσκηση) δεν διέφερε πολύ από τις ασκήσεις αξιολόγησης όπως το CMJ και το DJ. Έτσι πιθανότατα μπορεί να υπήρξε βελτίωση εξαιτίας της αρχής της εξειδίκευσης αναφορικά με την ταχύτητα κίνησης. Είναι ακόμη πιθανό ότι αυτά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης να εξηγούνται από νευρικούς μηχανισμούς καθώς οι βαλλιστικές ασκήσεις προκαλούν υψηλή συχνότητα πυροδότησης των κινητικών μονάδων η οποία φαίνεται να είναι ο πιο πιθανός μηχανισμός της αρχής της εξειδίκευσης που συνδέεται με την ταχύτητα κίνησης (Behm & Sale, 1993). Επιπλέον οι Crewther, Cronin και Keogh (2005) σε μια ανασκόπηση βιβλιογραφίας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι βαλλιστικές κινήσεις δεν έχουν επίδραση στη μέγιστη δύναμη και οι πιθανές βελτιώσεις μετά την εφαρμογή τους περιορίζονται στη βελτίωση της μυϊκής ισχύος εξαιτίας της κινητικής και κινηματικής ομοιότητας (Cronin et al., 2001; Newton, Kraemer, Hakkinen, Humphries, & Murphy, 1996). Η εξειδίκευση μπορεί επίσης να ευθύνεται για τη βελτίωση του δείκτη δύναμης αντίδρασης (RSI) 24 ώρες μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου της παρούσας μελέτης.

Επιπροσθέτως, οι βαλλιστικές ασκήσεις φαίνεται να προκαλούν μεγαλύτερη μυϊκή ενεργοποίηση και έχουν εξειδικευμένη επίδραση στους μύες εξαιτίας της κινητικής και κινηματικής ομοιότητας (Cronin et al., 2001; Newton et al., 1996). Οι Newton και συν. (1996) βρήκαν μεγαλύτερη μυϊκή ενεργοποίηση μετά από βαλλιστικές ασκήσεις συγκριτικά με ασκήσεις αντιστάσεων (μη-βαλλιστικές) κατά τη διάρκεια της μειομετρικής φάσης της αξιολογούμενης άσκησης (πίεσεις στήθους και ρίψεις μπάρας από ύπτια κατάκλιση σε πάγκο). Η μπάρα στη βαλλιστική άσκηση επιταχύνθηκε από τους δοκιμαζομένους σχεδόν σε όλο το εύρος κίνησης (96% του

εύρους κίνησης) ενώ στην παραδοσιακή άσκηση αντιστάσεων η μπάρα επιταχύνθηκε μόλις μέχρι το 60% του εύρους κίνησης. Οι μύες βρίσκονταν σε ένταση (tension) για 430 ms στη βαλλιστική άσκηση και μόλις για 370 ms στην παραδοσιακή άσκηση. Ακόμη η βαλλιστική άσκηση παράγαγε 70% περισσότερη μέση ισχύ και 19-44% μεγαλύτερη μυϊκή ενεργοποίηση. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα άλματα με αναπήδηση που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη πιθανόν να προκάλεσαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση των αγωνιστών μυών σύμφωνα με την αρχή της εξειδίκευσης ενώ ταυτόχρονα δεν προκλήθηκε καθόλου κόπωση. Μια άλλη αιτία της βελτίωσης της εκρηκτικής νευρομυϊκής απόδοσης ίσως να είναι η αύξηση της μηχανικής σκληρότητας. Η μηχανική σκληρότητα διακρίνεται στην κατακόρυφη σκληρότητα, στη σκληρότητα του ποδιού ή της άρθρωσης που ενεργεί σε μια κίνηση. Η μηχανική σκληρότητα έχει οριστεί ως η αντίσταση στην παραμόρφωση (αλλαγή στο μήκος) ορισμένου τμήματος του σώματος, μιας άρθρωσης ή ενός συνόλου αρθρώσεων (Brughelli & Cronin, 2008). Κάποιες μελέτες έχουν δείξει μια αύξηση στη μηχανική σκληρότητα αμέσως μετά από μια συνεδρία προπόνησης με αντιστάσεις και μετά από μια μικρή προπονητική περίοδο βελτίωσης της δύναμης και της ισχύος. Οι Comyns, Harrison, Hennesy, και Jensen (2007) παρατήρησαν μια αύξηση της σκληρότητας του κάτω άκρου κατά 10.9% 4 λεπτά μετά την εκτέλεση 1 σειράς καθισμάτων των 3 επαναλήψεων στο 93% της 1 ΜΕ. Επίσης οι Cornu, Almeida και Goubel (1997) βρήκαν ότι μετά από 7 εβδομάδες πλειομετρικής προπόνησης αυξήθηκε η μυοσκελετική σκληρότητα κατά 58.4%. Ακόμη οι Toumi, Best, Martin, και Poumarat (2004) ανέφεραν ότι ο συνδυασμός πλειομετρικής προπόνησης και προπόνησης αντιστάσεων για 6 εβδομάδες βελτίωσε τη σκληρότητα της άρθρωσης του γόνατος κατά 8.2% και το CMJ κατά 13.2%. Η μηχανική σκληρότητα έχει ακόμη συσχετιστεί με την επίδοση στο κατακόρυφο άλμα και τον ρυθμό ανάπτυξης της ροπής (Bojsen-Møller, Magnusson, Rasmussen, Kjaer, & Aagaard, 2005) οι οποίες είναι οι ίδιες εξαρτημένες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Από τα συμπεράσματα των προηγούμενων μελετών μπορούμε να υποθέσουμε ότι το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη ίσως να βελτίωσε τη μηχανική σκληρότητα των κάτω άκρων.

Μια παράμετρος που ενδέχεται να βελτιώσει τη νευρομυϊκή απόδοση είναι μια πιθανή θετική ανταπόκριση των δοκιμαζόμενων στην αυξημένη τεστοστερόνη μετά την άσκηση ενεργοποίησης. Η τεστοστερόνη είναι μια στεροειδής (ανδρογόνος) ορμόνη η οποία αρχικά συντίθεται και εκκρίνεται από τα κύτταρα του Leydig (όρχεις) μέσω του άξονα υποθάλαμος-υπόφυση-γονάδες και έχει αναβολική δράση (Vingren, Kraemer, Ratamess, Amderson, Volek, & Maresh, 2010). Οι άμεσες και βραχυπρόθεσμες αποκρίσεις της τεστοστερόνης μετά από μια προπόνηση με αντιστάσεις σε άνδρες εξαρτώνται από τον προπονητικό στόχο (Hakkinen & Pakarinen, 1993; Volek et al., 1997), τον αριθμό των σειρών (Ratamess, Kraemer, Volek, Maresh, VanHeest, Sharman, Rubin, French, Vesconi, Silvestre, Hatfield, Fleck, & Deschenes, 2004), τη διάρκεια του διαλείμματος (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, Kraemer, & Hakkinen, 2005), την επιλογή της άσκησης (McCaulley et al., 2009; Crewther, Cronin, Keogh, & Cook, 2008; Ratamess et al., 2004; Kraemer, Clemson, Triplett, Bush, Newton, & Lynch, 1996), την ηλικία (Smilios, Pilianidis, Karamouzi, Parlavantzas, & Tokmakidis, 2007) και το προπονητικό επίπεδο (Cadore, Lhullier, Bretano, DaSilva, Ambrosini, Spinelli, Silva, & Kruei, 2008). Η τεστοστερόνη έχει βρεθεί να έχει θετική σχέση με την αθλητική απόδοση (Crewther, Lowe, Weatherby, Gill & Keigh, 2009). Ωστόσο άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι η απόκριση της τεστοστερόνης είναι ελάχιστη μετά από πρωτόκολλα βελτίωσης της μυϊκής ισχύος με μικρή ένταση (McCaulley et al., 2009). Οι McCaulley και συν. (2009) ανέφεραν ότι η απόκριση της τεστοστερόνης από τους δοκιμαζόμενους ήταν σχεδόν ανύπαρκτη μετά από μια προπονητική συνεδρία για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος. Όμως, τα καθίσματα με αναπηδήσεις που χρησιμοποίησαν οι ερευνητές ήταν χωρίς εξωτερική επιβάρυνση (8 σειρές των 6 επαναλήψεων στο 0% της 1 ME). Σε αντίθεση, στην παρούσα μελέτη οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 5 σειρές των 4 επαναλήψεων στο 40% της 1 ME. Μελέτες έχουν δείξει ότι πρωτόκολλα ισχύος με ένταση μεταξύ του 30-50% της 1 ME προκαλούν θετικές ανταποκρίσεις στην τεστοστερόνη (Crewther, Keogh, Cronin & Cook, 2006; Volek et al., 1997). Για παράδειγμα οι Volek και συν. (1997) εξέτασαν την επίδραση μιας προπονητικής συνεδρίας ισχύος με αντιστάσεις στην ανταπόκριση της τεστοστερόνης χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο με 5 σειρές των 10 επαναλήψεων στο 30 % της 1 ME και ένα πρωτόκολλο υπερτροφίας με 5 σειρές των 10 επαναλήψεων στις 10 ME.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τεστοστερόνη αυξήθηκε κατά 15.1% μετά το πρωτόκολλο με αντιστάσεις ισχύος σε σύγκριση με τις αρχικές τιμές (baseline) και κατά 7.4% μετά το πρωτόκολλο υπερτροφίας. Επιπροσθέτως, οι στεροειδείς ορμόνες όπως η τεστοστερόνη έχουν ονομαστεί ως «νευροενεργές» επειδή προκαλούν νευρική διέγερση μέσω της ρύθμισης της δραστηριότητας των υποδοχέων των νευροδιαβιβαστών και των καναλιών των ιόντων (Aloisi & Bonifazi, 2006; Kawata, 1995; Rupprecht, di Michele, Hermann, Strohle, Lancel, Romeo, & Holsboer, 2001). Συνεπώς μπορούμε να υποθέσουμε ότι κάποιος νευρικός μηχανισμός προκλήθηκε μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου της παρούσας μελέτης εξαιτίας της αύξησης της τεστοστερόνης.

Η αύξηση της εκρηκτικής δύναμης των αθλητών ενδέχεται να οφείλεται και στην αύξηση της δραστηριότητας του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Το αυτόνομο νευρικό σύστημα διακρίνεται στο συμπαθητικό και στο παρασυμπαθητικό. Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη δράση του αυτόνομου παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος είναι η μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών (HRV) (Sotiriou & Kouidi, 2009). Η μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών μετριέται με ανάλυση της συχνότητας των καρδιακών παλμών χρησιμοποιώντας ηλεκτροκαρδιογράφημα ή απλό παλμογράφο (Flat & Esco, 2015). Η καταγραφή των συχνοτήτων πραγματοποιείται από 1 λεπτό έως 24 ώρες (Nakamura, Flatt, Pereira, Ramirez-Campillo, Loturco, & Esco, 2015; Sotiriou & Kouidi, 2009). Οι κυριότεροι δείκτες που προκύπτουν από την ανάλυση της μεταβλητότητας των καρδιακών παλμών και αντιπροσωπεύουν τη δράση του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος είναι ο SDNN, ο οποίος ισούται με την τυπική αποκλιση των RR (επάρματα) διαστημάτων και ο HF (high frequency), ο οποίος είναι ένας δείκτης υψηλών συχνοτήτων (Nakamura, Pereira, Rabelo, Flatt, Esco, Bertollo, Loturco, 2016). Οι μετρήσεις αυτές έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον ερευνητών καθώς αλλαγές των δεικτών σχετίζονται με αλλαγές στον αυτόνομο νευρικό έλεγχο της καρδιακής συχνότητας και της αθλητικής απόδοσης. Έχει βρεθεί μια θετική σχέση μεταξύ της αυξημένης παρασυμπαθητικής λειτουργίας και της βελτιωμένης αερόβιας ικανότητας μετά από προπόνηση 28 εβδομάδων (Hedelin, Bjerle, & Henriksson-Larsen, 2001). Επιπροσθέτως, μια πτώση στη λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος συσχετίστηκε με μείωση της επίδοσης σε κολυμβητές (Garet, Tournaire,

Roche, Laurent, Lacouyrm Barthelemy, & Pichot, 2004). Συνεπώς αυτοί οι δείκτες μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της νευρομυϊκής αποκατάστασης ή και ενεργοποίησης αθλητών. Μια πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι ο δείκτης υψηλών συχνοτήτων της μεταβλητότητας των καρδιακών παλμών ακολούθησε ίδια πορεία με την αποκατάσταση και ενεργοποίηση αθλητών της άρσης βαρών σε δοκιμασίες μέγιστης δύναμης (Chen et al., 2011). Οι Chen και συν. (2011) μελέτησαν τη μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών από 3 έως 72 ώρες μετά από μια προπόνηση άρσης βαρών διάρκειας 2 ωρών. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι η επίδοση στη μέγιστη δύναμη επανήλθε 24 ώρες μετά την προπόνηση και ξεπέρασε την αρχική μέτρηση (baseline) από 48-72 ώρες μετά. Παρατήρησαν επίσης ότι η μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών υψηλής συχνότητας η οποία δείχνει την δραστηριότητα του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος ακολούθησε την ίδια πορεία αποκατάστασης με την επίδοση στην άρση βαρών με μείωση 3 έως 24 ώρες μετά την προπόνηση και σημαντική αύξηση 72 ώρες μετά. Συνεπώς ενδέχεται η αύξηση της εκρηκτικής δύναμης των αθλητών της παρούσας μελέτης να οφείλεται στην αύξηση του αυτόνομου παρασυμπαθητικού συστήματος.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή 5 σειρών των 4 επαναλήψεων στην άσκηση ημικάθισμα με αναπήδηση με 3 λεπτά διάλειμμα βελτίωσε σημαντικά τη νευρομυϊκή απόδοση 24 ώρες μετά. Αυτή η βελτίωση διατηρήθηκε έως τις 48 ώρες αλλά σε μικρότερο βαθμό. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν στην αλληλεπίδραση μεταξύ έντασης και όγκου της προπονητικής συνεδρίας που προηγείται και στην διερεύνηση διαφορετικών τύπων άσκησης με αντιστάσεις εξειδικευμένες στις απαιτήσεις διαφορετικών αθλημάτων.

Κεφάλαιο VI

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Ανακεφαλαίωση - συμπεράσματα

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή παρουσιάζονται τρία πρωτότυπα συμπεράσματα.

(α) Τα ευρήματα της πρώτης μελέτης ανέδειξαν τη σημασία του μήκους του μυός κατά τη διάρκεια ισομετρικών συσπάσεων με στόχο την πρόκληση του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έχουν πρακτική εφαρμογή σε αθλητές ισχύος, καθώς τρεις μέγιστες ισομετρικές συσπάσεις μικρής διάρκειας (3 δευτερολέπτων με 1 λεπτό διάλειμμα) με τους εμπλεκόμενους μυς σε μικρό μήκος (γωνία στο γόνατο: 140°), βελτιώνουν άμεσα τη μυϊκή ισχύ κάτω άκρων μέσω του φαινομένου της μεταδιεγερτικής ενεργοποίησης. Σε αντίθεση όταν το μήκος των εμπλεκόμενων μυών είναι μεγαλύτερο (γωνία στο γόνατο: 90°) τότε η μεταδιεγερτική ενεργοποίηση περιορίζεται λόγω της αυξημένης μυϊκής κόπωσης.

(β) Ένα ακόμα σημαντικό εύρημα ήταν ότι μόνο οι αθλητές με μεγάλη αλτική ικανότητα παρουσιάζουν βελτίωση της απόδοσης μετά από ισομετρική άσκηση ενεργοποίησης σε διαφορετικές γωνίες της άρθρωσης του γονάτου. Συνεπώς αυτός ο τύπος άσκησης ενεργοποίησης είναι εφαρμόσιμος κυρίως σε αθλητές με υψηλές τιμές ισχύος.

(γ) Τα αποτελέσματα και συμπεράσματα της δεύτερης μελέτης της παρούσας διατριβής αναδεικνύουν τη χρησιμότητα της προπονητικής πρακτικής της «τόνωσης» ή «ενεργοποίησης» που χρησιμοποιούν οι αθλητές ισχύος και ομαδικών αθλημάτων 24-48 ώρες πριν από αγώνα για τη βελτίωση της απόδοσης. Παρά την ευρεία χρήση αυτής της προπονητικής πρακτικής, δεν υπήρχε έως τώρα επιστημονική τεκμηρίωσή της. Στη διατριβή αυτή αποδεικνύεται ότι μια προπονητική συνεδρία με αντιστάσεις χαμηλού όγκου και μέτριας έντασης αυξάνει τη μυϊκή απόδοση των κάτω άκρων 24 έως 48 ώρες μετά την εφαρμογή της, με τη μεγαλύτερη βελτίωση να εμφανίζεται στις 24 ώρες.

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή παρουσίασε δεδομένα που υποστηρίζουν ότι η παραγωγή μυϊκής ισχύος μπορεί να αυξηθεί άμεσα (12 λεπτά) αλλά και βραχυπρόθεσμα (για 24-48 ώρες) με τη χρήση των κατάλληλων ασκήσεων ενεργοποίησης.

6.2 Πρακτική εφαρμογή

Η πρακτική αξία της πρώτης μελέτης είναι σημαντική για τους προπονητές και τους αθλητές καθώς προτείνεται να χρησιμοποιούν μεγάλες γωνίες στο γόνατο (140°) κατά την εκτέλεση της άσκησης ενεργοποίησης, όταν πρόκειται να χρησιμοποιήσουν τη συνδυαστική μέθοδο προπόνησης για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος των κάτω άκρων. Μεα αυτόν τον τρόπο να περιορίζεται η κόπωση και θα προκαλείται ενεργοποίηση.

Η πρώτη μελέτη επίσης βρήκε ότι οι αθλητές με μεγάλη αλτική ικανότητα παρουσιάζουν βελτίωση της απόδοσης μετά από ισομετρική άσκηση ενεργοποίησης σε διαφορετικές γωνίες της άρθρωσης του γονάτου. Η πρακτική σημασία αυτού του ευρήματος είναι μεγάλη καθώς οι προπονητές με μια απλή αξιολόγηση του κατακόρυφου άλματος θα μπορούν να αντιληφθούν αν οι αθλητές τους μπορούν να οφελούνται από την άσκηση ενεργοποίησης και γενικότερα αν η συνδυαστική μέθοδος επιφέρει θετικές προσαρμογές στους αθλητές τους.

Τα αποτελέσματα της δεύτερης μελέτης έχουν εφαρμογή σε αθλητές όλων των αθλημάτων που περιλαμβάνουν κινήσεις υψηλής ισχύος (άλματα, ρίψεις, καλαθοσφαίριση, πετοσφαιριστή κ.α). Παράλληλα οι προπονητές μπορούν να σχεδιάζουν ορθότερα τους προπονητικούς μικρόκυκλους, αγωνιστικούς ή προπαρασκευαστικούς, κατά τη διάρκεια του ετήσιου κύκλου προπόνησης καθώς η προπόνηση αντιστάσεων ισχύος δεν προκαλεί καμία κόπωση αλλά επιφέρει ενεργοποίηση. Συνεπώς θα πρέπει να τοποθετείται αυτού του είδους η προπόνηση είτε πριν από αγώνες, είτε πριν από αγωνιστικά τεστ.

6.3 Αναπάντητα ερευνητικά ερωτήματα – προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μετά το πέρας της παρούσας μελέτης προέκυψαν τα παρακάτω διερευνητικά ερωτήματα τα οποία απαιτούν περαιτέρω επιστημονική διερεύνηση:

- Να εξεταστεί η επίδραση ισομετρικών συσπάσεων στα κινηματικά και κινητικά χαρακτηριστικά κατά την διάρκεια αθλητικών αλμάτων (άλμα σε ύψος, άλμα σε μήκος, άλμα τριπλούν ή άλμα επικοντώ).
- Να μελετηθούν οι φυσιολογικοί μηχανισμοί (περιφερικοί, κεντρικοί, ορμονικοί ή μεταβολικοί) που επιφέρουν βελτίωση της εκρηκτικής δύναμης 24 ή 48 ώρες μετά από προπόνηση ισχύος.
- Να διερευνηθούν οι άμεσες και βραχυπρόθεσμες νευρομυϊκές ανταποκρίσεις μετά από προπόνηση μέγιστης δύναμης με διαφορετικούς όγκους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318–1326.
- Abbate, F., Sargeant, A. J., Verdijk, P. W., & de Haan, A. (2000). Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 35–40.
- Ahtiainen, J. P., & Häkkinen, K. (2009). Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1129–1134.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2004). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in strength athletes versus nonathletes. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(5), 527–543.
- Ahtiainen, J.P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W.J. & Hakkinen, K. (2005). Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: Influence on muscle strength, size, and hormonal adaptation in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Association*, 19(3), 572-582.
- Alegre, L. M., Jiménez, F., Gonzalo-Orden, J. M., Martín-Acero, R., & Aguado, X. (2006). Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 501–508.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287–332.
- Aloisi, A., & Bonifazi, M. (2006). Sex hormones, central nervous system and pain. *Hormonal Behavior*, 50(1), 1–7.
- Asmussen E, & Bonde-Petersen F. (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91(3), 385-392.

- Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M.-S., Michaut, A., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal of Applied Physiology*, *100*(3), 780–785.
- Babault, N., Pousson, M., Michaut, A., & Van Hoecke, J. (2003). Effect of quadriceps femoris muscle length on neural activation during isometric and concentric contractions. *Journal of Applied Physiology*, *94*(3), 983–990.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning* (Third). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special and specific strength training: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *10*, 131–136.
- Baker, D. (2003). Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(3), 493–497.
- Barr, M. J., & Nolte, V. W. (2011). Which measure of drop jump performance best predicts sprinting speed? *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(7), 1976–1982.
- Batista, M. A. B., Roschel, H., Barroso, R., Ugrinowitsch, C., & Tricoli, V. (2011). Influence of strength training background on postactivation potentiation response. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(9), 2496–2502.
- Batista, M. A. B., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Lotufo, R., Ricard, M. D., & Tricoli, V. A. A. (2007). Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(3), 837–840.
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine*, *15*(6), 374–388.
- Bevan, H. R., Owen, N. J., Cunningham, D. J., Kingsley, M. I. C., & Kilduff, L. P. (2009). Complex training in professional rugby players: Influence of recovery time on upper-body power output. *Journal of Strength and Conditioning*

- Research* 3, 23(6), 1780–1785.
- Bigland-Ritchie, B., Johansson, R., Lippold, O. C., Smith, S., & Woods, J. J. (1983). Changes in motoneurone firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *The Journal of Physiology*, 340, 335–346.
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Medicine*, 35(10), 841–851.
- Bishop, P. A., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery from training: A brief review: brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 1015–1024.
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Horne, S., Coleman, D. R., & Aagaard, P. (2009). Changes in muscle force-length properties affect the early rise of force in vivo. *Muscle Nerve*, 39, 512–520.
- Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., Madsgaard, S., Boesen, M., & Raastad, T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 2133–2142.
- Bobbert, M. F., & Harlaar, J. (1993). Evaluation of moment-angle curves in isokinetic knee extension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(2), 251–259.
- Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J. (1988). *Coordination in vertical jumping*. *Journal of Biomechanics*, 21, 249–262.
- Bobbert, M. F. (2001). Dependence of human squat jump performance on the series elastic compliance of the triceps surae: a simulation study. *Journal of Experimental Biology*, 204, 533–542.
- Bogdanis, G. C. (2012). Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Frontiers in Physiology*, 3, 142.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K., & Nevill, A. M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *The Journal of Physiology*, 467–480.

- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Veligeas, P., Tsolakis, C., & Terzis, G. (2014). Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(9), 2521–2528.
- Bojsen-Møller, J., Magnusson, S. P., Rasmussen, L. R., Kjaer, M., & Aagaard, P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 986–994.
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 284, 275–284.
- Bosco, C., Komi, P.V. & Ito, A. (1981). Pre-stretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111, 135-140.
- Bosco, C. & Pittera., C. (1982). Zur Trainingswirkung neuentwickelter Sprungübungen auf die explosive Kraft. *Leistungssport*, 12, 36-39.
- Bosco, C., Vitasalo, P., Komi, & Luhtanen, P. (1982). Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch shortening cycle exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 114, 557-565.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology*, 50(2), 273–282.
- Brughelli, M., & Cronin, J. (2008). A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(4), 417–426.
- Bullock, N., & Comfort, P. (2011). An investigation into the acute effects of depth jumps on maximal strength performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3137–3141.
- Byrne, C., & Eston, R. (2002). The effect of exercise-induced muscle damage on

- isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 20(5), 417–425.
- Cadore, E.L., Lhullier, F.L.R., Bretano, M.A., DaSilva, E.M., Ambrosini, M.B., Spinelli, R., Silva, R.F. & Krueel, L.F.M. (2008). Hormonal responses to resistance exercise in long-term trained and untrained middle-aged men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5):1617-1624.
- Carlock, J., Smith, S., Hartman, M., Morris, R., Ciroslan, D., Pierce, K., Newton, R., Harman, E., Sands, W., & Stone, M. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *Journal Strength and Conditioning Research*, 18, 534–539.
- Cavagna, G. A., Saibene, F. P. & Margaria, R. (1965). Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *Journal of Applied Physiology*, 20, 157-158.
- Cavagna, G. A., (1977). *Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle*. In: R. S. Hutton (ed.) *Exercise and Sport Sciences Reviews*, pp. 89-129. Journal Publications, Santa Barbara
- Chaouachi, A., Manzi, V., Chaalali, A., Wong, D. P., Chamari, K., & Castagna, C. (2012). Determinants analysis of change-of-direction ability in elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2667–2676.
- Chatzopoulos, D. E., Michailidis, C. J., Giannakos, A. K., Alexiou, K. C., Patikas, D. A., Antonopoulos, C. B., & Kotzamanidis, C. M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1278–1281.
- Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. D., Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1546–1552.
- Chiu, L. Z. F., Fry, A. C., Schilling, B. K., Johnson, E. J., & Wiess, L. W. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity

- resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4–5), 385–392.
- Chiu, L. Z. F., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 671–677.
- Chu, D. A. *Explosive Power and Strength: Complex training for maximum results*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996.
- Close, G. L., Kayani, A., Vasilaki, A., & McArdle, A. (2005). Skeletal muscle damage with exercise and aging. *Sports Medicine*, 35(5), 413–427.
- Comyns, T. M., Harrison, A. J., Hennessy, L., & Jensen, R. L. (2007). Identifying the optimal resistive load for complex training in male rugby players. *Sports Biomechanics*, 6(1), 59–70.
- Cook, C. J., Kilduff, L. P., Crewther, B. T., Beaven, M., & West, D. J. (2014). Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3), 317–321.
- Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBride, J. M. (2007). Power Versus Strength-Power Jump Squat Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 996–1003.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Medicine*, 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 Medicine*, 41(2), 125–146.
- Cornu, C., Almeida Silveira, M. I., & Goubel, F. (1997). Influence of plyometric training on the mechanical impedance of the human ankle joint. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(3), 282–288.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power

- adaptation: acute mechanical responses. *Sports Medicine*, 35(11), 967–989.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). Possible Stimuli for Strength and Power Adaptation Acute Hormonal Responses. *Sports Medicine*, 36(3), 215–238.
- Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cook, C. J., Middleton, M. K., Bunce, P. J., & Yang, G.-Z. (2011). The acute potentiating effects of back squats on athlete performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3319–3325.
- Crewther, B. T., Lowe, T., Weatherby, R. P., Gill, N., & Keogh, J. (2009). Neuromuscular performance of elite rugby union players and relationships with salivary hormones. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 2046–2053.
- Crewther, B., Cronin, J., Keogh, J. & Cook, C. (2008). The salivary testosterone and cortisol response to three loading schemes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 250-255.
- Cronin, J., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2001). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4(1), 59–70.
- de Ruyter, C. J., Elzinga, M. J. H., Verdijk, P. W. L., van Mechelen, W., & de Haan, A. (2005). Changes in force, surface and motor unit EMG during post-exercise development of low frequency fatigue in vastus lateralis muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 94(5–6), 659–669.
- Docherty, D., & Hodgson, M. J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 439–444.
- Ebben, W. P. (2002). Complex training: a brief review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 1(2), 42–46.
- Ekstrand, L. G., Battaglini, C. L., McMurray, R. G., & Shields, E. W. (2013). Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw

- and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 101–106.
- Enoka, R. M. (1988). *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of Human Movement* (3rd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1631–1648.
- Esformes, J. I., & Bampouras, T. M. (2013). Effect of back squat depth on lower-body postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(11), 2997–3000.
- Esformes, J. I., Cameron, N., & Bampouras, T. M. (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1911–1916.
- Esformes, J. I., Keenan, M., Moody, J., & Bampouras, T. M. (2011). Effect of different types of conditioning contraction on upper body postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 143–148.
- Ferri, A., Narici, M., Grassi, B., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular recovery after a strength training session in elderly people. *European Journal of Applied Physiology*, 97(3):272-279.
- Fitch, S., & McComas, A. (1985). Influence of human muscle length on fatigue. *The Journal of Physiology*, 362, 205–213.
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49–94.
- Flanagan, E. P., Ebben, W. P., & Jensen, R. L. (2008). Reliability of the reactive strength index and time to stabilization during depth jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 1677–1682.
- Flatt, A. A. and Esco, M.R. (2015). Heart rate variability stabilization in athletes:

- towards more convenient data acquisition. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(5), 331-336.
- Fleck, S. J., & Falkel, J. E. (2006). Value of resistance training for the reduction of sports injuries. *Sports Medicine*, 3(1), 61–68.
- Folland, J. P., Wakamatsu, T., & Fimland, M. S. (2008). The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 739–748.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145–168.
- Fowles, J. R., & Green, H. J. (2003). Coexistence of potentiation and low-frequency fatigue during voluntary exercise in human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 81(12), 1092–1100.
- French, D. N., Kraemer, W. J., & Cooke, C. B. (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 678–685.
- Fukunaga, T., Ichinose, Y., Ito, M., Kawakami, Y., & Fukashiro, S. (1997). Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 82(1), 354–358.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725–1789.
- Garhammer, J. (1993). A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance, prediction, and evaluation tests. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 7, 76–89.
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthelemy, J. C., & Pichot, V. (2004). Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine Science Sports Exercise*, 36, 2112–2118.
- Gatz, G. (2009). *Complete Conditioning fo Soccer* (First). Champaign, IL: Human

Kinetics.

- Gee, T. I., French, D. N., Howatson, G., Payton, S. J., Berger, N. J., & Thompson, K. G. (2011). Does a bout of strength training affect 2,000 m rowing ergometer performance and rowing-specific maximal power 24 h later? *European Journal of Applied Physiology*, *111*(11), 2653–2662.
- Gilbert, G., & Lees, A. (2005). Changes in the force development characteristics of muscle following repeated maximum force and power exercise. *Ergonomics*, *48*(11–14), 1576–1584.
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., Pareja-Blanco, F. (2016). Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *International Journal of Sports Medicine*, *37*(4), 295–304.
- Gossen, E. R., & Sale, D. G. (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *European Journal of Applied Physiology*, *83*(6), 524–530.
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., & Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(2), 342–344.
- Grabiner, M. D. (1994). Maximum rate of force development is increased by antagonist conditioning contraction. *Journal of applied physiology*, *77*(2), 807–811.
- Grange, R. W., Vandenboom, R., & Houston, M. E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *18*(3), 229–242.
- Grange, R. W., Vandenboom, R., Xenj, J., & Houston, M. E. (1998). Potentiation of in vitro concentric work in mouse fast muscle. *Journal of Applied Physiology*, *84*(1), 236–243.
- Gruet, M., Temesi, J., Rupp, T., Levy, P., Millet, G. Y., & Verges, S. (2013). Stimulation of the motor cortex and corticospinal tract to assess human muscle

- fatigue. *Neuroscience*, 231, 384–399.
- Gullich, A., & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, (11), 67–81.
- Guyton, A. C., Hall, J. E. (2000). *Textbook of Medical Physiology*. 10th ed. Philadelphia: Saunder.
- Häkkinen, K., Myllylä, E. (1990). Acute effects of muscle fatigue and recovery on force production and relaxation in endurance, power and strength athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30(1), 5-12.
- Häkkinen, K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 14(2), 53–59.
- Häkkinen, K., Komi, P. V, & Alén, 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.
- Häkkinen, 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 Physiologica Scandinavica*, 171(1), 51–62.
- Häkkinen, K., & Pakarinen, A. (1993). Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *Journal of Applied Physiology*, 74(2), 882–887.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alén, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(2), 133–139.
- Hamada, T., Sale, D. G., & Macdougall, J. D. (2000). Postactivation potentiation in endurance-trained male athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2), 403–411.

- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2131–2137.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 178(2), 165–173.
- Harrison, A. J. (2011). Throwing and catching movements exhibit post-activation potentiation effects following fatigue. *Sports Biomechanics*, 10(3), 185–196.
- Hartmann, H., Wirth, K., Keiner, M., Mickel, C., Sander, A., & Szilvas, E. (2015). Short-term Periodization Models: Effects on Strength and Speed-strength Performance. *Sports Medicine*, 45(10), 1373–1386.
- Hedelin, R., Bjerle, P., & Henriksson-Larsen, K. (2001). Heart rate variability in athletes: Relationship with central and peripheral performance. *Medicine Science Sports Exercise*, 33, 1394–1398.
- Henneman, E., Clamann, H. P., Gillies, J. D., & Skinner, R. D. (1974). Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. *Journal of Neurophysiology*, 37(6), 1338–1349.
- Hewett, T. E., & Stroupe, A. L. (1996). Plyometric training in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 24, 765–773.
- Hicks, A., Fenton, J., Garner, S., & McComas, A. J. (1989). M wave potentiation during and after muscle activity. *Journal of Applied Physiology*, 66(6), 2606–2610.
- Hirst, G. D., Redman, S. J., & Wong, K. (1981). Post-tetanic potentiation and facilitation of synaptic potentials evoked in cat spinal motoneurons. *The Journal of Physiology*, 321, 97–109.
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585–595.
- Hodgson, M. J., Docherty, D., & Zehr, E. P. (2008). Postactivation potentiation of

- force is independent of H-reflex excitability. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 219–231.
- Iglesias-Soler, E., Paredes, X., Carballeira, E., Márquez, G., & Fernández-Del-Olmo, M. (2011). Effect of intensity and duration of conditioning protocol on post-activation potentiation and changes in H-reflex. *European Journal of Sport Science*, 11(1), 33–38.
- Jacoby, E. (2009). *Winning jumps and pole vault*. (J. Ed, Ed.) (First). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Johnston, M., Johnston, J., Cook, C. J., Costley, L., Kilgallon, M., & Kilduff, L. P. (2016). Title: The effect of session order on the physiological, neuromuscular, and endocrine responses to maximal speed and weight training sessions over a 24-hour period. *Journal of Science and Medicine in Sport*.
- Judge, L. W., & Burke, J. R. (2010). The effect of recovery time on strength performance following a high-intensity bench press workout in males and females. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(2):184-196.
- Kawata, M. (1995). Roles of steroid hormones and their receptors in structural organization in the nervous system. *Neuroscience Research*, 24(1), 1–46.
- Kell, R. T., Bell, G., & Quinney, A. (2001). Musculoskeletal fitness, health outcomes and quality of life. *Sports Medicine*, 31(12), 863–873.
- Kesoglou, I., Tsigganos, G., Argeitaki, P., & Smirniotou, A. (2009). The impact of high velocity/low load resistant training on variables that relate to soccer performance. *Biology of Exercise*, 5, 27–40.
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I. C., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1134–1138.
- Kilduff, L. P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. I. C., & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in

- professional rugby players. *Journal of Sports Science*, 26(8), 795–802.
- Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Kadija, M., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2014). Asymmetries in explosive strength following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*, 21(6), 1039–1045.
- Knuttgen, H., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1(1), 1–10.
- Kraemer, W.J., Clemson, A., Triplett, N.T., Bush, J.A., Newton, R.U. & Lynch, J.M. (1996). The effects of plasma cortisol elevation on total and differential leukocyte counts in response to heavy-resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 93-97.
- Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., & French, D. N. (2002). Resistance training for health and performance. *Current Sports Medicine Reports*, 1(3), 165–71.
- Krieger, J. W. (2010). Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 1150–1159.
- Krishnan, C., & Williams, G. N. (2014). Effect of knee joint angle on side-to-side strength ratios. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2981–2987.
- Kroon, G. W., & Naeije, M. (1991). Recovery of the human biceps electromyogram after heavy eccentric, concentric or isometric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63(6), 444–448.
- Lee, S. C. K., Braim, A., Becker, C. N., Prosser, L. A., Tokay, A. M., & Binder-Macleod, S. A. (2007). Diminished fatigue at reduced muscle length in human skeletal muscle. *Muscle & Nerve*, 36(6), 789–797.
- Lehance, C., Binet, J., Bury, T., & Croisier, J. L. (2009). Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 243–251.
- Ide, B. N., Leme, T. C. F., Lopes, C. R., Moreira, A., Dechechi, C. J., Sarraipa, M.

- F., Da Mota, G. R., Macedo, D. V. (2011). Time course of strength and power recovery after resistance training with different movement velocities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 2025–2033.
- Lim, J. J. H., & Kong, P. W. (2013). Effects of isometric and dynamic postactivation potentiation protocols on maximal sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2730–2736.
- Linnamo, V., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1998). Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1–2), 176–181.
- Linnamo, V., Newton, R. U., Hakkinen, K., Komi, P. V., Davie, A., McGuigan, M., & Triplett-McBride, T. (2000). Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 10(6), 417-424.
- Luhtanen, P., & Komi, P. (1979). Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off. *European Journal of Applied Physiology*, 41, 267-274.
- Lüscher, H. R., Ruenzel, P., & Henneman, E. (1983). Composite EPSPs in motoneurons of different sizes before and during PTP: implications for transmission failure and its relief in Ia projections. *Journal of Neurophysiology*, 49(1), 269–289.
- Macaluso, A., & De Vito, G. (2004). Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 450–472.
- MacDougall, J. D. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. In P. V Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (pp. 230–238). London: Blackwell.
- MacIntosh, B. R., & Rassier, D. E. (2002). What is fatigue? *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(1), 42–55.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological

- considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091–1116.
- Mahlfeld, K., Franke, J., & Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & Nerve*, 29(4), 597–600.
- Mangus, B., & Takahashi, M. (2006). Investigation of vertical jump performance after completing heavy squats exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 597–600.
- Manning, D. R., & Stull, J. T. (1982). Myosin light chain phosphorylation-dephosphorylation in mammalian skeletal muscle. *The American Journal of Physiology*, 242(3), 234-241.
- Marcora, S., & Miller, K. M. (1999). The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *Journal of Sports Sciences*, 18, 313–31.
- Maughan, R. J., Watson, J. S., & Weir, J. (1983). Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(3), 309–318.
- McCann, M. R., & Flanagan, S. P. (2010). The effects of exercise selection and rest interval on postactivation potentiation of vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1285–1291.
- McCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C., & Travis Triplett, N. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 105(5), 695–704.
- McKenna, M. J., Bangsbo, J., & Renaud, J.-M. (2008). Muscle K⁺, Na⁺, and Cl⁻ disturbances and Na⁺-K⁺ pump inactivation: implications for fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(1), 288–295.
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392.
- Methenitis, S., Karandreas, N., Spengos, K., Zaras, N., Stasinaki, A.-N., & Terzis, G.

- (2016). Muscle fiber conduction velocity, muscle fiber composition, and power performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(9), 1761–1771.
- Mettler, J. A., & Griffin, L. (2012). Postactivation potentiation and muscular endurance training. *Muscle and Nerve*, 45(3), 416–425.
- Miarka, B., Del Vecchio, F. B., & Franchini, E. (2011). Acute effects and postactivation potentiation in the Special Judo Fitness Test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 427–431.
- Miller, J. A., & Hay, J. G. (1986). Kinematics of a world record and other world-class performances in the triple jump. *International journal of sports biomechanics*, 2, 272-288.
- Mitchell, C. J., & Sale, D. G. (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *European Journal of Applied Physiology*, 111(8), 1957–1963.
- Miyamoto, N., Fukunaga, T., & Kawakami, Y. (2009). Evidence for intermuscle difference in postactivation potentiation in the human triceps surae: a mechanomyographic study. *Muscle & Nerve*, 39(5), 703–706.
- Miyamoto, N., Mitsukawa, N., Sugisaki, N., Fukunaga, T., & Kawakami, Y. (2010). Joint angle dependence of intermuscle difference in postactivation potentiation. *Muscle and Nerve*, 41(4), 519–523.
- Moir, G., Mergy, D., Witmer, C. A., & Davis, S. E. (2011). The acute effects of manipulating volume and load of back squats on countermovement vertical jump performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1486–1491.
- Moore, R. L., Houston, M. E., Iwamoto, G. A., & Stull, J. T. (1985). Phosphorylation of rabbit skeletal muscle myosin in situ. *Journal of Cellular Physiology*, 125(2), 301–305.
- Moore, R. L., & Stull, J. T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *The American Journal of Physiology*, 247, 462-471.

- Morana, C., & Perrey, S. (2009). Time course of postactivation potentiation during intermittent submaximal fatiguing contractions in endurance- and power-trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1456–1464.
- Mujika, I. (2009). *Tapering and Peaking for Optimal Performance* (First). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Nakamura, F. Y., Flatt, A. A., Pereira, L.A., Ramirez-Campillo, R., Loturco, I., & Esco, M. R. (2015). Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 602-605.
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Rabelo, F. N., Flatt, A. A., Esco, M. R., Bertollo, M., Loturco, I. (2016). Monitoring weekly heart rate variability in futsal players during the preseason: the importance of maintaining high vagal activity. *Journal of Sports Sciences*. 34(24), 2262-2268.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: implications for a mixed method training strategy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16, 20-31.
- Newton, R. U., Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Humphries, B. J., & Murphy, A. J. (1996). Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *Journal of Applied Biomechanics*, 799612, 37–43.
- O’Leary, D. D., Hope, K., & Sale, D. G. (1997). Posttetanic potentiation of human dorsiflexors. *Journal of Applied Physiology*, 83(6), 2131–2138.
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., & Hoffman, M. A. (2004). The hoffmann reflex: methodologic considerations and applications for use in sports medicine and athletic training research. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 268–277.
- Place, N., Maffiuletti, N. A., Ballay, Y., & Lepers, R. (2005). Twitch potentiation is greater after a fatiguing submaximal isometric contraction performed at short vs. long quadriceps muscle length. *Journal of Applied Physiology*, 98(2), 429–436.
- Raastad, T., & Hallén, J. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high-

- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3), 206–214.
- Raeder, C., Wiewelhove, T., Westphal-Martinez, M. P., Fernandez-Fernandez, J., De Paula Simola, R. A., Kellmann, M., Ferrauti, A. (2016). Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *Journal of strength and conditioning research*, 30(4), 953-965.
- Rassier, D. E. (2000). The effects of length on fatigue and twitch potentiation in human skeletal muscle. *Clinical Physiology*, 20(6), 474–482.
- Rassier, D. E., & Macintosh, B. R. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33(5), 499–508.
- Ratamess, N.A., Kraemer, W.J., Volek, J.S., Maresh, C.M., VanHeest, J.L., Sharman, M.J., Rubin, M.R., French, D.N., Vesconi, J.D., Silvestre, R., Hatfield, D.L., Fleck, S.J. & Deschenes, M.R. (2005). Androgen receptor content following heavy resistance exercise in men. *Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology*, 93, 35-42.
- Rixon, K. P., Lamont, H. S., & Bembien, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 500–505.
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453–458.
- Ruben, R. M., Molinari, M. A., Bibbee, C. A., Childress, M. A., Harman, M. S., Reed, K. P., & Haff, G. G. (2010). The acute effects of an ascending squat protocol on performance during horizontal plyometric jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 358–369.
- Rupprecht, R., di Michele, F., Hermann, B., Ströhle, A., Lancel, M., Romeo, E., & Holsboer, F. (2001). Neuroactive steroids: molecular mechanisms of action and implications for neuropsychopharmacology. *Brain Research Review Journal*, 37(1–3), 59–67.

- Saez Saez de Villarreal, E., González-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2007). Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European Journal of Applied Physiology*, 100(4), 393–401.
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138–43.
- Sasaki, K., Tomioka, Y., & Ishii, N. (2012). Activation of fast-twitch fibers assessed with twitch potentiation. *Muscle and Nerve*, 46(2), 218–227.
- Seitz, L. B., & Haff, G. G. (2015). Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(2):231-240.
- Seitz, L. B., Trajano, G. S., Dal Maso, F., Haff, G. G., & Blazevich, A. J. (2015). Postactivation potentiation during voluntary contractions after continued knee extensor task-specific practice. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 230–237.
- Silvester, J. (2003). *Complete Book of Throws*. (J. Silvester, Ed.) (First). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Smilios, I., Pilianidis, T., Sotiropoulos, K., Antonakis, M., & Tokmakidis, S. (2005). Short-term effects of selected exercise and load in contrast training on vertical jump performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 135–139.
- Smilios, I., Pilianidis, T., Karamouzis, M., Parlavantzas, A. & Tokmakidis, S.P. (2007). Hormonal responses after a strength endurance resistance exercise protocol in young and elderly males. *International Journal of Sports Medicine*, 28(5), 401-406.
- Smith, C. B., Cheng, A. J., & Rice, C. L. (2011). Potentiation of the triceps brachii during voluntary submaximal contractions. *Muscle and Nerve*, 43(6), 859–865.
- Smith, J. C., & Fry, A. C. (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic

- performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 73–76.
- Sotiropoulos, K., Smilios, I., Christou, M., Barzouka, K., Spaias, A., Douda, H., & Tokmakidis, S. P. (2010). Effects of Warm-up on Vertical Jump Performance and Muscle Electrical Activity using Half-Squats at Low and Moderate Intensity. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 2, 326 - 331.
- Stasinaki, A.-N., Gloumis, G., Spengos, K., Blazeovich, A. J., Zaras, N., Georgiadis, G., Terzis, G. (2015). Muscle strength, power and morphological adaptations after 6 weeks of compound vs. complex training in healthy men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9): 2559-2569.
- Stuart, D. S., Lingley, M. D., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 66(1), 49–54.
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, (46)10, 1419-1449.
- Sweeney, H. L., Bowman, B. F., & Stull, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *The American Journal of Physiology*, 264, 1085-1095.
- Σωτηρίου, Π., & Κουΐδη, Ε. (2009). Η επίδραση της άσκησης στη δράση του αυτόνομου νευρικού συστήματος στην καρδιά. *Καρδιολογία*, 2-3, 125-131.
- Tan, B. (1999). Variables to optimize maximum strength in men: A review. *Training*, 13(3), 289–304.
- Terzis, G., Spengos, K., Karampatsos, G., Manta, P., & Georgiadis, G. (2009). Acute effect of drop jumping on throwing performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2592–2597.
- Thorstensson, A., Grimby, G., & Karlsson, J. (1976). Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 40(1), 12–16.
- Till, K. A., & Cooke, C. (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint

- and jump performance of male academy soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1960–1967.
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147–166.
- Toumi, H., Best, T. M., Martin, A., & Poumarat, G. (2004). Muscle plasticity after weight and combined (weight + jump) training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(9), 1580–1588.
- Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Ugrinowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 433–437.
- Trimble, M. H., & Harp, S. S. (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 933–941.
- Tsolakis, C., Bogdanis, G. C., Nikolaou, A., & Zacharogiannis, E. (2011). Influence of type of muscle contraction and gender on postactivation potentiation of upper and lower limb explosive performance in elite fencers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(3), 577–583.
- Tubman, L. A., MacIntosh, B. R., & Maki, W. A. (1996). Myosin light chain phosphorylation and posttetanic potentiation in fatigued skeletal muscle. *European Journal of Physiology*, 431(6), 882–887.
- Van Cutsem, M., & Duchateau, J. (2005). Preceding muscle activity influences motor unit discharge and rate of torque development during ballistic contractions in humans. *Journal of Physiology*, 562, 635–644.
- Vandenboom, R., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1993). Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation. *The American Journal of Physiology*, 265(6), 1456-1462.
- Vandenboom, R., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1995). Myosin phosphorylation enhances rate of force development in fast-twitch skeletal muscle. *The*

- American Journal of Physiology*, 268(3), 596-603.
- Vandervoort, A. A., Quinlan, J., & McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology*, 81(1), 141–152.
- Viitasalo, J. T., Salo, A., & Lahtinen, J. (1998). Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(5):432-440.
- Vingren, J.L., Kraemer, W.J., Ratamess, N.A., Anderson, J.M., Volek, J.S. & Maresh, C.M. (2010). Testosterone physiology in resistance exercise and training. The up-stream regulatory elements. *Sports Medicine*, 40(12):1037-1053.
- Volek, J. S., Kraemer, W. J., Bush, J. A., Incledon, T., & Boetes, M. (1997). Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 82(1), 49–54.
- Westerblad, H., & Allen, D. G. (2011). Emerging roles of ROS/RNS in muscle function and fatigue. *Antioxidants & Redox Signaling*, 15(9), 2487–2499.
- Wilk, K., Voight, M., Keirns, M., Gambetta, V, Andrews, R., & Dillman, C. (1993). Stretch-shortening drills for the upper extremities: Theory and clinical application. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 17, 225-239.
- Winett, R. A., & Carpinelli, R. N. (2001). Potential health-related benefits of resistance training. *Preventive Medicine*, 33(5), 503–513.
- Xenofondos A, Laparidis K, Kyranoudis A, Galazoulas C, Bassa E, K. C. (2010). Post-activation potentiation: Factors affecting it and the effect on performance. *Journal of Physical Education and Sport*, 28(3), 32–38.
- Young, W. B., Jenner, A., & Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *Journal of Strength & Conditioning Research*, (12), 82–84.
- Zaras, N. D., Stasinaki, A.-N. E., Methenitis, S. K., Krase, A. A., Karampatsos, G. P., Georgiadis, G. V., Terzis, G. D. (2016). Rate of force development, muscle architecture, and performance in young competitive track and field throwers.

Journal of Strength and Conditioning Research, 30(1), 81–92.

Ziv, G., & Lidor, R. (2010). Vertical jump in female and male volleyball players: a review of observational and experimental studies. *Scandinavian Journal of Medicine Science Sports*, 20, 556-567.

Παράρτημα

Στο παράρτημα περιλαμβάνονται:

- Τα έντυπα συγκατάθεσης των δοκιμαζόμενων για τις δυο μελέτες
- Οι καρτέλες καταγραφής των αποτελεσμάτων
- Το ιατρικό ιστορικό των δοκιμαζόμενων
- Τα αρχικά δεδομένα
- Τους πίνακες στατιστικής ανάλυσης

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ: ΚΛΑΣΙΚΟΣ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ
ΑΘΛΗΤΙΚΑ ΑΛΜΑΤΑ

Επιστημονικός Υπεύθυνος της έρευνας: Βεληγκέκας Παναγιώτης,
Αναπληρωτής Καθηγητής Αθλητικών Αλμάτων

ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ
ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τίτλος

Άμεση επίδραση μέγιστων ισομετρικών καθισμάτων με διαφορετική γωνία στο γόνατο και διαφορετικό επίπεδο αλτικής ικανότητας ανδρών αθλητών.

Σκοπός

Να διερευνήσει τις άμεσες επιδράσεις της νευρομυϊκής (αλτικής) απόδοσης μετά από ισομετρικά καθίσματα με γωνία στο γόνατο 90° ή 140°. Επίσης να μελετήσει αν η αλτική ικανότητα παίζει ρόλο σε αυτή την αλληλεπίδραση.

Οφέλη από την συμμετοχή

Οι πληροφορίες που θα αποκτηθούν σε αυτή την έρευνα θα βοηθήσουν τους δοκιμαζόμενους να γνωρίσουν και να ενημερωθούν για τις δυνατότητές τους, να εμπλουτίσουν τις γνώσεις τους στο γνωστικό πεδίο της βελτίωσης της μυϊκής δύναμης, της μυϊκής ισχύος και της κατακόρυφης αλτικότητας. Επίσης θα δοθούν σημαντικές πληροφορίες στην επιστημονική κοινότητα για τη συνδυαστική μέθοδο προπόνησης.

Περιγραφή διαδικασίας

Οι δοκιμαζόμενοι θα λάβουν μέρος σε δυο συνεδρίες εξοικείωσης και δυο συνεδρίες προκαταρκτικών μετρήσεων. Στη συνέχεια θα πραγματοποιήσουν δυο πειραματικές συνθήκες και μια συνθήκη ελέγχου. Οι πειραματικές συνθήκες και η ελέγχου θα απέχουν μεταξύ τους τουλάχιστον μια εβδομάδα. Οι πειραματικές συνθήκες θα περιλαμβάνουν 3 σειρές των 3 δευτερολέπτων μέγιστων ισομετρικών συσπάσεων σε θέση ημικαθίσματος με γωνία στο γόνατο 90° ή 140°. Το διάλειμμα μεταξύ των ισομετρικών καθισμάτων θα είναι ένα λεπτό. Η αλτική επίδοση, (CMJ counter-movement jump) θα μετρηθεί πριν από τα ισομετρικά καθίσματα και 15 δευτερόλεπτα, 3, 6, 9 και 12 λεπτά μετά.

Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Η διαδικασία των μετρήσεων και των πειραματικών συνθηκών δεν είναι επικίνδυνη καθώς οι μετρήσεις είναι απλές ενώ υπάρχουν τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας όπως η ύπαρξη ειδικού κλωβού άρσης βαρών, ζωνών άρσης βαρών, ειδικών παπουτσιών άρσης βαρών, βοηθών προπονητών ενδυνάμωσης.

Ζήτηση πληροφοριών από τους δοκιμαζόμενους

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις σχετικά με την όλη διαδικασία. Για οποιαδήποτε ερώτηση ή παρατήρηση θα είμαστε στην διάθεσή σας (Αθανάσιος Τσούκος τηλ.:

6987458833, mail.: atsoukos@phed.uoa.gr). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι εμπιστευτικά και θα είναι στη διάθεση σας μετά το πέρας των αναλύσεων. Σε περίπτωση δημοσίευσης των δεδομένων με τη μορφή επιστημονικής εργασίας, αυτή θα είναι ανώνυμη. **Να θυμάστε ότι είστε ελεύθεροι να αποσυρθείτε από την μελέτη όποτε θέλετε. Η συμμετοχή στη μελέτη είναι εθελοντική.**

ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΑΣ

ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗ: Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο έρευνας με τίτλο: Άμεση επίδραση μέγιστων ισομετρικών καθισμάτων με διαφορετική γωνία στο γόνατο και διαφορετικό επίπεδο αλτικής ικανότητας ανδρών αθλητών, που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, β) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι, γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις, δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική, ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου και στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω.

Ημερομηνία:/...../2016

Όνοματεπώνυμο:.....

(Υπογραφή)_____

Ο υπεύθυνος ερευνητής,

(Υπογραφή)_____

Αθανάσιος Τσούκος, Διδακτορικός Φοιτητής

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΛΑΣΙΚΟΥ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ: ΚΛΑΣΙΚΟΣ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ
ΑΘΛΗΤΙΚΑ ΑΛΜΑΤΑ**

**Επιστημονικός Υπεύθυνος της έρευνας: Βεληγκέκας Παναγιώτης,
Αναπληρωτής Καθηγητής Αθλητικών Αλμάτων**

***ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ
ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ***

Τίτλος

Η βραχυπρόθεσμη επίδραση μιας προπονητικής συνεδρίας μυϊκής ισχύος στη νευρομυϊκή απόδοση.

Σκοπός

Να διερευνηθούν οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις μιας προπόνησης με αντιστάσεις μυϊκής ισχύος χαμηλού όγκου στη νευρομυϊκή απόδοση 24 και 48 ώρες μετά.

Οφέλη από την συμμετοχή

Οι πληροφορίες που θα αποκτηθούν σε αυτή την έρευνα θα βοηθήσουν τους δοκιμαζόμενους να γνωρίσουν και να ενημερωθούν για τις δυνατότητές τους, να εμπλουτίσουν τις γνώσεις τους στο γνωστικό πεδίο της βελτίωσης της μυϊκής δύναμης, της μυϊκής ισχύος και της κατακόρυφης αλτικότητας. Επίσης θα δοθούν σημαντικές πληροφορίες στην επιστημονική κοινότητα για τις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης αντιστάσεων για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος στη νευρομυϊκή απόδοση.

Περιγραφή διαδικασίας

Οι δοκιμαζόμενοι θα λάβουν μέρος σε δυο συνεδρίες εξοικείωσης και δυο προκαταρκτικές οι οποίες θα περιλαμβάνουν κυρίως άλματα βάθους από κουτιά ύψους 20-80 εκατοστών και αξιολόγηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης καθώς και του ρυθμού ανάπτυξης της δύναμης κατά τη διάρκεια της άσκησης των πιέσεων ποδιών (leg press). Στη συνέχεια οι δοκιμαζόμενοι θα πραγματοποιήσουν 2 πειραματικές συνθήκες και 2 συνθήκες ελέγχου σε τυχαία και ισοσταθμισμένη σειρά. Η κάθε συνθήκη θα απέχει τουλάχιστον μια εβδομάδα από την άλλη. Θα αξιολογηθεί η νευρομυϊκή απόδοση πριν, 24 και 48 ώρες μετά από μια προπόνηση με αντιστάσεις για τη βελτίωση της μυϊκής ισχύος χαμηλού όγκου που θα περιλαμβάνει 5 σειρές των 4 επαναλήψεων στην άσκηση ημικάθισμα-αναπήδηση με ένταση το 40% της 1 ΜΕ και με 3 λεπτά διάλειμμα μεταξύ των σειρών. Στις συνθήκες ελέγχου θα αξιολογηθεί η νευρομυϊκή απόδοση πριν και μετά από 24 ή 48 ώρες χωρίς την εφαρμογή της προπόνησης με αντιστάσεις μυϊκής ισχύος. Οι δοκιμαζόμενοι δηλαδή θα πραγματοποιήσουν μόνο μετρήσεις με χρονική διαφορά 24 ή 48 ώρες. Οι εξαρτημένες μεταβλητές θα είναι: το κατακόρυφο άλμα (CMJ), ο δείκτης δύναμης αντίδρασης (RSI) κατά τη διάρκεια άλματος βάθους, η μέγιστη ισομετρική δύναμη και ο ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης στα χρονικά διαστήματα: 0-100, 0-200 και 0-300 ms κατά τη διάρκεια των πιέσεων ποδιών (leg press).

Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Η διαδικασία των μετρήσεων και των πειραματικών συνθηκών δεν είναι επικίνδυνη καθώς οι μετρήσεις είναι απλές ενώ υπάρχουν τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας όπως η ύπαρξη ειδικού κλωβού άρσης βαρών, ζωνών άρσης βαρών, ειδικών παπουτσιών άρσης βαρών, βοηθών προπονητών ενδυνάμωσης.

Ζήτηση πληροφοριών από τους δοκιμαζομένους

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις σχετικά με την όλη διαδικασία. Για οποιαδήποτε ερώτηση ή παρατήρηση θα είμαστε στην διάθεσή σας (Αθανάσιος Τσούκος τηλ.: 6987458833, mail.: atsoukos@phed.uoa.gr). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι εμπιστευτικά και θα είναι στη διάθεσή σας μετά το πέρας των αναλύσεων. Σε περίπτωση δημοσίευσης των δεδομένων με τη μορφή επιστημονικής εργασίας, αυτή θα είναι ανώνυμη. **Να θυμάστε ότι είστε ελεύθεροι να αποσυρθείτε από την μελέτη όποτε θέλετε. Η συμμετοχή στη μελέτη είναι εθελοντική.**

ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΑΣ

ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗ: Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο έρευνας με τίτλο: Η βραχυπρόθεσμη επίδραση μιας προπονητικής συνεδρίας μυϊκής ισχύος στη νευρομυϊκή απόδοση, που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, β) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι, γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις, δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική, ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου και στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω.

Ημερομηνία:/...../2016

Ονοματεπώνυμο:.....

(Υπογραφή)_____

Ο υπεύθυνος ερευνητής,

(Υπογραφή)_____

Αθανάσιος Τσούκος, Διδακτορικός Φοιτητής

Καρτέλα συλλογής δεδομένων πρώτης μελέτης							
Όνοματεπώνυμο:					Κωδικός:		
Ποσοστό σωματικού λίπους							
Ημερομηνία	Ύψος	Βάρος	Υποπλάτια	Τρικεφαλική	Δικεφαλική	Υπερλαγόνια	% λίπους

CMJ before			
Συνθήκη	1η προσπάθεια	2η προσπάθεια	3η προσπάθεια
Ελέγχου			
90ο			
140ο			

CMJ post					
Συνθήκη	15 sec	3 min	6 min	9 min	12 min
Ελέγχου					
90ο					
140ο					

Καρτέλα συλλογής δεδομένων δεύτερης μελέτης			
A/A		ΟΝΟΜΑ	
ΑΘΛΗΜΑ		ΕΠΩΝΥΜΟ	
ΗΜ/ΓΕΝΝΗΣΗΣ		ΗΛΙΚΙΑ	
ΗΜ/ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ		ΔΙΚΕΦΑΛΙΚΗ	
ΣΩΜ. ΥΨΟΣ		ΤΡΙΚΕΦΑΛΙΚΗ	
ΣΩΜ. ΜΑΖΑ		ΥΠΟΠΛΑΤΙΑ	
ΔΜΣ		ΛΑΓΟΝΙΑ	
ΑΛΙΠΗ ΜΑΖΑ		ΑΘΡΟΙΣΜΑ	
ΛΙΠΩΔΗΣ ΜΑΖΑ		% ΣΩΜ. ΛΙΠΟΥΣ	
1ΜΑΕ ΗΜΙΚΑΘΙΣΜΑ		40% 1 ΜΑΕ	

BASELINE				PRE CTRL24			
TEST	PERF 1	PERF 2	PERF 3	TEST	PERF 1	PERF 2	PERF 3
CMJ				CMJ			
DJ20				DJOPT			
DJ40				ISO-MAX			
DJ60				RFD100			
DJ80				RFD200			
DJOPT				RFD300			
ISO-MAX				POST-CTRL			
RFD100				CMJ			
RFD200				DJOPT			
RFD300				ISO-MAX			
PRE 24				RFD100			
CMJ				RFD200			
DJOPT				RFD300			
ISO-MAX				PRE CTRL48			

Άμεσες και βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της προπόνησης με αντιστάσεις στην εκρηκτική δύναμη αθλητών ισχύος

RFD100				CMJ			
RFD200				DJOPT			
RFD300				ISO-MAX			
POST-24				RFD100			
CMJ				RFD200			
DJOPT				RFD300			
ISO-MAX				POST-CTRL48			
RFD100				CMJ			
RFD200				DJOPT			
RFD300				ISO-MAX			
PRE 48				RFD100			
CMJ				RFD200			
DJOPT				RFD300			
ISO-MAX							
RFD100							
RFD200							
RFD300							
POST -48							
CMJ							
DJOPT							
ISO-MAX							
RFD100							
RFD200							
RFD300							

ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΟΥ

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία Γεννήσεως : _____

Οικογενειακός Γιατρός :

ΜΕΡΟΣ Α

1. Πότε ήταν η τελευταία φορά που έκανες πλήρη ιατρικό έλεγχο/ εξετάσεις;

2. Έχεις λάβει μέρος ξανά σε έρευνα; Αν ναι πότε;

3. Σου έχει αναφερθεί ότι πάσχεις από κάποια χρόνια ή σοβαρή ασθένεια. Αν ναι από ποια/ ποιες:

4. Αναφέρετε τις τρεις τελευταίες φορές που νοσηλευτήκατε:

Χειρουργεία:

Έτος- Αιτία- Νοσοκομείο

Νοσηλεία άλλου είδους:

Έτος- Αιτία- Νοσοκομείο

5. Κάνατε ποτέ μετάγγιση αίματος; Αν ναι, πότε;

ΜΕΡΟΣ Β

Κατά την διάρκεια των τελευταίων 12 μηνών :

1. Σου χορηγήθηκε από γιατρό κάποιο φάρμακο; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

2. Έχεις αισθανθεί τάση για λιποθυμία ή ζάλη; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

3. Αντιμετωπίζεις συχνά προβλήματα διαταραχής ύπνου; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

4. Έχεις αισθανθεί το οπτικό σου πεδίο θολό; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

5. Έχεις έντονους πονοκεφάλους; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

6. Έχεις συνήθως το πρωί βήχα; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

7. Σου συμβαίνει να δυσκολεύεσαι να μιλήσεις ή να ψευδίζεις; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

8. Αισθάνεσαι νευρικός ή αγχώδης χωρίς ιδιαίτερη αιτία; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

9. Έχεις αισθανθεί την καρδιά σου να χτυπά ασυνήθιστα (σαν να ‘φτερουγίζει’);
ΝΑΙ ΟΧΙ

10. Υπάρχουν φορές που η καρδιά σου χτυπά πολύ γρήγορα χωρίς ιδιαίτερο λόγο(ταχυκαρδίες); **ΝΑΙ ΟΧΙ**

11. Καπνίζεις συστηματικά; Αν ναι πόσα τσιγάρα την ημέρα;

12. Καταναλώνεις αλκοόλ συστηματικά (κάθε 1-2 μέρες); Αν ναι πόσο;

Πρόσφατα :

1. Έχεις αισθανθεί ‘να σου κόβεται η αναπνοή ή να μην μπορείς να αναπνεύσεις όταν περπατάς ή όταν κάθεσαι; **ΝΑΙ ΟΧΙ**

2. Έχεις αισθανθεί υπερβολική δύσπνοια ή υπέρμετρη κόπωση κατά την άσκηση;
ΝΑΙ ΟΧΙ
3. Έχεις αισθανθεί ξαφνικά ‘τσιμπήματα’/ μούδιάσματα στα χέρια, πόδια ή πρόσωπο ή να μην ‘αισθάνεσαι’ αυτά τα μέρη του σώματος; ΝΑΙ ΟΧΙ
4. Έχεις ποτέ παρατηρήσει ότι τα πόδια ή τα χέρια σου είναι πιο κρύα από το υπόλοιπο μέρος του σώματός σου; ΝΑΙ ΟΧΙ
5. Έχεις πρηξίματα στα πόδια ή αστραγάλους; ΝΑΙ ΟΧΙ
6. Έχεις αισθανθεί πίεση, βάρος, πόνο ή ‘πλάκωμα’ στο στήθος; ΝΑΙ ΟΧΙ
7. Σου έχουν αναφέρει ποτέ ότι η πίεση του αίματός σου δεν είναι φυσιολογική;
ΝΑΙ ΟΧΙ
8. Σου έχουν αναφέρει ποτέ ότι τα επίπεδα των τριγλυκεριδίων ή της χοληστερόλης στο αίμα σου δεν είναι φυσιολογικά; ΝΑΙ ΟΧΙ
9. Υποφέρεις από διαβήτη; ΝΑΙ ΟΧΙ
Αν ναι, πώς τον ελέγχεις; _____
10. Πώς θα αξιολογούσες τη γενική σου υγεία;
- α) Άριστη
 - β) Πολύ καλή
 - γ) Καλή
 - δ) Μέτρια
 - ε) Κακή
11. Πόσο συχνά γυμνάζεσαι;
- α) καθόλου
 - β) ελαφρά (π.χ. περπάτημα)
 - γ) συστηματικά με χαμηλή ένταση (λιγότερο από 4 φορές την εβδομάδα, για 30 λεπτά)
 - δ) συστηματικά με υψηλή ένταση (περισσότερες από 4 φορές την εβδομάδα)

12. Πώς θα αξιολογούσες τη διατροφή σου;

- α) ισορροπημένη
- β) μέτρια
- γ) φτωχή

13. Πόση καφεΐνη καταναλώνεις ημερησίως;

- α) καθόλου
- β) καφέ: _____/ημέρα
- γ) τσάι: _____/ημέρα
- δ) αναψυκτικά τύπου Cola: _____/ημέρα

14. Πίνεις αλκοόλ; ΝΑΙ ΟΧΙ

Αν ναι, τι
είδους; _____

Πόσα ποτά την
εβδομάδα; _____

15. Καπνίζεις; ΝΑΙ ΟΧΙ

Αν ναι, πόσα τσιγάρα ημερησίως; _____

16. Πόσο συχνά θα χαρακτήριζες ότι το επίπεδο άγχους σου είναι υψηλό;

- α) σχεδόν πάντα
- β) πολύ συχνά
- γ) συχνά
- δ) μερικές φορές
- ε) σπάνια

17. Σου έχουν αναφέρει ότι πάσχεις ή στο παρελθόν έπασχες από μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες ασθένειες (υπογράμμισε την απάντηση);

Έμφραγμα μυοκαρδίου, Θρόμβωση Στεφανιαίων Αρτηριών, Θυρεοειδή, Αρτηριοσκλήρωση, Ανεύρυσμα, Υπέρταση – Υπόταση, Καρδιακή Μαρμαρυγή, Καρδιακό Αποκλεισμό, Στηθάγχη, Καρδιακή Ανεπάρκεια, Περιφερειακή Θρόμβωση, Άσθμα, Καρδιακές αρρυθμίες, Ηπατίτιδα, Εμφύσημα, Οστεοπόρωση, Αναιμία, Άγχος ή κατάθλιψη, Κήλη, Φλεβίτιδα, Επιληψία, Ανορεξία/ βουλιμία, Έλκος, Αμηνόρροια, Ορθοπεδικά ή άλλα προβλήματα (πχ. μέση, γόνατο, ώμος, κλπ):

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 2-WAY

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition							
	SS	Degr. of	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality	Observed power (alpha=0.05)
Intercept	0.000100	1	0.000100	0.008279	0.928889	0.000636	0.00828	0.050818
Error	0.157179	13	0.012091					
ANGLE	0.062526	2	0.031263	7.298089	0.003050	0.359546	14.59618	0.907244
Error	0.111378	26	0.004284					
TIME	0.003539	4	0.000885	0.860440	0.493899	0.062079	3.44176	0.255223
Error	0.053466	52	0.001028					
ANGLE*TIME	0.021124	8	0.002641	3.512466	0.001243	0.212716	28.09972	0.974779
Error	0.078183	104	0.000752					

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = 1,3230, df = 130,00														
	R1	R2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1		1,000000	0,999998	0,519480	0,851216	0,050891	0,494064	0,995876	0,188857	0,306528	1,000000	0,805229	1,000000
2	1	2	1,000000		0,999998	0,532245	0,859586	0,053644	0,481443	0,995280	0,181329	0,296206	1,000000	0,795243	1,000000
3	1	3	0,999998	0,999998		0,965345	0,999098	0,395752	0,076665	0,752915	0,015364	0,032911	0,997992	0,238632	0,995280
4	1	4	0,519480	0,532245	0,965345		1,000000	0,999965	0,000092	0,011274	0,000040	0,000049	0,188857	0,000528	0,146897
5	1	5	0,851216	0,859586	0,999098	1,000000		0,993870	0,000659	0,059530	0,000092	0,000207	0,494064	0,004221	0,419655
6	1	6	0,050891	0,053644	0,395752	0,999965	0,993870		0,000036	0,000180	0,000036	0,000036	0,008203	0,000038	0,005541
7	2	1	0,494064	0,481443	0,076665	0,000092	0,000659	0,000036		0,999630	1,000000	1,000000	0,851216	1,000000	0,897126
8	2	2	0,995876	0,995280	0,752915	0,011274	0,059530	0,000180	0,999630		0,978523	0,995280	0,999990	1,000000	0,999998
9	2	3	0,188857	0,181329	0,015364	0,000040	0,000092	0,000036	1,000000	0,978523		1,000000	0,519480	0,999987	0,596149
10	2	4	0,306528	0,296206	0,032911	0,000049	0,000207	0,000036	1,000000	0,995280	1,000000		0,683370	1,000000	0,752915
11	2	5	1,000000	1,000000	0,997992	0,188857	0,494064	0,008203	0,851216	0,999990	0,519480	0,683370		0,980608	1,000000
12	2	6	0,805229	0,795243	0,238632	0,000528	0,004221	0,000038	1,000000	1,000000	0,999987	1,000000	0,980608		0,989989
13	3	1	1,000000	1,000000	0,995280	0,146897	0,419655	0,005541	0,897126	0,999998	0,596149	0,752915	1,000000	0,989989	
14	3	2	0,995280	0,994614	0,741784	0,010587	0,056522	0,000168	0,999695	1,000000	0,980608	0,995876	0,999987	1,000000	0,999998
15	3	3	0,456431	0,444063	0,065952	0,000078	0,000528	0,000036	1,000000	0,999362	1,000000	1,000000	0,824431	1,000000	0,875469
16	3	4	0,146897	0,140642	0,010587	0,000038	0,000068	0,000036	1,000000	0,962098	1,000000	1,000000	0,444063	0,999943	0,519480
17	3	5	0,276171	0,266466	0,027769	0,000046	0,000168	0,000036	1,000000	0,993043	1,000000	1,000000	0,646557	0,999999	0,718935
18	3	6	0,002603	0,002426	0,000087	0,000036	0,000036	0,000036	0,962098	0,266466	0,998934	0,993043	0,019552	0,785010	0,027769

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = 1,3230, df = 130,00				
	14	15	16	17	18
1	0,995280	0,456431	0,146897	0,276171	0,002603
2	0,994614	0,444063	0,140642	0,266466	0,002426
3	0,741784	0,065952	0,010587	0,027769	0,000087
4	0,010587	0,000078	0,000038	0,000046	0,000036
5	0,056522	0,000528	0,000068	0,000168	0,000036
6	0,000168	0,000036	0,000036	0,000036	0,000036
7	0,999695	1,000000	1,000000	1,000000	0,962098
8	1,000000	0,999362	0,962098	0,993043	0,266466
9	0,980608	1,000000	1,000000	1,000000	0,998934
10	0,995876	1,000000	1,000000	1,000000	0,993043

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = 1,3230, df = 130,00				
	14	15	16	17	18
11	0,999987	0,824431	0,444063	0,646557	0,019552
12	1,000000	1,000000	0,999943	0,999999	0,785010
13	0,999998	0,875469	0,519480	0,718935	0,027769
14		0,999466	0,965345	0,993870	0,276171
15	0,999466		1,000000	1,000000	0,971202
16	0,965345	1,000000		1,000000	0,999630
17	0,993870	1,000000	1,000000		0,995280
18	0,276171	0,971202	0,999630	0,995280	

3-WAY ANOVA ΑΝΑΛΥΣΗ

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition							
	SS	Degr. of	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality	Observed power (alpha=0.05)
Intercept	147647.3	1	147647.3	2690.695	0.000000	0.995560	2690.695	1.000000
GROUP	1497.8	1	1497.8	27.295	0.000213	0.694617	27.295	0.997545
Error	658.5	12	54.9					
ANGLE	19.2	2	9.6	2.022	0.154272	0.144230	4.045	0.375523
ANGLE*GROUP	1.6	2	0.8	0.171	0.843820	0.014052	0.342	0.073472
Error	114.1	24	4.8					
PREPOST	49.2	1	49.2	28.083	0.000189	0.700622	28.083	0.998015
PREPOST*GROUP	7.9	1	7.9	4.486	0.055724	0.272124	4.486	0.495190
Error	21.0	12	1.8					
ANGLE*PREPOST	4.9	2	2.5	3.079	0.064523	0.204190	6.158	0.539217
ANGLE*PREPOST*GROUP	7.7	2	3.8	4.779	0.017911	0.284801	9.557	0.740733
Error	19.3	24	0.8					

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between; Within; Pooled MSE = 18,826, df = 12,707									
	Var1	R1	R2	1	2	3	4	5	6	
1	1	1	1		0,910312	0,999445	0,000288	1,000000	0,000198	
2	1	1	2	0,910312		0,999729	0,007514	0,760186	0,003234	
3	1	2	1	0,999445	0,999729		0,001336	0,989551	0,000618	
4	1	2	2	0,000288	0,007514	0,001336		0,000202	1,000000	
5	1	3	1	1,000000	0,760186	0,989551	0,000202		0,000165	
6	1	3	2	0,000198	0,003234	0,000618	1,000000	0,000165		
7	2	1	1	0,082055	0,048950	0,062826	0,010951	0,091392	0,009723	
8	2	1	2	0,185954	0,114206	0,144884	0,025973	0,205353	0,023003	
9	2	2	1	0,216624	0,134318	0,169694	0,030829	0,238604	0,027316	
10	2	2	2	0,276098	0,174438	0,218551	0,040861	0,302572	0,036216	
11	2	3	1	0,112031	0,067350	0,086181	0,015088	0,124489	0,013386	
12	2	3	2	0,232437	0,144884	0,182600	0,033415	0,255774	0,029612	

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between; Within; Pooled MSE = 18,826, df = 12,707						
	7	8	9	10	11	12	
1	0,082055	0,185954	0,216624	0,276098	0,112031	0,232437	
2	0,048950	0,114206	0,134318	0,174438	0,067350	0,144884	
3	0,062826	0,144884	0,169694	0,218551	0,086181	0,182600	
4	0,010951	0,025973	0,030829	0,040861	0,015088	0,033415	
5	0,091392	0,205353	0,238604	0,302572	0,124489	0,255774	
6	0,009723	0,023003	0,027316	0,036216	0,013386	0,029612	
7		0,350003	0,147704	0,025757	0,997459	0,092654	
8	0,350003		0,999994	0,964058	0,888801	0,999729	
9	0,147704	0,999994		0,999227	0,616228	1,000000	
10	0,025757	0,964058	0,999227		0,184163	0,999969	
11	0,997459	0,888801	0,616228	0,184163		0,467788	
12	0,092654	0,999729	1,000000	0,999969	0,467788		

ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2-WAY ANOVA για CMJ

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality
Intercept	245803.0	1	245803.0	1822.777	0.000000	0.991299	1822.777
Error	2157.6	16	134.9				
CONDITIO	8.2	3	2.7	1.241	0.305170	0.071988	3.723
Error	105.7	48	2.2				
PRE-POST	30.9	1	30.9	24.784	0.000137	0.607692	24.784
Error	19.9	16	1.2				
CONDITIO*PRE-POST	22.0	3	7.3	8.034	0.000194	0.334270	24.101
Error	43.9	48	0.9				

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = ,91430, df = 48,000									
	Co nd	TI ME	C_24_pr e_CMJ	C_24_po st_CMJ	C_48_pr e_CMJ	C_48_po st_CMJ	E_24_pr e_CMJ	E_24_po st_CMJ	E_48_pr e_CMJ	E_48_po st_CMJ
1	1	1		0,818793	0,999999	0,999997	0,067101	0,025715	1,000000	0,014985
2	1	2	0,818793		0,695988	0,673444	0,001095	0,521767	0,770719	0,398026
3	2	1	0,999999	0,695988		1,000000	0,110555	0,014254	1,000000	0,008126
4	2	2	0,999997	0,673444	1,000000		0,119663	0,012887	1,000000	0,007321
5	3	1	0,067101	0,001095	0,110555	0,119663		0,000134	0,082999	0,000134
6	3	2	0,025715	0,521767	0,014254	0,012887	0,000134		0,020169	0,999999
7	4	1	1,000000	0,770719	1,000000	1,000000	0,082999	0,020169		0,011640
8	4	2	0,014985	0,398026	0,008126	0,007321	0,000134	0,999999	0,011640	

2-WAY ANOVA για DJ RSI

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers (for_stats_RFD.STA) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition						
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality
Intercept	467.7184	1	467.7184	321.6190	0.000000	0.952609	321.6190
Error	23.2682	16	1.4543				
CONDITIO	0.3140	3	0.1047	3.3640	0.026112	0.173725	10.0920
Error	1.4936	48	0.0311				
PRE-POST	0.1319	1	0.1319	20.7242	0.000326	0.564320	20.7242
Error	0.1018	16	0.0064				
CONDITIO*PRE-POST	0.2450	3	0.0817	7.2891	<u>0.000400</u>	<u>0.312982</u>	21.8672
Error	0.5378	48	0.0112				

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = ,01120, df = 48,000									
	CO ND	TI ME	DJRSIPRE CTRL24	DJRSIPO STCTRL2 4	DJRSIPRE CTRL48	DJRSIPO STCTRL4 8	DJRSIPRE 24	DJRSIPO ST24	DJRSIPRE 48	DJRSIPO ST48
1	1	1		0,990431	0,999993	0,683768	0,999145	0,001514	0,947725	0,015631
2	1	2	0,990431		0,951523	0,205438	0,853789	0,017011	0,999989	0,125289
3	2	1	0,999993	0,951523		0,840570	0,999991	0,000687	0,850337	0,007054
4	2	2	0,683768	0,205438	0,840570		0,944764	0,000136	0,111053	0,000193
5	3	1	0,999145	0,853789	0,999991	0,944764		0,000339	0,691401	0,003010
6	3	2	0,001514	0,017011	0,000687	0,000136	0,000339		0,037503	0,992349
7	4	1	0,947725	0,999989	0,850337	0,111053	0,691401	0,037503		0,228155
8	4	2	0,015631	0,125289	0,007054	0,000193	0,003010	0,992349	0,228155	

2-WAY ANOVA για RFD 0-100

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers (for_stats_RFD.sta)							
	Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition							
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality	Observed power (alpha=0.05)
Intercept	1.708268E+10	1	1.708268E+10	398.7638	0.000000	0.961424	398.7638	1.000000
Error	6.854254E+08	16	4.283909E+07					
CONDITIO	1.769318E+07	3	5.897727E+06	3.1951	0.031666	0.166455	9.5853	0.702379
Error	8.860118E+07	48	1.845858E+06					
PRE-POST	2.289223E+07	1	2.289223E+07	36.2875	0.000018	0.694000	36.2875	0.999881
Error	1.009371E+07	16	6.308568E+05					
CONDITIO*PRE-POST	1.259091E+07	3	4.196969E+06	6.9354	<u>0.000569</u>	<u>0.302387</u>	20.8061	0.969221
Error	2.904747E+07	48	6.051556E+05					

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = 6052E2, df = 48,000									
	CO ND	TI ME	C_24_pr e_CMJ	C_24_po st_CMJ	C_48_pr e_CMJ	C_48_po st_CMJ	E_24_pr e_CMJ	E_24_po st_CMJ	E_48_pr e_CMJ	E_48_po st_CMJ
1	1	1		0,978668	0,999413	0,652214	0,988611	0,000144	0,333067	0,000145
2	1	2	0,978668		0,999891	0,992332	0,616798	0,000474	0,889938	0,000501
3	2	1	0,999413	0,999891		0,922684	0,856015	0,000210	0,669099	0,000222
4	2	2	0,652214	0,992332	0,922684		0,177436	0,004679	0,999578	0,004997
5	3	1	0,988611	0,616798	0,856015	0,177436		0,000134	0,056229	0,000134
6	3	2	0,000144	0,000474	0,000210	0,004679	0,000134		0,020196	1,000000
7	4	1	0,333067	0,889938	0,669099	0,999578	0,056229	0,020196		0,021478
8	4	2	0,000145	0,000501	0,000222	0,004997	0,000134	1,000000	0,021478	

2-WAY ANOVA για RFD 0-200

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers (for_stats_RFD.sta)							
	Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition							
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality	Observed power (alpha=0.05)
Intercept	9.411406E+09	1	9.411406E+09	443.0070	0.000000	0.965142	443.0070	1.000000
Error	3.399CMJE+08	16	2.124437E+07					
CONDITIO	7.079333E+06	3	2.359778E+06	3.3655	0.026066	0.173790	10.0966	0.727291
Error	3.365557E+07	48	7.011577E+05					
PRE-POST	4.068970E+06	1	4.068970E+06	8.2309	0.011135	0.339687	8.2309	0.768375
Error	7.909605E+06	16	4.943503E+05					
CONDITIO*PRE-POST	1.928963E+06	3	6.429878E+05	3.7197	0.017451	0.188629	11.1591	0.773943
Error	8.297278E+06	48	1.728600E+05					

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = 1729E2, df = 48,000									
	CO ND	TI ME	C_24_pr e_200	C_24_po st_200	C_48_pr e_200	C_48_po st_200	E_24_pr e_200	E_24_po st_200	E_48_pr e_200	E_48_po st_200
1	1	1		0,958314	0,999999	0,539201	0,990083	0,001335	0,007317	0,000164
2	1	2	0,958314		0,987666	0,989064	0,548201	0,029537	0,120241	0,001482
3	2	1	0,999999	0,987666		0,676504	0,964375	0,002475	0,013399	0,000200
4	2	2	0,539201	0,989064	0,676504		0,128782	0,210543	0,527582	0,017560
5	3	1	0,990083	0,548201	0,964375	0,128782		0,000199	0,000647	0,000135
6	3	2	0,001335	0,029537	0,002475	0,210543	0,000199		0,999034	0,965288
7	4	1	0,007317	0,120241	0,013399	0,527582	0,000647	0,999034		0,736210
8	4	2	0,000164	0,001482	0,000200	0,017560	0,000135	0,965288	0,736210	

2-WAY ANOVA για RFD 0-300

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance with Effect Sizes and Powers (for_stats_RFD.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition							
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p	Partial eta-squared	Non-centrality	Observed power (alpha=0.05)
Intercept	5.180964E+09	1	5.180964E+09	409.3564	0.000000	0.962384	409.3564	1.000000
Error	2.025018E+08	16	1.265636E+07					
CONDITIO	3.649606E+06	3	1.216535E+06	2.4993	0.070694	0.135104	7.4980	0.583673
Error	2.336370E+07	48	4.867437E+05					
PRE-POST	1.562395E+06	1	1.562395E+06	5.9349	0.026907	0.270570	5.9349	0.628703
Error	4.212059E+06	16	2.632537E+05					
CONDITIO*PRE-POST	1.190410E+06	3	3.968033E+05	3.8421	0.015208	0.193633	11.5262	0.788510
Error	4.957361E+06	48	1.032784E+05					

Μετα-ANOVA συγκρίσεις Tukey

Cell No.	Tukey HSD test; variable DV_1 (Spreadsheet2) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Within MSE = 1033E2, df = 48,000									
	CO ND	TI ME	C_24_pr e_300	C_24_po st_300	C_48_pr e_300	C_48_po st_300	E_24_pr e_300	E_24_po st_300	E_48_pr e_300	E_48_po st_300
1	1	1		0,939501	0,992023	0,840451	0,856266	0,022914	0,010721	0,000418
2	1	2	0,939501		0,999965	0,999995	0,199504	0,309839	0,187740	0,011380
3	2	1	0,992023	0,999965		0,998461	0,370909	0,159613	0,087809	0,004063
4	2	2	0,840451	0,999995	0,998461		0,114248	0,465798	0,307105	0,023893
5	3	1	0,856266	0,199504	0,370909	0,114248		0,000437	0,000252	0,000135
6	3	2	0,022914	0,309839	0,159613	0,465798	0,000437		0,999994	0,847749
7	4	1	0,010721	0,187740	0,087809	0,307105	0,000252	0,999994		0,944820
8	4	2	0,000418	0,011380	0,004063	0,023893	0,000135	0,847749	0,944820	