

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Φυσιολογία της Άσκησης & Προπονητική»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία  
με τίτλο:

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΓΑΣΤΡΟΚΝΗΜΙΟ  
ΚΑΙ ΥΠΟΚΝΗΜΙΔΙΟ ΜΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΜΙΑΣ ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗΣ  
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΛΜΑΤΩΝ ΒΑΘΟΥΣ**

ΤΟΥ

**Περικλή Κάβουρα (Α.Ε.Μ. 13005)**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

Επιβλέπων Καθηγητής:	Ηλίας Σμήλιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΤΕΦΑΑ ΔΠΘ
2ο Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:	Αθανάσιος Χατζηνικολάου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΤΕΦΑΑ ΑΠΘ
3ο Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:	Γεράσιμος Τερζής, Καθηγητής ΤΕΦΑΑ ΕΚΠΑ

**Κομοτηνή, 2022**

*“Στην οικογένεια μου, στα άτομα που πίστεψαν σε εμένα  
και στους καθηγητές μου”*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Ηλία Σμήλιο που με στήριξε, με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε ευκαιρίες για να βελτιωθώ και να αγαπήσω περισσότερο τον τομέα που ασχολούμαι.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αθανάσιο Χατζηνικολάου, τον Καθηγητή κ. Γεράσιμο Τερζή αλλά και την Κοσμήτορα και Καθηγήτρια κ. Ελένη Δούδα για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια στις απορίες μου και στις εργασίες μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που με στήριξαν αλλά και τους φοιτητές που βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής της μελέτης.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με συμπαράσταν και συνεχίζουν να με στηρίζουν με το δικό τους μοναδικό τρόπο όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, όπου χωρίς αυτούς δεν θα πετύχαινα πολλούς από τους στόχους μου.

*Κ.Π.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Περικλής Κάβουρας:** Μεταβολή ηλεκτροφυσιολογικών παραμέτρων στο γαστροκνήμιο και υποκνημίδιο μυ κατά την εκτέλεση μια προπονητικής μονάδας αλμάτων βάθους

(Με την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Ηλία Σμήλιου)

Οι ηλεκτροφυσιολογικές παράμετροι που παρατηρούνται με τη χρήση του ηλεκτρομυογραφήματος κατά την άσκηση είναι σημαντικές, ώστε να αξιολογηθεί η νευρομυϊκή λειτουργία κατά την εκτέλεση ενός πρωτοκόλλου άσκησης. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξεταστούν οι μεταβολές στο πλάτος των κυμάτων M, H και V του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση μιας προπονητικής μονάδας αλμάτων βάθους. Δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 9 άνδρες (ηλικία  $21,6 \pm 0,5$  έτη) οι οποίοι εκτέλεσαν 6 σετ των 8 αλμάτων βάθους με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των σετ, από το βέλτιστο ύψος πτώσης. Πριν και μετά (15 – 40 sec) από την εκτέλεση του 1<sup>ου</sup>, του 3<sup>ου</sup>, του 5<sup>ου</sup> και του 6<sup>ου</sup> σετ καταγράφηκε το μέγιστο πλάτος των κυματισμών H (Hmax) και M (Mmax), με ηλεκτροδιέγερση του κνημιαίου νεύρου με τους μύες σε ηρεμία, και του κυματισμού V (Vmax) κατά την εκτέλεση μέγιστης ισομετρικής σύσπασης. Παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης ( $p < 0,05$ ) στα Hmax και Hmax/Max τα οποία ήταν χαμηλότερα μετά από την εκτέλεση του κάθε σετ τόσο στο γαστροκνήμιο όσο και στον υποκνημίδιο μυ. Δεν παρατηρήθηκαν συστηματικές μεταβολές στο Vmax των δύο μυών. Το Vmax/Max στο γαστροκνήμιο μυ ήταν μικρότερο ( $p < 0,05$ ) μόνον μετά την εκτέλεση του 1<sup>ου</sup> σετ έναντι πριν από την εκτέλεσή του και στον υποκνημίδιο μυ μικρότερο ( $p < 0,05$ ) στο 6<sup>ο</sup> σετ συγκριτικά με το 1<sup>ο</sup> σετ. Συμπερασματικά, κατά την εκτέλεση σετ αλμάτων βάθους παρατηρείται μια πρόσκαιρη μείωση της διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων σε επίπεδο νωτιαίου μυελού (μείωση του Hmax/Mmax) του γαστροκνημίου και υποκνημιδίου μυός χωρίς συστηματική μεταβολή της κεντρικής ενεργοποίησης (Vmax/Max) των δύο μυών.

**Λέξεις κλειδιά:** Ηλεκτρομυογραφία, ηλεκτροδιέγερση, κύμα M, κύμα H, κύμα V

## ABSTRACT

**Periklis Kavouras:** Changes of electrophysiological parameters in gastrocnemius and soleus muscles during the execution of a drop jump training session

(Under the supervision of Associate Professor Ilias Smilios)

The electrophysiological parameters measured with the use of electromyography are important to assess neuromuscular function during the execution of an exercise protocol. The aim of the present study was to examine the changes in the amplitude of M, H and V waves of the gastrocnemius and the soleus muscles during the execution of a drop jump training session. The sample of the study consisted of 9 men (age  $21.6 \pm 0.5$  years), who performed 6 sets of 8 drop jumps with a rest interval of 4 minutes between sets, from the optimal drop height. Before and after (15 - 40 sec) the execution of the 1st, the 3rd, the 5th and the 6th set, the maximum amplitude of the H (Hmax) and M (Mmax) waves were recorded by electrostimulation of the tibial nerve with the muscles at rest, and the V (Vmax) wave amplitude while performing a maximum isometric contraction. A significant time main effect ( $p < 0.05$ ) was observed on Hmax and Hmax / Max which were lower after the performance of each set in both the gastrocnemius and the soleus muscle compared to before the execution of the sets. No systematic changes were observed in the Vmax of the two muscles. Vmax / Max of the gastrocnemius muscle was lower ( $p < 0.05$ ) only after the 1<sup>st</sup> set compared to before its execution while in the soleus muscle it was lower ( $p < 0.05$ ) in the 6<sup>th</sup> set compared to the 1<sup>st</sup> set. In conclusion, when performing sets of drop jumps, there is a temporary reduction in the excitability of motor neurons at the level of the spinal cord (reduction of Hmax/Mmax) of the gastrocnemius and the soleus muscles without systematic changes of their central activation (Vmax/Max).

**Key words:** Electromyography, M wave, H wave, V wave, electrostimulation

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ABSTRACT .....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	8
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>9</b>
1.1. Σκοπός .....	12
1.2. Ερευνητικές υποθέσεις .....	12
1.3. Οριοθετήσεις και Περισμοί.....	12
1.4. Ορισμοί και συντομογραφίες.....	13
<b>2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>15</b>
2.1. Δείγμα.....	15
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός.....	15
2.3. Μετρήσεις και όργανα μέτρησης.....	16
2.3.1. Ανθρωπομετρικές μετρήσεις .....	16
2.3.2. Άλματα βάθους – Ύψος κατακόρυφων αλμάτων .....	16
2.3.3. Βέλτιστο ύψος πτώσης.....	17
2.3.4. Καταγραφή ηλεκτροφυσιολογικών παραμέτρων.....	18
2.4. Στατιστική ανάλυση.....	19
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>20</b>
3.1. Ύψος άλματος (συνθήκη μέτρησης της ενεργοποίησης της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός).....	20
3.2. Ύψος άλματος (συνθήκη μέτρησης της ηλεκτρικής δραστηριότητας του υποκνημιδίου μυός).....	21
3.3. Πλάτος κύματος Mmax της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός.....	21
3.4. Πλάτος κύματος Mmax του υποκνημιδίου μυός.....	22
3.5. Πλάτος κυματισμού H της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός .....	22
3.6. Πλάτος κυματισμού H του υποκνημιδίου μυός.....	24
3.7. H/Mmax της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός.....	24

3.8. Η/Μmax του υποκνημιδίου μυός .....	25
3.9. Πλάτος κυματισμού V της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός.....	26
3.10. Πλάτος κυματισμού V του υποκνημιδίου μυός.....	26
3.11. V/Μmax της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός .....	27
3.12. V/Μmax του υποκνημιδίου μυός .....	28
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>29</b>
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>32</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>34</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.</b> Ύψος άλματος (M.O. $\pm$ T.A.) κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους για τη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του γαστροκνημίου μυός .....	20
<b>Σχήμα 2.</b> Ύψος άλματος (M.O. $\pm$ T.A.) κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους για τη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του υποκνημιδίου μυός .....	21
<b>Σχήμα 3.</b> Πλάτος του κυματισμού M (M.O. $\pm$ T.A.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	21
<b>Σχήμα 4.</b> Πλάτος του κυματισμού M (M.O. $\pm$ T.A.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	22
<b>Σχήμα 5.</b> Πλάτος του κυματισμού H (M.O. $\pm$ T.A.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	23
<b>Σχήμα 6.</b> Πλάτος του κυματισμού H (M.O. $\pm$ T.A.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	23
<b>Σχήμα 7.</b> Ομαλοποίηση του H/Mmax (M.O. $\pm$ T.A.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	24
<b>Σχήμα 8.</b> Ομαλοποίηση του H/Mmax (M.O. $\pm$ T.A.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	25
<b>Σχήμα 9.</b> Πλάτος του κυματισμού V (M.O. $\pm$ T.A.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	25
<b>Σχήμα 10.</b> Πλάτος του κυματισμού V (M.O. $\pm$ T.A.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	26
<b>Σχήμα 11.</b> Ομαλοποίηση V/Mmax (M.O. $\pm$ T.A.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	27
<b>Σχήμα 12.</b> Ομαλοποίηση V/Mmax (M.O. $\pm$ T.A.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους .....	27



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλεκτρομυογραφία είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών και, έμμεσα, για τον έλεγχο της λειτουργίας των νευρώνων που βρίσκονται έξω από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και τον έλεγχο της ενεργοποίησης του μυός από το νευρικό σύστημα (Clarys & Cabri, 1993; De Luca, 2006). Η ηλεκτροδιέγερση είναι μια τεχνική κατά την οποία παράγεται μυϊκή σύσπαση εφαρμόζοντας ηλεκτρικό ερεθισμό σε έναν κινητικό νευρώνα προκαλώντας συστολή του μυός και παραγωγή δύναμης (Vanderthommen & Crielaard, 2001).

Αν η ηλεκτρομυογραφία συνδυαστεί με την ηλεκτροδιέγερση μπορούν να αναλυθούν ηλεκτροφυσιολογικές μεταβολές σε επίπεδο μυός και νευρώνων. Μπορούν να αξιολογηθούν οι κυματισμοί M (ο μυς είναι σε κατάσταση ηρεμίας) και V (ο μυς είναι σε κατάσταση μέγιστης ισομετρικής σύσπασης), όπου μια νευρική ώση έπειτα από ηλεκτροδιέγερση ενός α κινητικού νευρώνα (πχ. κνημιαίο νεύρο) καταλήγει στο μυ αλλάζοντας το ηλεκτρικό δυναμικό της μυϊκής μεμβράνης προκαλώντας μυϊκή σύσπαση (Villa-Cha, 2010). Η μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού της μυϊκής μεμβράνης καταγράφεται με ηλεκτρομυογράφημα και ονομάζεται κυματισμός M (άθροισμα των δυναμικών ενέργειας των κινητικών μονάδων που ενεργοποιούνται όταν ο μυς είναι στην ηρεμία) ή V (κατά την εκτέλεση μέγιστης ισομετρικής σύσπασης). Με αυτόν το τρόπο αξιολογείται η μετάδοση του δυναμικού ενέργειας από το νεύρο στο μυ και της διάδοσης του κατά μήκος της μυϊκής μεμβράνης (κυματισμός M) και η διεγερσιμότητα του κινητικού νευρώνα από ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα (κυματισμός V) (McNeil et al., 2013).

Μπορεί, επίσης, να αξιολογηθεί το Η αντανακλαστικό (Hoffman Reflex) στο οποίο μια νευρική ώση σε έναν Ια αισθητικό νευρώνα, προκαλούμενη με ηλεκτροδιέγερση σε κατάσταση ηρεμίας, ταξιδεύει προς το νωτιαίο μυελό όπου διεγείρει έναν α κινητικό νευρώνα ο οποίος με τη σειρά του προκαλεί μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού της μυϊκής μεμβράνης οδηγώντας σε μυϊκή σύσπαση. Η μεταβολή της μεταβολή του ηλεκτρικού δυναμικού της μυϊκής μεμβράνης καταγράφεται και πάλι με ηλεκτρομυογράφημα και ονομάζεται κυματισμός Η ή αντανακλαστικό Η. Με αυτόν τον τρόπο αξιολογείται η διεγερσιμότητα του κινητικού νευρώνα σε επίπεδο νωτιαίου μυελού (McNeil et al., 2013).

Στο ανθρώπινο σώμα παρατηρούνται πολλές και ενδιαφέρουσες νευρομυϊκές και ηλεκτροφυσιολογικές μεταβολές κατά την εκτέλεση προγραμμάτων μυϊκής ενδυνάμωσης. Ως δύναμη ορίζεται η τάση που μπορεί να παραγάγει ένας μυς ή μια ομάδα μυών κατά τη διάρκεια μυϊκής συστολής κατόπιν διέγερσής του από το νευρικό σύστημα (Erdemir et al., 2006). Η δύναμη εμφανίζεται με διάφορες μορφές στις αθλητικές δραστηριότητες, ως μέγιστη δύναμη, ταχυδύναμη και αντοχή στην δύναμη. Μέγιστη δύναμη ορίζεται η μεγαλύτερη δύναμη που μπορεί να αναπτύξει το νευρομυϊκό σύστημα σε μια ακούσια κίνηση, ως ταχυδύναμη η δύναμη που παράγεται από το νευρομυϊκό σύστημα στη μονάδα του χρόνου και ως αντοχή στην δύναμη η ικανότητα παραγωγής για πολλές επαναλήψεις ή για διατήρηση της δύναμης για ένα παρατεταμένο χρονικό διάστημα (Erdemir et al., 2006; Heintz & Gutierrez-Farewik, 2006). Μια αποτελεσματική μέθοδος για τη βελτίωση της ταχυδύναμης και ιδιαίτερα της αλτικής ικανότητας είναι η πλειομετρική προπόνηση (Baechle, 2009). Το άλμα χαρακτηρίζεται ως μια πολυαρθρική κίνηση που απαιτεί όχι μόνο μέγιστη δύναμη αλλά και ταχυδύναμη. Πολλοί ερευνητές προτείνουν ότι, με την πλειομετρική προπόνηση και την παραγωγή μεγάλων τιμών δύναμης σε σύντομο χρονικό διάστημα, βελτιώνεται η αλτική ικανότητα (Comyns et al., 2011; Alkjaer et al., 2013). Μια πολύ αποτελεσματική άσκηση για την ανάπτυξη της αλτικής ικανότητας είναι τα άλματα βάθους όπου ο ασκούμενος εκτελεί άλμα μετά από πτώση από ένα υπερυψωμένο σημείο. Η εισαγωγή 2 έως 3 ασκήσεων, όπως τα άλματα βάθους, για διάστημα πάνω από 10 εβδομάδες προκαλούν βελτίωση της αλτικής ικανότητας (Alkjaer et al., 2013; Blakey & Southard 1987; Fatouros et al., 2000).

Για την εκτέλεση ενός άλματος βάθους ενεργοποιείται από το νευρικό σύστημα μια ομάδα μυών. Δυο από τους μύες που ενεργοποιούνται έντονα κατά την εκτέλεση αλμάτων βάθους είναι ο γαστροκνήμιος και ο υποκνημίδιος μυς. Οι δύο αυτοί μύες έχουν διαφορές στη σύστασή τους καθώς στο γαστροκνήμιο μυ έχει παρατηρηθεί υψηλότερο ποσοστό μυϊκών ινών τύπου II από ότι στον υποκνημίδιο μυ (Edgerton et al., 1975; Gollnick et al., 1974). Δημιουργείται το ερώτημα αν η κόπωση του γαστροκνημίου μυός είναι μεγαλύτερη σε σχέση με του υποκνημίδιου μυός με την εφαρμογή αλμάτων βάθους επειδή διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό μυϊκών ινών ταχείας συστολής που έχουν μικρότερη ανοχή στην κόπωση και αν υπάρχουν διαφορές στη μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής τους δραστηριότητας. Μελέτες έχουν παρατηρήσει μείωση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του γαστροκνημίου μυός και διατήρηση της δραστηριότητας του

υποκνημιδίου μυός με μείωση της απόδοσης στο μέγιστο άλμα βάθους, μετά από την εκτέλεση υπομέγιστων αλμάτων βάθους, αργού κύκλου διάτασης βράχυνσης (>250 ms), έως την εξάντληση (Nicol et al., 1996; Horita et al., 2003). Ωστόσο, σε άλλες μελέτες με την εφαρμογή παρόμοιου πρωτοκόλλου άσκησης δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές ή μείωση της ηλεκτρικής δραστηριότητας και των δύο μυών (Regueme et al., 2005; Kuitunen et al., 2002).

Σε ότι αφορά τους κυματισμούς M και H, μετά από μια συνεδρία αλμάτων βάθους παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση της σκληρότητα των μυών και των τενόντων προκαλώντας μείωση του αντανακλαστικό H (Dyhre – Pulsen, 1991) ενώ, σε άλλη έρευνα παρατηρήθηκε μια αύξηση του πλάτους του κυματισμού M κατά τη φάση αιώρησης και λίγο πριν τη φάση προσγείωσης του άλματος το αντανακλαστικό H είχε μια μικρή αύξηση (Moritani et al., 1990). Επίσης, μετά από άλματα από μεγάλο ύψος πτώσης το H αντανακλαστικό ήταν μεγαλύτερο σε σύγκριση με άλματα από χαμηλό ύψος (Leukel et al., 2008). Ωστόσο, δεν έχει μελετηθεί η μεταβολή του πλάτους των κυματισμών M, H και V του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός για να διερευνηθεί αν υπάρχουν μεταβολές στη διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων σε επίπεδο νωτιαίου μυελού και της ικανότητας κεντρικής ενεργοποίησης των μυών κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός πρωτόκολλο αλμάτων βάθους μέγιστης προσπάθειας με γρήγορο κύκλο διάτασης – βράχυνσης των μυών (<250 ms).

Στην παρούσα μελέτη επιχειρείται να εξεταστεί η μεταβολή ηλεκτροφυσιολογικών παραμέτρων, των M, H και V κυματισμών,) του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση μέγιστων αλμάτων βάθους με γρήγορο κύκλο διάτασης βράχυνσης (<250 ms). Εξετάζεται το ερώτημα αν οι ηλεκτροφυσιολογικές μεταβολές του γαστροκνημίου μυός θα είναι μεγαλύτερες από αυτές του υποκνημιδίου μυός με την εφαρμογή αλμάτων βάθους επειδή διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό μυϊκών ινών ταχείας συστολής που έχουν μικρότερη ανοχή στην κόπωση. Τα δεδομένα θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του νευρομυϊκού συστήματος κατά την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων αλμάτων βάθους με γρήγορο κύκλο διάτασης βράχυνσης, μιας άσκησης που χρησιμοποιείται ευρέως στην αθλητική προπόνηση.

### 1.1. Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει το πλάτος των κυμάτων  $M$ ,  $V$  και  $H$  και των μεταξύ τους λόγων, για να αξιολογηθεί η μεταβολή της διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός πρωτοκόλλου μέγιστων αλμάτων βάθους, γρήγορου κύκλου διάτασης βράχυνσης.

### 1.2. Ερευνητικές υποθέσεις

Η εκτέλεση ενός προγράμματος αλμάτων βάθους γρήγορου κύκλου διάτασης – βράχυνσης (χρόνος επαφής με το έδαφος  $<250$  ms) θα προκαλέσει σταδιακές μεταβολές στις ηλεκτροφυσιολογικές παραμέτρους του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός, όπως μείωση του πλάτους του κυματισμού  $H$  και του λόγου  $H/M_{max}$  μετά από μια συνεδρία αλμάτων βάθους εν αντιθέσει με το πλάτος του  $M_{max}$  κυματισμού και του λόγου  $V/M_{max}$  τα οποία δεν θα μεταβληθεί. Οι μεταβολές αυτές θα είναι μεγαλύτερες στο γαστροκνήμιο μυ.

### 1.3. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί

Οι οριοθετήσεις της παρούσας μελέτης είναι:

- *Ως προς την επιλογή του δείγματος:* Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν άντρες, φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.
- *Ως προς τους μύες που εξετάστηκαν:* Επιλέχθηκαν μόνον οι μύες του γαστροκνημίου και υποκνημιδίου μυός, ενώ υπάρχουν και άλλοι μύες που συμμετέχουν στην εκτέλεση ενός άλματος βάθους όπως οι μύες του τετρακεφάλου και οι γλουτιαίοι.
- *Ως προς την προπονητική εμπειρία:* Οι δοκιμαζόμενοι δεν εκτελούσαν συστηματικά άλματα βάθους στις προπονήσεις τους στο παρελθόν,
- *Ως προς τον χρόνο επαφής με το έδαφος:* Οι δοκιμαζόμενοι θα έπρεπε να έχουν χρόνο επαφής με το έδαφος μικρότερο των 250 ms.
- *Ως προς την ύψος του άλματος:* Οι δοκιμαζόμενοι θα έπρεπε να εκτελούν το άλμα με την καταβολή μέγιστης προσπάθειας.

#### 1.4. Ορισμοί και συντομογραφίες

- *Γαστροκνήμιος μυς:* Ο μυς του οποίου η έσω κεφαλή εκφύεται από την ιγνυακή επιφάνεια του μηριαίου οστού και του αρθρικού θύλακα της κατά γόνου διάρθρωσης. Η έξω κεφαλή εκφύεται από την έξω υπερκονδύλια γραμμή, προσκείμενη στη μοίρα της ιγνυακής επιφάνειας, το έξω υπερκονδύλιο κύρτωμα και ο αρθρικός θύλακας της κατά γόνου διάρθρωση καταφύεται στον αχίλλειο τένοντα. Η ενέργεια του γαστροκνημίου μυός είναι η πελματιαία κάμψη του άκρου πόδα, η προσαγωγή του και η έσω στροφή του. Με ακινητοποιημένο τον άκρο πόδα, έλκει το μηρό προς την κνήμη.
- *Ηλεκτρομυογραφία:* Τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών. Η ηλεκτρική τάση καταγράφεται από ειδικά επιφανειακά ηλεκτρόδια τα οποία συνδέονται με έναν ενισχυτή σήματος, έναν μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα και στην συνέχεια με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με την ηλεκτρομυογραφία ελέγχεται η λειτουργία και η διεγερσιμότητα των νευρώνων, η λειτουργία των μυών όπως προαναφέρθηκε και της νευρομυϊκής σύναψης (δηλαδή της επαφής του νευρώνα και μυός).
- *Ηλεκτροδιέγερση:* Είναι μια τεχνική με την οποία προκαλείται ηλεκτρική διέγερση νεύρου για την ενεργοποίηση του μυϊκού ιστού. Έτσι εφαρμόζεται ηλεκτρικός ερεθισμός με την χρήση ηλεκτροδίων επιφάνειας, με αποτέλεσμα να προκληθεί ακούσια μυϊκή συστολή και παραγωγή δύναμης.
- *Η αντανακλαστικό (Hoffman Reflex):* Ο κυματισμός H (Hoffman 1918) είναι το ηλεκτρικό ισοδύναμο ενός (τενόντιου) αντανακλαστικού, μια ώθηση που ταξιδεύει στον νωτιαίο μυελό από το αισθητήριο νεύρο Ia και στη συνέχεια σε ένα κινητικό νεύρο μετά από ηλεκτρική διέγερση ενώ ο μυς είναι σε ηρεμία. Είναι ένας δείκτης διεγερσιμότητας του κινητικού νευρώνα σε επίπεδο του νωτιαίου μυελού. Ένα χαρακτηριστικό του αντανακλαστικού αυτού είναι ότι παρουσιάζει διακυμάνσεις στο πλάτος κύματος ακόμα και κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενης ηλεκτρικής διέγερσης με την ίδια ένταση ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως, ο κυματισμός H εμφανίζεται 30 – 40 ms μετά από την ηλεκτροδιέγερση.
- *Κυματισμός M:* Η ηλεκτρομυογραφική εκδήλωση μιας μυϊκής συστολής που προκαλείται από μια άμεση, ενιαία ηλεκτρική διέγερση των κινητικών νευρώνων. Συνήθως, ο κυματισμός εμφανίζεται 3-6 ms μετά την ηλεκτροδιέγερση.

- *Κυματισμός V*: Είναι ένας κυματισμός που προκαλείται από ηλεκτρική διέγερση ενός κινητικού νεύρου κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης ισομετρικής συστολής και χρησιμοποιείται ως δείκτης ενεργοποίησης των μυών από το κεντρικό νευρικό σύστημα.
- *Μέγιστη ισομετρική σύσπαση*: Στατικό έργο των μυών με το μήκος τους να μην μεταβάλλεται καθώς η δύναμη που παράγουν ισούται με την εξωτερική αντίσταση.
- *M.O. ± T.A.*: Μέσος όρος ± Τυπική Απόκλιση
- *Πλειομετρική προπόνηση*: Η προπόνηση η οποία συνδέεται συνήθως με αλτικές ασκήσεις. Συναντάται επίσης, με τον όρο κύκλος διάτασης – βράχυνσης του μυός γιατί ο μυς στην αρχή εκτελεί πλειομετρική δράση (ο μυς επιμηκύνεται), έπειτα ισομετρική (χωρίς κίνηση, αλλά στιγμιαία) και στο τέλος μειομετρική συστολή (ο μυς βραχύνεται).
- *Πλάτος κύματος*: Είναι το συνολικό ύψος κύματος που παρατηρείται σε ένα ηλεκτρομυογράφημα.
- *Υποκνημίδιος μυς*: Ο μυς του οποίου η κνημιαία κεφαλή εκφύεται από την ιγνυακή γραμμή και το έσω χείλος της κνήμης και η περονιαία κεφαλή από την κεφαλή της περόνης. Ο υποκνημίδιος μυς προκαλεί πελματιαία κάμψη του άκρου πόδα όπου τον προσάγει και τον στρέφει προς τα έσω. Με ακινητοποιημένο τον άκρο πόδα έλκει την κνήμη προς τα πίσω.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1. Δείγμα

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 9 άνδρες (ηλικία  $21,6 \pm 0,5$  χρονών, ύψος :  $1,80 \pm 0,04$  m, σωματική μάζα :  $76,9 \pm 5,8$  kg) φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι υπέγραψαν έντυπο εθελοντικής συμμετοχής στη μελέτη αφού πρώτα τους δόθηκε, γραπτώς και προφορικά, αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν υγιείς, μέτρια προπονημένοι με ασκήσεις με αντιστάσεις και χωρίς προηγούμενη συστηματική εμπειρία στην εκτέλεση αλμάτων βάθους.

### 2.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε δύο συνεδρίες για κάθε ασκούμενο στο Εργαστήριο Κλινικής Εργοφυσιολογίας και Φυσιολογίας της Άσκησης της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης. Πριν από κάθε συνεδρία πραγματοποιούνταν καθαρισμός του δέρματος με απομάκρυνση των τριχών με ξυραφάκι αλλά και καθαρισμός της επιφάνειας με αλκοολικό διάλειμμα. Στην συνέχεια τοποθετούνταν τα ηλεκτρόδια επιφάνειας στους αντίστοιχους μύες και υπολογιζόταν το βέλτιστο σημείο ηλεκτρικής διέγερσης του κνημιαίου νεύρου και η ανάλογη ένταση του ηλεκτρικού ερεθισμού που προκαλούσε τον μέγιστο κυματισμό M και H. Μετά εκτελούνταν γενική προθέρμανση των ασκούμενων που περιλάμβανε ποδηλασία σε εργοποδήλατο με διάρκεια 5 λεπτά, σε ένταση 80 περιστροφές το λεπτό (RPM) και επιβάρυνση 1 kg. Επίσης, στην προθέρμανση υπήρχε και μια άσκηση διάτασης για τους εκτείνοντες και καμπτήρες μύες του γόνατος, του γαστροκνημίου και υποκνημιδίου μυός. Στη συνέχεια, εκτελούσαν ειδική προθέρμανση που περιελάμβανε 5 μικρά και γρήγορα επιτόπια άλματα και 5 άλματα βάθους από το βέλτιστο ύψος πτώσης από το οποίο θα εκτελούσαν και το πρωτόκολλο στο κύριο μέρος του προγράμματος. Το πρωτόκολλο αλμάτων βάθους αποτελούνταν από 6 σετ των 8 αλμάτων με διάλειμμα 4 λεπτών μεταξύ των σετ από το βέλτιστο ύψος πτώσης. Καθ' όλη τη διάρκεια των αλμάτων οι ασκούμενοι δέχονταν οδηγίες και θετική ανατροφοδότηση, ώστε να επιτύχουν τον ιδανικό συνδυασμό μέγιστου δυνατού ύψους άλματος με το μικρότερο δυνατό χρόνο επαφής με το έδαφος. Σε κάθε άλμα καταγραφόταν το ύψος του άλματος ενώ πριν και

μετά (20 έως 40 sec) την εκτέλεση του 1<sup>ου</sup>, του 3<sup>ου</sup>, του 5<sup>ου</sup> και του 6<sup>ου</sup> σετ καταγράφηκαν στο γαστροκνήμιο και τον υποκνημίδιο με το μέγιστο εύρος των κυματισμών M και H με τους μύες σε ηρεμία και του κυματισμού V σε μέγιστη ισομετρική σύσπαση. Επειδή η ίδια ένταση ηλεκτρικού ερεθισμού μπορεί να μην προκαλεί και στο γαστροκνήμιο και στον υποκνημίδιο με τις μέγιστες τιμές των παραπάνω κυματισμών, το ίδιο πρωτόκολλο επαναλήφθηκε δύο φορές. Τη μια φορά έγινε καταγραφή των ηλεκτροφυσιολογικών παραμέτρων στο γαστροκνήμιο με και την άλλη στον υποκνημίδιο. Οι δύο προπονήσεις εκτελέστηκαν με τυχαία σειρά και με αντιστάθμιση με ενδιάμεσο διάστημα μιας εβδομάδος.

### **2.3. Μετρήσεις και όργανα μέτρησης**

#### **2.3.1. Ανθρωπομετρικές αξιολογήσεις**

Για την αξιολόγηση της σωματικής μάζας των ασκούμενων χρησιμοποιήθηκε επιδαπέδιος ζυγός (Seca). Ο κάθε δοκιμαζόμενος στεκόταν ακίνητος στο κέντρο τις πλατφόρμας του ζυγού, κοιτάζοντας μπροστά και χωρίς να στηρίζεται κάπου αφού είχε αφαιρέσει τα υποδήματά του και οτιδήποτε άλλο βαρύ αντικείμενο είχε πάνω του. Η μάζα του σώματός του μετρήθηκε με ακρίβεια 100 gr. Για την αξιολόγηση του ύψους, ο εξεταζόμενος στεκόταν σε όρθια θέση με τις φτέρνες ενωμένες χωρίς να φοράει υποδήματα και με το κεφάλι να κοιτάει ευθεία μπροστά. Η μέτρηση του ύψους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φορητού αναστημόμετρου (Seca, bodymeter 208) στον κατακόρυφο άξονα του οποίου ήταν προσαρμοσμένος ένας οριζόντιος χάρακας που ερχόταν σε επαφή με το υψηλότερο σημείο του κεφαλιού του δοκιμαζόμενου. Η καταγραφή του σωματικού ύψους γινόταν με ακρίβεια 0,1 cm.

#### **2.3.2. Άλματα βάθους – Ύψος κατακόρυφων αλμάτων**

Για την εκτέλεση του άλματος βάθους ο εξεταζόμενος βρισκόταν επάνω σε πλινθίο με τα χέρια του στην μεσολαβή και το ένα πόδι σε μικρή προβολή. Από αυτή την θέση έπεφτε από το πλινθίο και εκτελούσε άλμα αμέσως μετά την επαφή του με το έδαφος. Η οδηγία που του δινόταν ήταν να εκτελεί το άλμα όσο το δυνατόν ψηλότερα και γρηγορότερα μπορεί συνδυάζοντας το μέγιστο δυνατό ύψος άλματος με το μικρότερο δυνατό χρόνο επαφής με το έδαφος. Σε κάθε άλμα καταγράφηκε ο χρόνος επαφής με το



έδαφος και ο χρόνος πτήσης με ακρίβεια χιλιοστού του δευτερολέπτου (1/1000s) με σύστημα συλλογής οπτικών δεδομένων (Optojump Next, Microgate S.r.l., Italy). Το σύστημα αποτελείται από δυο μπάρες (μεγέθους 100 x 4 x 3 cm) μιας εκπομπής σήματος και μιας λήψης σήματος, με ενσωματωμένες σε κάθε μπάρα 96 διόδους οπτικού φωτός (LED) υπέρυθρου, που βρίσκονται σε επικοινωνία μεταξύ τους. Εντοπίζει οποιαδήποτε διακοπή της επικοινωνίας και μετρά τη διάρκεια αυτής επιτρέποντας την καταγραφή του χρόνου πτήσης και του χρόνου επαφής με το έδαφος. Το σύστημα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό για ηλεκτρονικό υπολογιστή (Optojump Next v. 1.9.7.0) το οποίο υπολογίζει το ύψος του άλματος με βάση τον χρόνο πτήσης χρησιμοποιώντας τον τύπο :

$$YA = g \cdot \chi\pi^2 / 8$$

Όπου YA = ύψος του άλματος (cm), g = η δύναμη της βαρύτητας (9,81) και ΧΠ = χρόνος πτήσης (sec). Για την ανάλυση των δεδομένων υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές του ύψους άλματος των τριών πρώτων και των τριών τελευταίων αλμάτων από το 1°, 3°, 5° και το 6° σετ.

### 2.3.3. Βέλτιστο ύψος πτώσης

Για τον προσδιορισμό του βέλτιστου ύψους οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν άλματα βάθους από πλινθία ύψους 25, 30, 40, 50, 60, 70, και 85 cm. Από κάθε ύψος πτώσης εκτελέστηκαν 4 έως 6 άλματα έως τη στιγμή που η απόδοση μεταξύ των αλμάτων δεν διέφερε περισσότερο από 5%. Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το καλύτερο άλμα που επιτεύχθηκε με την προϋπόθεση ότι ο χρόνος επαφής με το έδαφος ήταν μικρότερος από 250 ms. Για τον προσδιορισμό της σχέση ύψος άλματος – ύψος πτώσης του κάθε δοκιμαζόμενου, χρησιμοποιήθηκε η μαθηματική μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων με την εφαρμογή πολυώνυμου δευτέρου βαθμού:

$$\text{Ύψος άλματος (cm)} = \alpha \cdot \text{Ύψος πτώσης (cm)}^2 + \beta \cdot \text{Ύψος πτώσης (cm)} + \gamma$$

Το βέλτιστο ύψος πτώσης υπολογίστηκε από τον τύπο :

$$\text{Ύψος πτώσης (cm)} = -\beta / (2 \cdot \alpha)$$

#### 2.3.4. Καταγραφή ηλεκτροφυσιολογικών παραμέτρων

Η ηλεκτρική δραστηριότητα του γαστροκνημίου και του υποκνημίδιου μύος καταγράφηκε με τη χρήση διπολικών ηλεκτροδίων επιφανείας αργύρου – χλωρίου τοποθετημένα στον κατά μήκος άξονα της γαστέρας των μυών με ενδοηλεκτροδιακή απόσταση 2 εκατοστά σύμφωνα με τις οδηγίες SEMIAN (Freriks & Hermens, 1999). Το ηλεκτρόδιο στον υποκνημίδιο μυ τοποθετήθηκε στα 2/3 της μεταξύ γραμμής του εσωκονδυλιαίου οστού προς το έσω σφυρό ενώ το ηλεκτρόδιο στο γαστροκνήμιο μυ τοποθετήθηκε στην πιο εμφανή διόγκωση της γαστέρας του μύος. Για τη μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης αφαιρέθηκαν από το δέρμα οι τρίχες και οι νεκρές μονωτικές στοιβάδες της επιδερμίδας με χρήση ξυραφιού, έντονο τρίψιμο και καθάρισμα με αλκοολικό διάλυμα. Το ηλεκτρομυογραφικό σήμα περνούσε από ενισχυτή σήματος (κέρδος ενίσχυσης x 600) προς μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Biopac MP100, Santa Barbara, California, U.S.A.), με συχνότητα δειγματοληψίας 2000 Hz, συνδεδεμένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με ειδικό λογισμικό (Acqknowledge v 3.2.6) για αποθήκευση και μετέπειτα ανάλυση.

Για την πρόκληση των κυματισμών M, H και V έγινε διέγερση του κνημιαίου νεύρου του δεξιού ποδιού εφαρμόζοντας μονό ηλεκτρικό παλμό διάρκειας 1 ms με τη χρήση ηλεκτρικού διεγέρτη (Digitimer DS7AH, Welway Garden City, UK). Η διέγερση του νεύρου προκλήθηκε με διπολικά ηλεκτρόδια επιφάνειας με την άνοδο (ελαστικό ηλεκτρόδιο 1,5 x 3,5 cm) τοποθετημένη 4 έως 5 cm επάνω από το άνω χείλος της επιγονατίδας και την κάθοδο (ελαστικό κυκλικό ηλεκτρόδιο διαμέτρου 1 cm) στον ιγνυακό βόθρο. Με μικρές μετακινήσεις της καθόδου προσδιορίστηκε ως το ακριβές σημείο τοποθέτησης αυτό με το οποίο παράγονταν το μέγιστο πλάτος του κυματισμού M με σταθερή ένταση ηλεκτρικού ερεθισμού του κνημιαίου νεύρου. Κατόπιν, ξεκινώντας με χαμηλή ένταση ηλεκτρικού ερεθισμού (10 mA) και με σταδιακή αύξηση του κατά 5 mA, προσδιορίστηκε πρώτα η ένταση ερεθισμού πρόκλησης του μέγιστου κυματισμού H (Hmax) και στη συνέχεια του μέγιστου κυματισμού M (Mmax). Σε κάθε διέγερση γινόταν απεικόνιση των κυματισμών M και H σε ψηφιακό παλμογράφο (GW INSTEK GDS – 1052 – U).

Πριν και μετά (20 έως 40 sec) την εκτέλεση του 1<sup>ου</sup>, του 3<sup>ου</sup>, του 5<sup>ου</sup> και του 6<sup>ου</sup> σετ καταγράφηκαν στο γαστροκνήμιο και τον υποκνημίδιο μυ το μέγιστο εύρος των κυματισμών M και H με τους μύες σε ηρεμία και του κυματισμού V σε μέγιστη ισομετρική σύσπαση. Για την καταγραφή του κυματισμού H δίδονταν τρία ηλεκτρικά ερεθίσματα με

την ένταση (mA) με την οποία είχε βρεθεί ότι προκαλείται το  $H_{max}$  με ενδιάμεσο διάλειμμα 10 sec. Στη συνέχεια η ένταση του ερεθισμού αυξάνονταν στο 120% της έντασης που είχε βρεθεί ότι προκαλεί το  $M_{max}$  και δίδονταν άλλοι τρεις ερεθισμοί για την καταγραφή του κυματισμού M. Μετά, ο ασκούμενος εκτελούσε μέγιστη πελματιαία ισομετρική κάμψη της ποδοκνημικής για 4 sec και στο 2<sup>ο</sup> sec γινόταν ηλεκτροδιέγερση για την καταγραφή του κυματισμού V. Για την ανάλυση των δεδομένων, το πλάτος των κυμάτων H και M υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των τιμών των τριών ηλεκτροδιεγέρσεων.

Ο κυματισμός M αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ηλεκτρική δραστηριότητα του μυός όταν χρησιμοποιείται μέγιστος ηλεκτρικός ερεθισμός συμπεριλαμβάνοντας ενδογενείς (αλλαγή της μετάδοσης της νευρικής ώσης στη μυϊκή μεμβράνη λόγω μεταβολικών παραγόντων) ή εξωγενείς παράγοντες (αλλαγή της θέσης των ηλεκτροδίων) που μπορεί να επηρεάσουν το ηλεκτρικό σήμα που καταγράφεται με ηλεκτρόδια επιφανείας στο μυ. Για αυτόν τον λόγο, οι τιμές H και V αναλύθηκαν και ως απόλυτες τιμές αλλά και ως ομαλοποιημένες ως προς τη μέγιστη τιμή του M ( $H/M_{max}$  και  $V/M_{max}$ ) που καταγράφονταν στην αντίστοιχη χρονική στιγμή.

Κατά την εκτέλεση των ηλεκτροδιεγέρσεων, οι δοκιμαζόμενοι ήταν καθιστοί σε καρέκλα (γωνία στην άρθρωση του ισχίου 90°) με το αριστερό πόδι να πατά στο έδαφος με γωνία 90° στην άρθρωση του γόνατος και του αστραγάλου. Το δεξί πόδι ήταν ελαφρά τεντωμένο, με γωνία γόνατος 120°, και το πέλμα πατούσε σε ακίνητη πλατφόρμα με την άρθρωση του αστραγάλου να είναι σε γωνία 90°. Τα χέρια ήταν χαλαρά σταυρωμένα μπροστά στο στήθος των συμμετεχόντων.

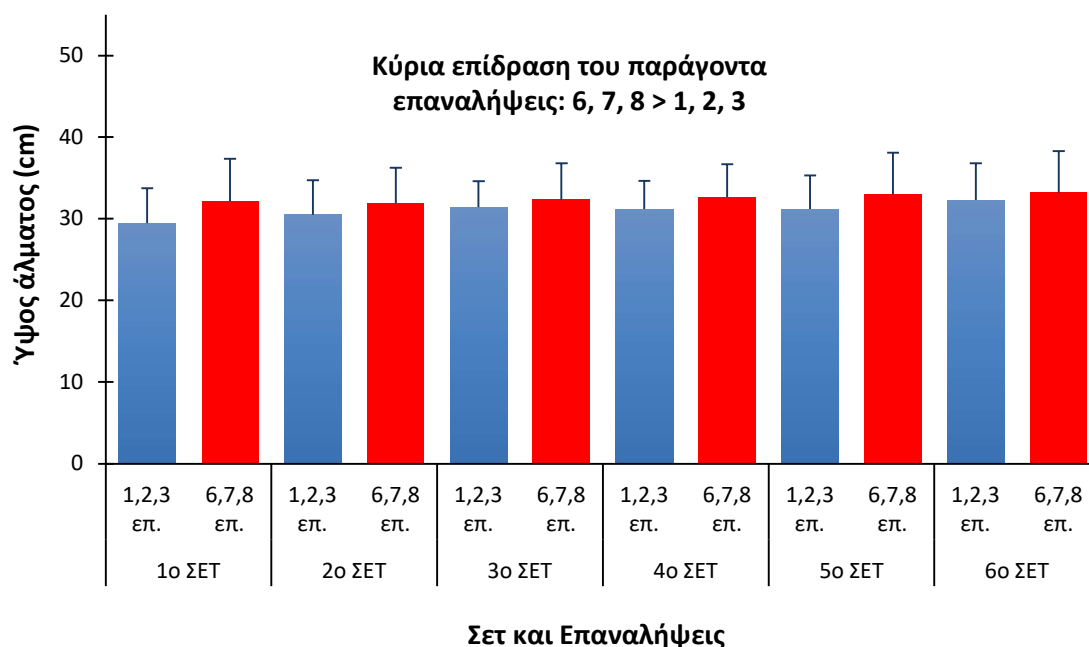
#### **2.4. Στατιστική ανάλυση**

Για την εξέταση της επίδρασης του σετ (1°, 3°, 5°, και 6° σετ) και της χρονικής στιγμής μέτρησης (πριν και μετά των σετ) στο πλάτος των κυματισμών M, H και V, και στις ομαλοποιημένες τιμές  $H/M_{max}$  και  $V/M_{max}$  του υποκνημιδίου και γαστροκνημίου μυός εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και στους δύο παράγοντες. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων αναλύθηκαν με το τεστ του Tukey. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο  $p < 0,05$ .

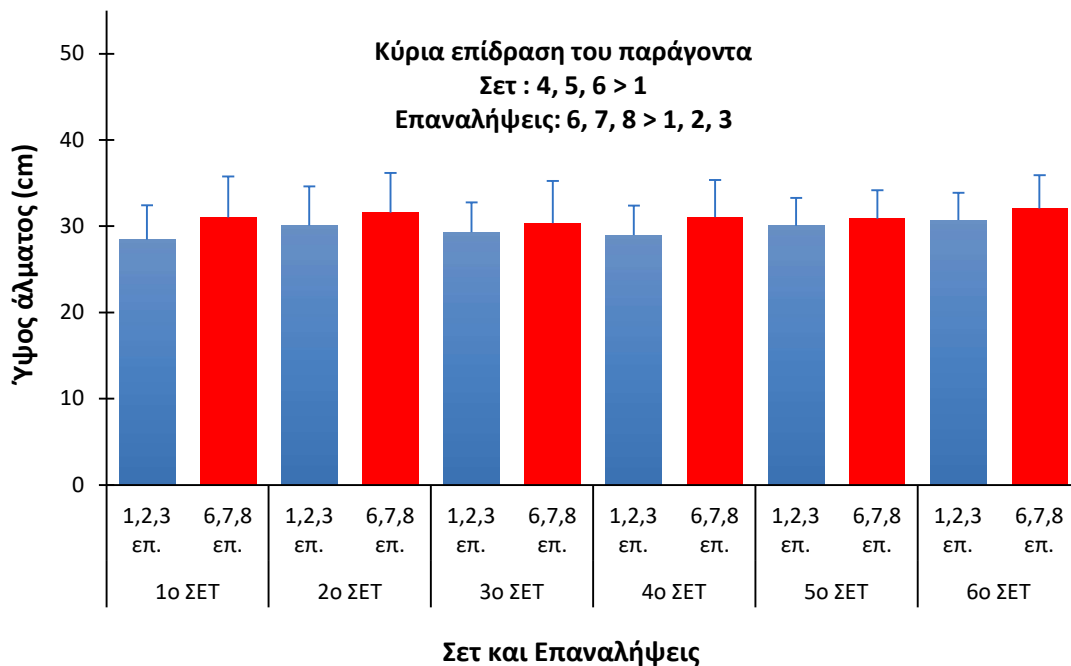
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1. Ύψος άλματος (συνθήκη μέτρησης της ενεργοποίησης της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός)

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση [ $F_{(3,24)}=3,13$ ,  $p=0,04$ ] μεταξύ των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης'. Επιμέρους αναλύσεις έδειξαν ότι το ύψος του άλματος στις τρεις πρώτες επαναλήψεις στο 6<sup>ο</sup> σετ ήταν υψηλότερο συγκριτικά με το 1<sup>ο</sup> και το 3<sup>ο</sup> σετ. Επιπλέον, στις τρεις τελευταίες το ύψος του άλματος στο 6<sup>ο</sup> σετ ήταν υψηλότερο συγκριτικά με το 3<sup>ο</sup> και το 5<sup>ο</sup> σετ. Επίσης, το ύψος των αλμάτων στις τρεις πρώτες επαναλήψεις ήταν χαμηλότερο σε σύγκριση με τις τρεις τελευταίες επαναλήψεις στο 1<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> σετ. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,24)}=2,04$ ,  $p=0,14$ ] αλλά παρατηρήθηκε σημαντική [ $F_{(1,8)}=10,29$ ,  $p=0,01$ ] κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονικής στιγμής μέτρησης' όπου το ύψος των τριών τελευταίων αλμάτων ήταν υψηλότερο από το ύψος των τριών πρώτων αλμάτων (Σχήμα 1).



**Σχήμα 1.** Ύψος άλματος (Μ.Ο. ± Τ.Α.) κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους για τη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του γαστροκνημίου μυός.



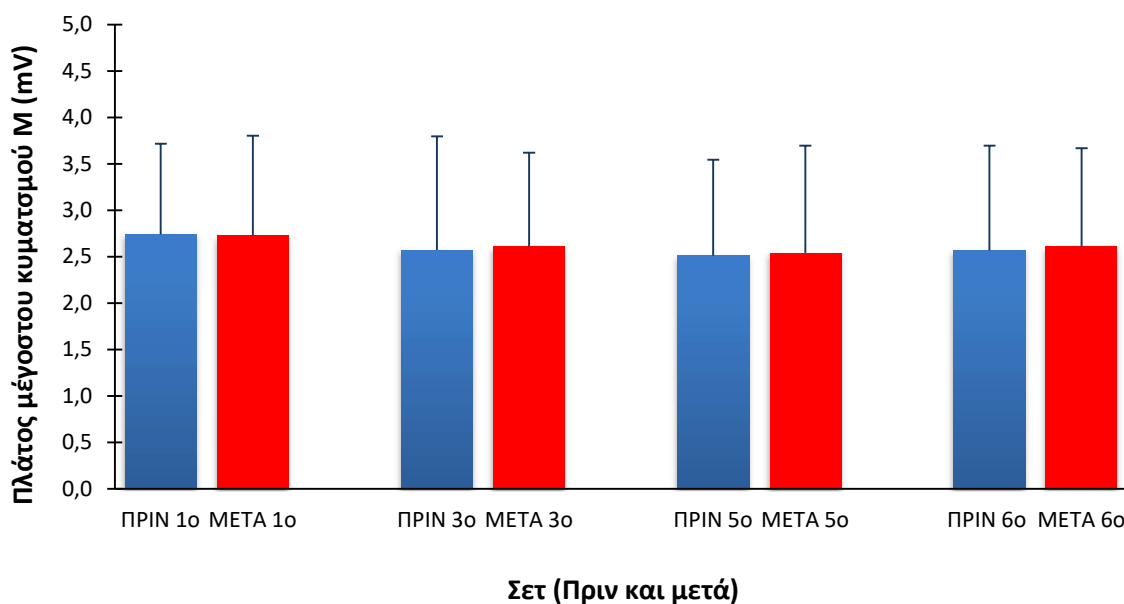
**Σχήμα 2.** Ύψος άλματος (Μ.Ο. ± Τ.Α.) κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους για τη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του υποκνημιδίου μυός

### 3.2. Ύψος άλματος (συνθήκη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του υποκνημιδίου μυός)

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων δεν έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση [ $F_{(3,24)} = 1,75, p = 0,18$ ] μεταξύ των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης'. Βρέθηκε ωστόσο, σημαντική επίδραση [ $F_{(3,24)} = 6,08, p = 0,003$ ] του παράγοντα 'σετ' και το ύψος του άλματος στο 5<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> σετ ήταν υψηλότερο συγκριτικά με το 1<sup>ο</sup> σετ. Επιπλέον, παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση και του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 10,31, p = 0,01$ ] όπου το ύψος των τριών τελευταίων αλμάτων ήταν υψηλότερο από το ύψος των τριών πρώτων αλμάτων (Σχήμα 2).

### 3.3. Πλάτος κύματος $M_{max}$ της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε μη σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 0,05, p = 0,98$ ] και κύρια επίδραση των παραγόντων 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 1,1, p = 0,37$ ] και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 0,18, p = 0,68$ ] στο πλάτος του κυματισμού M του γαστροκνημίου μυός (Σχήμα 3).



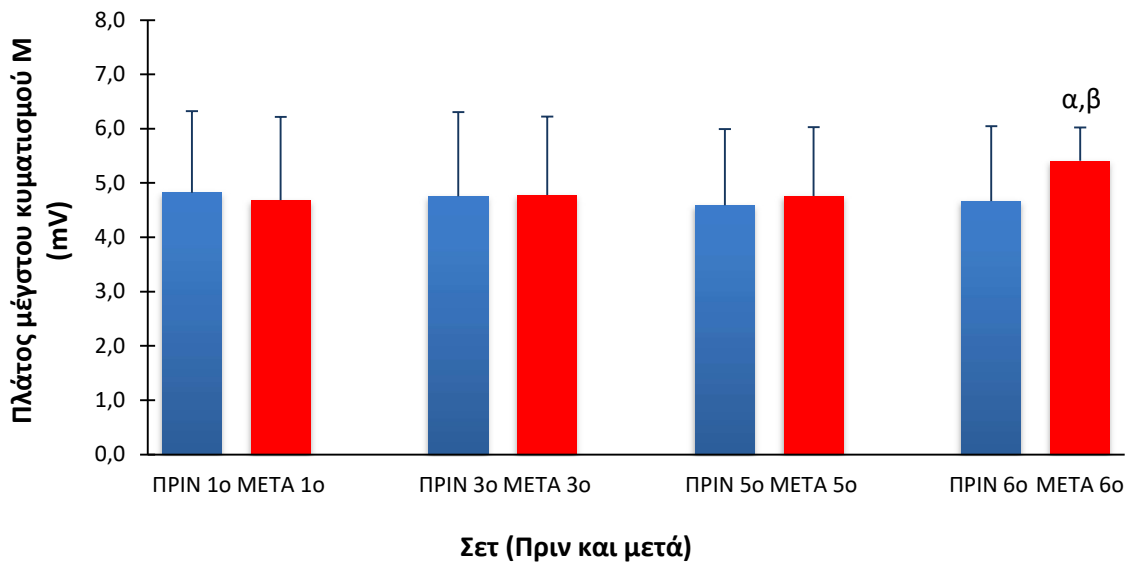
**Σχήμα 3.** Πλάτος του κυματισμού M (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλάτων βάθους.

### 3.4. Πλάτος κύματος Mmax του υποκνημιδίου μυός

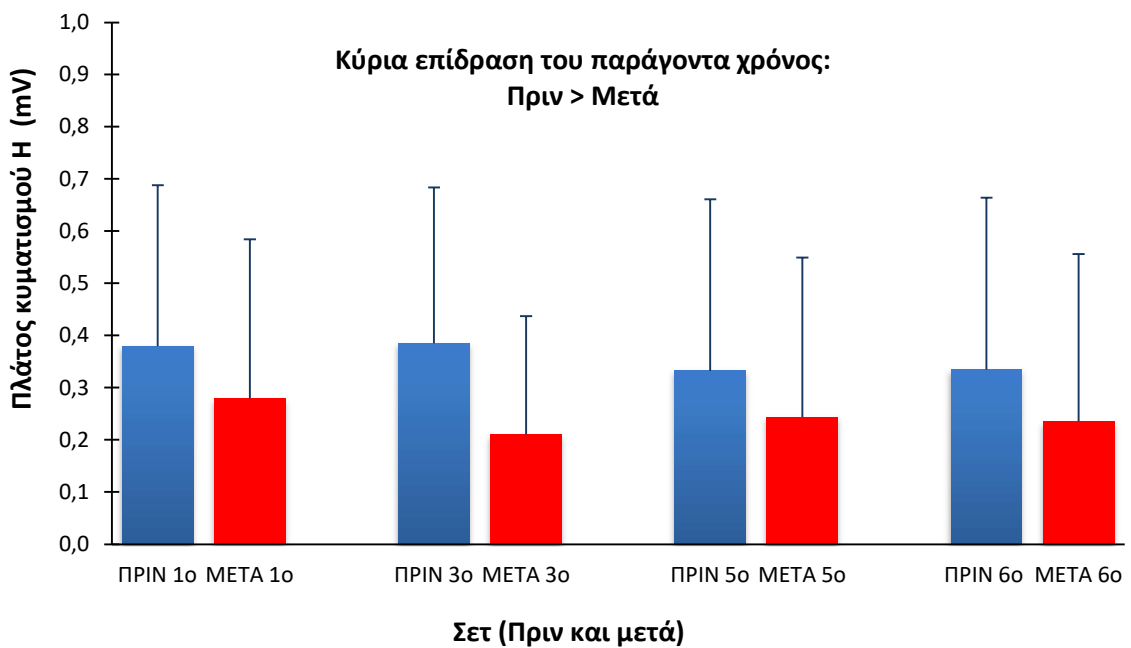
Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 3,89$ ,  $p = 0,02$ ] όπου το Mmax ήταν χαμηλότερο πριν το 6<sup>ο</sup> σετ συγκριτικά με μετά το τέλος του. Επίσης, μετά το 6<sup>ο</sup> σετ το Mmax ήταν μεγαλύτερο συγκριτικά με τις τιμές μετά το 1<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> σετ. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση των παραγόντων 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 0,54$ ,  $p = 0,65$ ] και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 2,41$ ,  $p = 0,16$ ] (Σχήμα 4).

### 3.5. Πλάτος κυματισμού H της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός

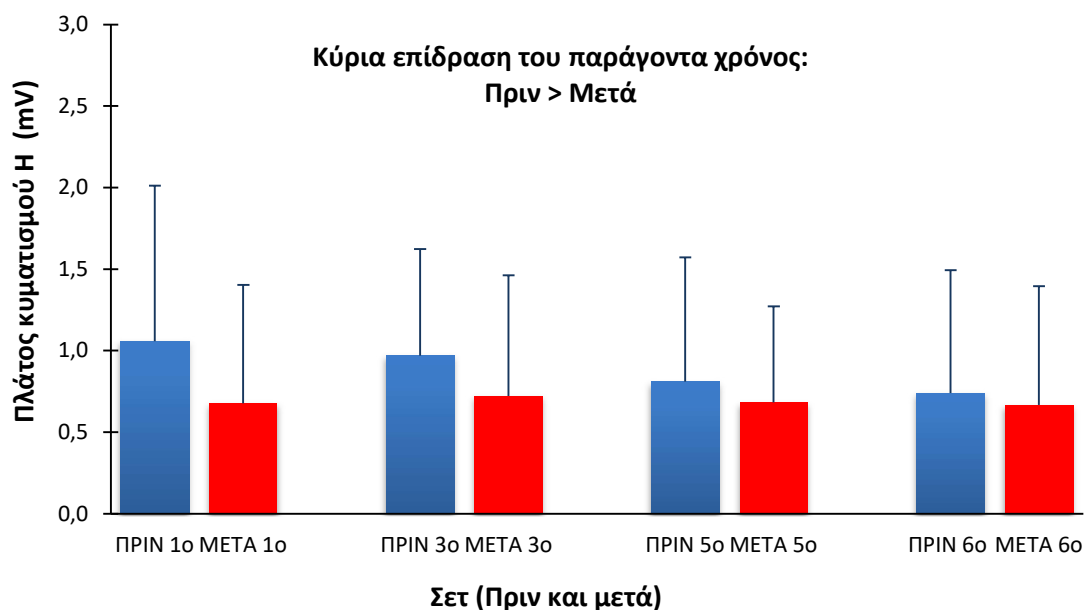
Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων δεν έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 0,40$ ,  $p = 0,76$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 0,27$ ,  $p = 0,85$ ]. Ωστόσο, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 10,14$ ,  $p = 0,01$ ], όπου το πλάτος του H κυματισμού ήταν μεγαλύτερο πριν την εκτέλεση των σετ από ότι μετά από την εκτέλεσή τους (Σχήμα 5).



**Σχήμα 4.** Πλάτος του κυματισμού M (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.  
*α*  $p < 0,05$  από το πριν, *β*  $p < 0,05$  από την αντίστοιχη τιμή στο 1<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup> και 5<sup>ο</sup> σετ



**Σχήμα 5.** Πλάτος του κυματισμού H (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.



**Σχήμα 6.** Πλάτος του κυματισμού Η (Μ.Ο.  $\pm$  Τ.Α.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.

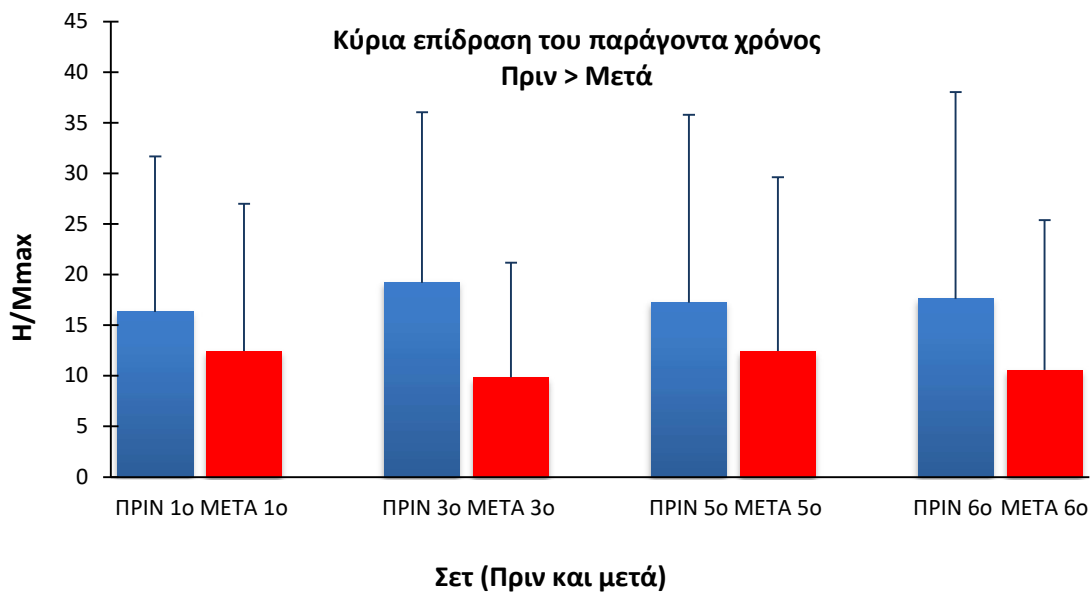
### 3.6. Πλάτος κυματισμού Η του υποκνημιδίου μυός.

Δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 2,01$ ,  $p = 0,14$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 1,23$ ,  $p = 0,32$ ]. Βρέθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 23,52$ ,  $P = 0,001$ ] όπου το πλάτος του Η κυματισμού ήταν μεγαλύτερο πριν την εκτέλεση των σετ συγκριτικά με μετά την εκτέλεση των σετ (Σχήμα 6).

### 3.7. Η/Mmax της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 0,59$ ,  $p = 0,63$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 0,02$ ,  $p = 0,99$ ] στο λόγο Η/Mmax. Βρέθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 8,26$ ,  $p = 0,02$ ] όπου ο λόγος Η/Mmax ήταν μεγαλύτερος πριν την εκτέλεση των σετ συγκριτικά με μετά την εκτέλεση των σετ (Σχήμα 7).

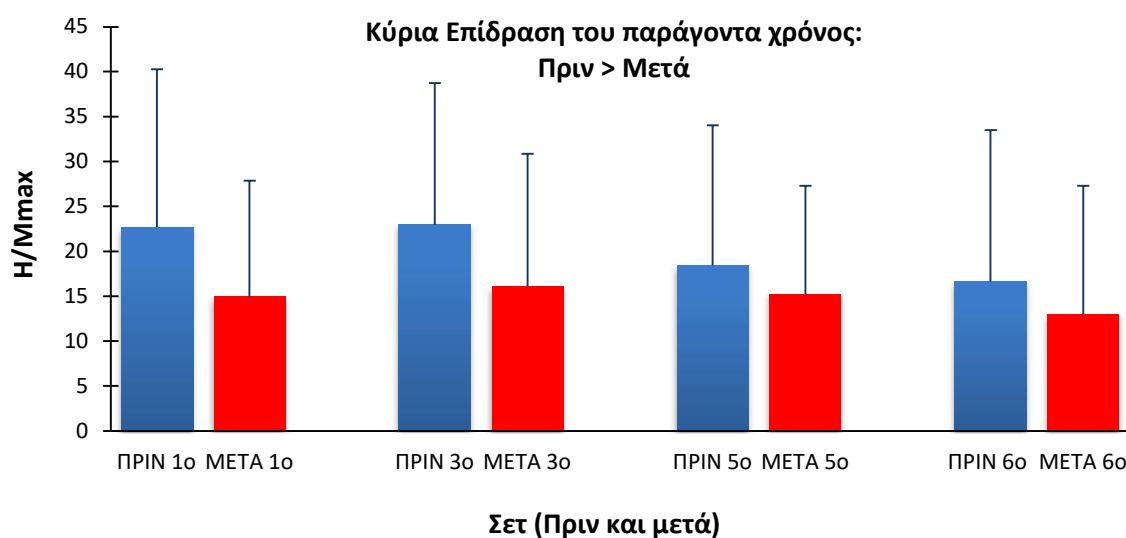




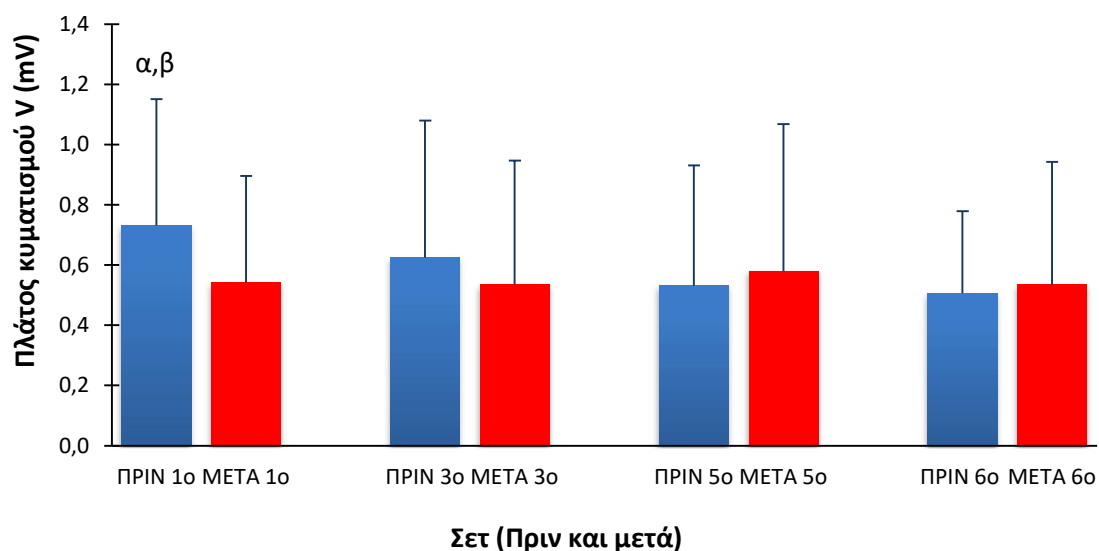
**Σχήμα 7.** Ομαλοποίηση H/Mmax (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του γαστροκνημίου μύος κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.

### 3.8. H/Mmax του υποκνημιδίου μύος

Δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'χρονική στιγμή μέτρησης' και 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 0,9$ ,  $p = 0,46$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 1,1$ ,  $p = 0,37$ ] στο H/Mmax του υποκνημιδίου του μύος. Ωστόσο, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 22,62$ ,  $p = 0,014$ ] όπου ο λόγος H/Mmax ήταν μεγαλύτερος πριν την εκτέλεση των σετ συγκριτικά με μετά την εκτέλεση των σετ (Σχήμα 8).



**Σχήμα 8.** Ομαλοποίηση H/Mmax (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του υποκνημιδίου μύος κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.



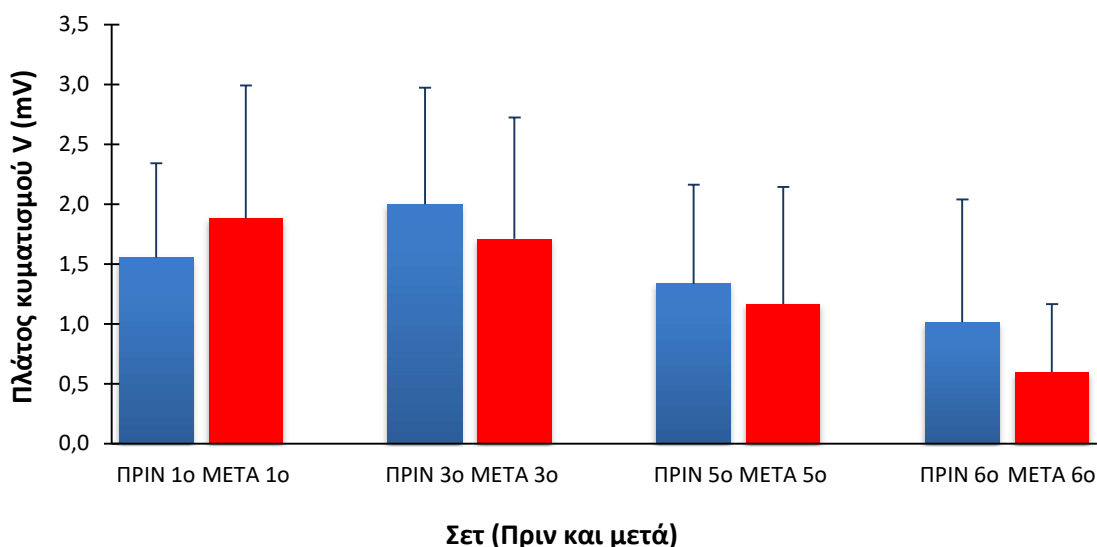
**Σχήμα 9.** Πλάτος του κυματισμού V (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.  
*α*  $p < 0,05$  από το μετά, *β*  $p < 0,05$  από την αντίστοιχη τιμή στο 6<sup>ο</sup> σετ

### 3.9. Πλάτος κυματισμού V της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός

Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 3,27$ ,  $p = 0,03$ ] στο πλάτος του κυματισμού V το οποίο ήταν υψηλότερο πριν την εκτέλεση του 1<sup>ου</sup> σετ συγκριτικά με μετά και πριν την εκτέλεση του 6<sup>ου</sup> σετ. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 0,85$ ,  $p = 0,48$ ] και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 0,65$ ,  $p = 0,44$ ] στο πλάτος του κυματισμού V του γαστροκνημίου μυός. (Σχήμα 9).

### 3.10. Πλάτος κυματισμού V του υποκνημίδιου μυός

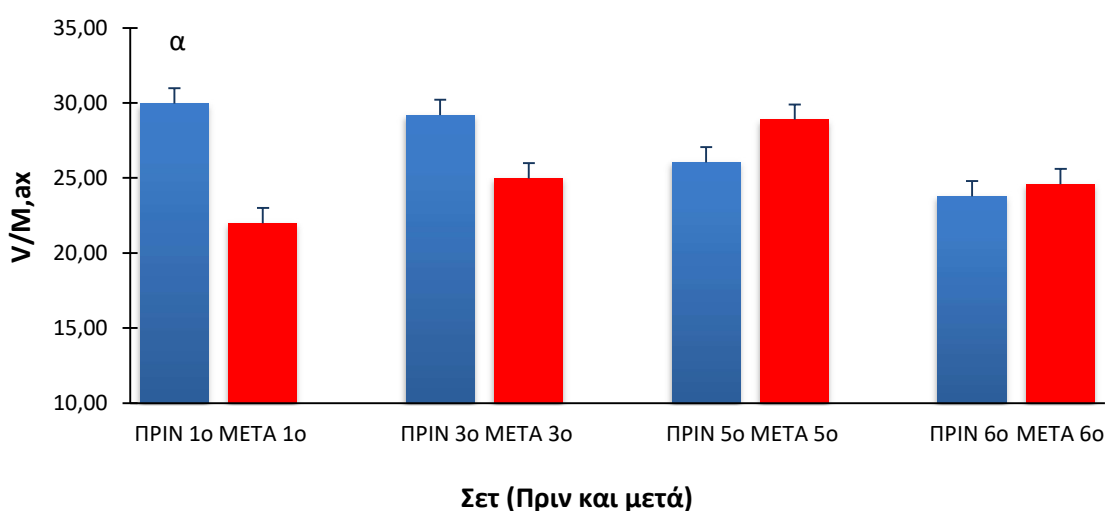
Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,15)} = 0,41$ ,  $p = 0,73$ ] και κύρια επίδραση των παραγόντων 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,5)} = 3,12$ ,  $p = 0,14$ ] και 'σετ' [ $F_{(3,15)} = 1,86$ ,  $p = 0,18$ ] στο πλάτος του κυματισμού V στον υποκνημίδιο μυ (Σχήμα 10).



**Σχήμα 10.** Πλάτος του κυματισμού V (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του υποκνημιδίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.

### 3.11. V/Mmax της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός

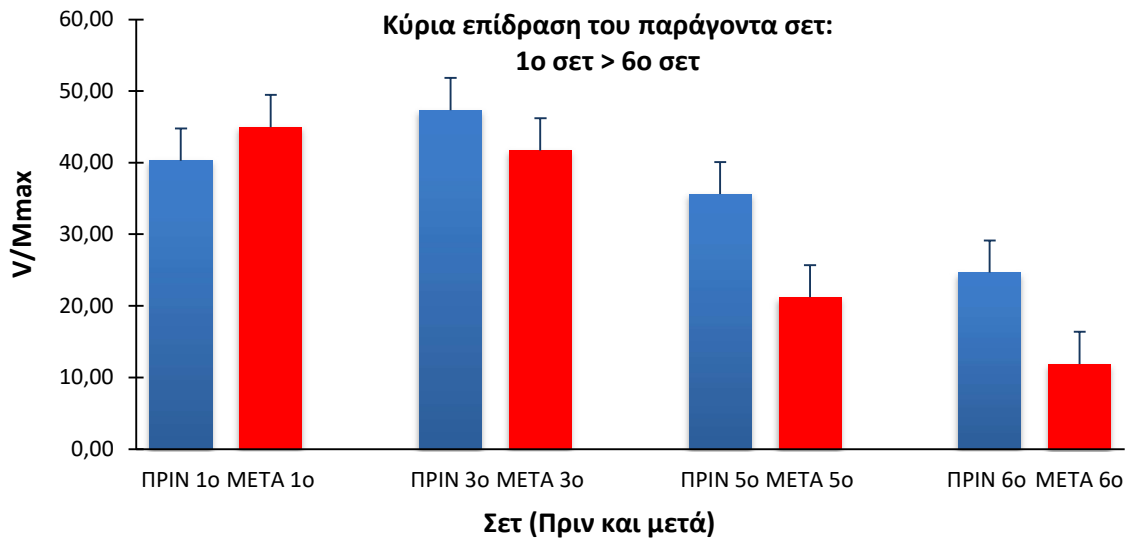
Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,24)} = 3,27, p = 0,04$ ], όπου ο λόγος V/Mmax ήταν υψηλότερος πριν την εκτέλεση του 1<sup>ου</sup> σετ συγκριτικά με αμέσως μετά την εκτέλεσή του. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση των παραγόντων 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,8)} = 0,73, p = 0,42$ ] και 'σετ' [ $F_{(3,24)} = 0,33, p = 0,80$ ] (Σχήμα 11).



**Σχήμα 11.** Ομαλοποίηση V/Mmax (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του γαστροκνημίου μυός κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.  
α  $p < 0,05$  από το μετά

### 3.12. V/Mmax του υποκνημιδίου μύος

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση των παραγόντων 'σετ' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(3,18)} = 0,72$ ,  $p = 0,55$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F_{(1,6)} = 1,85$ ,  $p = 0,22$ ]. Ωστόσο παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'σετ' [ $F_{(3,18)} = 3,33$ ,  $p = 0,04$ ] όπου ο λόγος V/Mmax ήταν υψηλότερος στο 1<sup>ο</sup> σετ συγκριτικά με το 6<sup>ο</sup> σετ (Σχήμα 12).



**Σχήμα 12.** Ομαλοποίηση V/Mmax (Μ.Ο. ± Τ.Α.) του υποκνημιδίου μύος κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε η μεταβολή ηλεκτροφυσιολογικών παραμέτρων του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός κατά την διάρκεια εκτέλεσης μια προπονητικής μονάδας αλμάτων βάθους και πιο συγκεκριμένα η μεταβολή του πλάτους των κυμάτων M, H, V και των μεταξύ τους λόγων για την αξιολόγηση της μεταβολής της διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων σε επίπεδο νωτιαίου μυελού και της ικανότητας κεντρικής ενεργοποίησης των δύο μυών. Αρχικά, όσον αφορά του ύψος άλματος δεν παρατηρήθηκαν μειώσεις από σετ σε σετ και στο τέλος των σετ οι τιμές ήταν υψηλότερες από ότι στην αρχή υποδηλώνοντας την έλλειψη κόπωσης από την εκτέλεση του συγκεκριμένου προγράμματος άσκησης από αυτό το δείγμα των δοκιμαζομένων. Ωστόσο, παρά τη μη μεταβολή της φυσικής απόδοσης, παρατηρήθηκε μια πρόσκαιρη μείωση της διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων σε επίπεδο νωτιαίου μυελού (μείωση του  $H_{max}/M_{max}$ ) του γαστροκνημίου και υποκνημιδίου μυός χωρίς συστηματική μεταβολή της κεντρικής ενεργοποίησης ( $V_{max}/M_{max}$ ) των δύο μυών αμέσως μετά την εκτέλεση των σετ άσκησης χωρίς να υπάρξουν συστηματικές μεταβολές από σετ σε σετ.

Προηγούμενες μελέτες έχουν παρατηρήσει μείωση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του γαστροκνημίου μυός και διατήρηση της δραστηριότητας του υποκνημιδίου μυός με μείωση της απόδοσης στο μέγιστο άλμα βάθους μετά από την εκτέλεση ενός πρωτοκόλλου με υπομέγιστα άλματα βάθους, αργού κύκλου διάτασης βράχυνσης (χρόνος επαφής >250 ms) έως την εξάντληση (Nicol et al., 1996; Horita et al., 2003). Ωστόσο, σε άλλες μελέτες, με παρόμοιο πρωτόκολλο άσκησης, δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές ή μείωση της ηλεκτρικής δραστηριότητας και των δύο μυών (Regueme et al., 2005; Kuitunen et al., 2002). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις μελέτες τα άλματα ήταν υπομέγιστα, αργού κύκλου διάτασης βράχυνσης και εκτελέστηκαν έως την εξάντληση. Δύσκολα ο συνδυασμός αυτός εφαρμόζεται στην αθλητική πρακτική. Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται περισσότερο στην αθλητική προπόνηση και διερευνήθηκε βαθύτερα η νευρομυϊκή λειτουργία κατά την εκτέλεση προπόνησης αλμάτων βάθους. Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε, για πρώτη φορά εξ όσων γνωρίζουμε, η μεταβολή του πλάτους των κυματισμών M, H και V. Το πλάτος του H αντανακλαστικού ήταν υψηλότερο πριν τα σετ σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα σετ και το  $V/M_{max}$  στο γαστροκνήμιο μυ δεν μεταβλήθηκε ενώ στον υποκνημίδιο μυ

φαίνεται ήταν υψηλότερο στο πρώτο σετ σε σύγκριση με το έκτο σετ χωρίς, ωστόσο, άλλες διαφορές μεταξύ των σετ. Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα πως δεν μεταβλήθηκε σημαντικά η ικανότητα ενεργοποίησης των δύο μυών από το κεντρικό νευρικό σύστημα. Σε προηγούμενη μελέτη με την εκτέλεση αλμάτων βάθους, βρέθηκε ότι στον υποκνημίδιο και γαστροκνήμιο μυ ο κυματισμός Η ήταν χαμηλότερος μετά από 5 άλματα από το υψηλότερο ύψος πτώσης (76 cm) από ότι από το χαμηλότερο ύψος πτώσης (31 cm) ενώ το κύμα Μ δεν διαφοροποιήθηκε (Leukel et al., 2008). Θα ήταν χρήσιμο να εξεταστεί αν οι νευρομυϊκές αποκρίσεις σε μια προπόνηση αλμάτων βάθους εξαρτώνται και από το ύψος πτώσης που χρησιμοποιείται.

Σε προπόνηση με αντιστάσεις για 14 εβδομάδες, προπονημένοι άντρες εκτελούσαν πρωτόκολλο συνδυασμού ασκήσεων για τον υποκνημίδιο μυ, σε ένταση 80% της 1RM. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο V και Η κυματισμός κατά την διάρκεια της μέγιστης ισομετρικής σύσπασης μετά από την προπόνηση με αντιστάσεις ήταν αυξημένος ενώ δεν μεταβλήθηκε καθόλου το μέγιστο κύμα Μ (Aagaard et al., 2002). Παρόμοια, ο Holtermann et al. (2007) βρήκαν αύξηση του Η κυματισμού μετά από ισομετρική προπόνηση διάρκειας 3 εβδομάδων. Αυτό προκύπτει επειδή, μετά από προπόνηση ενδυνάμωσης, αυξάνεται η διεγερσιμότητα των κινητικών νευρώνων, μειώνεται η προσυναπτική συστολή και αυξάνεται η ενεργοποίηση και κινητοποίηση των κινητικών μονάδων και παράλληλα της νευρομυϊκής σύναψης και συναρμογής (Aagaard et al., 2002). Ωστόσο, σε άλλη μελέτη ενώ βρέθηκε αύξηση του V/Max δεν βρέθηκε αύξηση του Η/Mmax μετά από προπόνηση 3 εβδομάδων με φορτία 60-80% της 1ME (Vila-Cha et al., 2011). Θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί αν η μακροχρόνια προπόνηση αλμάτων βάθους προκαλεί παρόμοιες προσαρμογές.

Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα του γαστροκνημίου μυός σε μυϊκές ίνες τύπου II, σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της κίνησης των αλμάτων βάθους για την ανάπτυξη υψηλών τιμών δύναμης με υψηλή ταχύτητα κίνησης, μπορεί να επιφέρει γρηγορότερη κεντρική ή περιφερική κόπωση με συνέπεια τη μεγαλύτερη μείωση της διεγερσιμότητάς τους συγκριτικά με τον υποκνημίδιο μυ που διαθέτει μικρότερο ποσοστό ινών τύπου II (Moritani et al., 1990, 1991). Στην παρούσα μελέτη, ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση στην ενεργοποίηση των δύο μυών κατά την εκτέλεση του προγράμματος αλμάτων βάθους. Φαίνεται πως ο κάθε μυς συμβάλλει, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του, στη συνολική παραγωγή έργου και η επιβάρυνση που δέχονται να είναι παρόμοια.

Θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί αν θα υπήρχε διαφοροποίηση στην ενεργοποίηση των δύο μυών αν θα εκτελεστεί ένα μεγαλύτερος όγκος αλμάτων βάθους που θα απαιτούσε την ενεργοποίηση τους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η έλλειψη μεταβολής της απόδοσης κατά την εκτέλεση των σετ ενώ παρατηρήθηκε μείωση του λόγου  $H/Max$  που υποδηλώνει μείωση της διεγερσιμότητας των κινητικών νεύρων σε επίπεδο νωτιαίου μπορεί, πιθανά, να οφείλεται στο φαινόμενο της ασκησιογενούς ενεργοποίησης. Η ασκησιογενής ενεργοποίηση μπορεί να επέλθει από την προηγούμενη εκτέλεση άσκησης μέγιστης παραγωγής έργου ή από ηλεκτρικά προκαλούμενη μυϊκή σύσπαση με συνέπεια την αύξηση της μυϊκής δύναμης και ισχύος (Τσούκος et al., 2013). Πράγματι, μετά από είτε μέγιστη εκούσια ή ηλεκτρική, εξωτερικά προκαλούμενη τετανική συστολή διάρκειας 10 δευτερολέπτων βρέθηκε αυξημένη παραγωγή μέγιστης δύναμης αλλά και του ρυθμού παραγωγής της δύναμης, βελτιώνοντας τις παραμέτρους που συνθέτουν την ισχύ (Sale, 2002). Η ασκησιογενής ενεργοποίηση μπορεί να οφείλεται σε μυογενείς μηχανισμούς, όπως είναι η αύξηση του βαθμού φωσφορυλίωσης των ελαφριών αλυσίδων της ακτίνης και της μυοσίνης (Chiu et al., 2003; Hodson et al., 2005; Sale, 2004), σε νευρογενείς μηχανισμούς όπως ο αυξημένος αριθμός επιστράτευσης των κινητικών μονάδων (Gullich & Schmidtbleicher, 1996; Hodgson et al., 2005) και μεταβολή στην διεγερσιμότητα των  $\alpha$  – κινητικών νευρώνων (Misiązek, 2003; Zucker & Regehr, 2002) αλλά και σε αλλαγές της γωνίας πρόσφυσης των μυϊκών ινών (Folland & Williams, 2007). Η μείωση του  $H/Mmax$  κατά την εκτέλεση των σετ και η μεταβολή του από σετ σε σετ όπως και η ουσιαστική μη μεταβολή του  $V/Max$  δείχνουν ότι στην παρούσα μελέτη αν εμφανίστηκε το φαινόμενο της ασκησιογενούς ενεργοποίησης αυτό δεν οφείλονταν σε νευρογενείς μηχανισμούς, τουλάχιστον βάσει των συγκεκριμένων δεικτών, αλλά μάλλον σε μυογενείς μηχανισμούς.

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε η ηλεκτρική δραστηριότητα μόνον στον υποκνημίδιο και το γαστροκνήμιο μυ. Ωστόσο, στα άλματα βάθους ενεργοποιούνται και άλλες μυϊκές ομάδες όπως ο τετρακέφαλος και οι γλουτιαίοι. Η διατήρηση της φυσικής απόδοσης μπορεί να οφείλεται και στην ενεργοποίηση αυτών των συμπρωταγωνιστών μυών οι οποίοι δεν εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη. Μελλοντική έρευνα με μετρήσεις και αυτών των μυϊκών ομάδων θα προσφέρει πληρέστερη εικόνα της μεταβολής της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση μιας προπονητικής μονάδας αλμάτων βάθους.

Συμπερασματικά, στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε μια πρόσκαιρη μείωση της διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων σε επίπεδο νωτιαίου μυελού, όπως τεκμαίρεται από τη μείωση του  $H_{max}/M_{max}$ , τόσο στο γαστροκνήμιο όσο και στον υποκνημίδιο μυ, με την ολοκλήρωση του κάθε σετ άσκησης. Είναι αξιοσημείωτο, ωστόσο, ότι το ύψος των αλμάτων δεν μειώθηκε με την ολοκλήρωση των σετ. Τουναντίον, το ύψος των αλμάτων ήταν υψηλότερο στο τέλος των σετ συγκριτικά με την αρχή τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως παρά τη μείωση των τιμών του  $H_{max}/M_{max}$ , δεν παρατηρήθηκε μεταβολή των τιμών του  $V_{max}/M_{max}$  υποδεικνύοντας σταθερή ενεργοποίηση των δύο μυών από τα ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα. Είναι πιθανόν, λοιπόν, πως κατά την εκτέλεση αλμάτων βάθους, τουλάχιστον με το πρόγραμμα που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, να αλλάζει ο τρόπος ενεργοποίησης των κινητικών νευρώνων βάσει συνδυασμού ερεθισμάτων από περιφερικά αισθητήρια όργανα και από τα ανώτερα εγκεφαλικά κέντρα και να διατηρείται σταθερή η ενεργοποίηση και η μηχανική απόδοση των δύο μυών.



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εκτέλεση σετ αλμάτων βάθους, με τα χαρακτηριστικά της επιβάρυνσης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, παρατηρείται μια πρόσκαιρη μείωση της διεγερσιμότητας των κινητικών νευρώνων σε επίπεδο νωτιαίου μυελού (μείωση του  $H_{max}/M_{max}$ ) του γαστροκνημίου και υποκνημιδίου μυός χωρίς συστηματική μεταβολή της κεντρικής ενεργοποίησης ( $V_{max}/M_{ax}$ ) των δύο μυών. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες μεταβολές στη νευρική λειτουργία δεν επηρεάζουν τη φυσική απόδοση καθώς δεν παρατηρήθηκε πτώση της απόδοσης στα κατακόρυφα άλματα. Επίσης, παρά τη διαφορετική τους σύσταση σε ότι αφορά τον τύπο των μυϊκών ινών, ο γαστροκνήμιος και ο υποκνημίδιος εμφανίζουν παρόμοιες ηλεκτροφυσιολογικές μεταβολές κατά την εκτέλεση αλμάτων βάθους.

Για την εκτενέστερη διερεύνηση του θέματος της παρούσας μελέτης προτείνεται να:

- Να γίνουν μετρήσεις και σε άλλες μυϊκές ομάδες.
- Να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος αριθμός επαναλήψεων ανά σετ ή/και μεγαλύτερος αριθμός σετ.
- Να χρησιμοποιηθεί διαφορετικός χρόνος διαλείμματος μεταξύ των σετ.
- Να ακολουθηθεί η ίδια πειραματική διαδικασία αλλά να εκτελούνται υπομέγιστα άλματα αργού κύκλου διάτασης βράχυνσης.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aagaard P., Simonsen E., Andersen J., Magnusson P. & Dyhre – Poulsen P. (2002). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V – wave and H – reflex responses. *Journal of Applied Physiology*, 92, 2309–2318.
2. Alkjaer T., Meyland J., Raffalt P., Lundbye – Jensen J., & Simonsen E. (2013). Neuromuscular adaptations to 4 weeks of intensive drop jump training in well-trained athletes. *Physiological Reports*, 1 (5), 2013, e00099, doi: 10.1002/phy2.99.
3. Baechle T. & Eagle R. (2009). *Βασικές αρχές της προπόνησης με αντιστάσεις : Πλειομετρική προπόνηση*, σελ. 491 – 493, Αθήνα: Εκδόσεις Πασχαλίδης.
4. Blakey J. & Southard D. (1987). The combined effects of weight training and plyometric on dynamic leg strength and leg power. *Journal of Applied Sports Science Research*, 1(1), 14–16.
5. Chiu L., Fry A., Schilling B., Johnston E. & Weiss L. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 385–392.
6. Clarys J. & Cabri J. (1993). Electromyography and the study of sports movements: A review. *Journal of Sports Sciences*, 11, 379-448.
7. Comins T., Harrison A. & Hennesy L. (2011). An investigation into the recovery process of a maximum stretch-shortening cycle fatigue protocol on drop and rebound jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 2177–2184.
8. Dyhre – Poulsen P., Simonsen E. & Voigt M. (1991). Dynamic control of muscle stiffness and h reflex modulation during hopping and jumping in man. *Journal Physiology*, 437, 287 – 304.
9. De Luca C., (2006). Electromyography. In J.G. Webster (Ed), *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation* (pp 98-109). Hoboken: John Wiley Publisher.
10. Edgerton V. J., Smith J.L. & Simpson D.R. (1975). Muscle fibre type populations of human leg muscles. *Histochemical Journal*, 7, 259-266.
11. Erdemir A., McLean S., Herzog W. & Bogert A. (2006). Model-based estimation of muscle forces exerted during movements. *Clinical Biomechanics*, 22, 131–154.
12. Fatouros I., Jamurtas A., Leontsini D. & Taxildaris K. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 470–476.

13. Folland J. & Williams A. (2013). Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37, 145–168.
14. Fukutani A., Miyamoto N., Kanehisa H., Yanay T. & Kawakami Y. (2012). Influence of the intensity of a conditioning contraction on the subsequent twitch torque and maximal voluntary concentric torque. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22, 560–565.
15. Gollnick P., Sjodin B., Karlsson J., Jansson E. & Saltin B. (1974). Human soleus muscle: A Comparison of fiber composition and enzyme activities with other leg muscles. *Pflügers Archives*, 348, 247–255.
16. Gullich A. and Schmidtbleicher D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, 11, 67-81.
17. Hamada T., Sale D., MacDougail J. & Tarnopolski M. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 88, 2131–2137.
18. Heintz S. & Gutierrez – Farewik E. (2006). Static optimization of muscle forces during gait in comparison to EMG-to-force processing approach. *Gait & Posture*, 26, 279–288.
19. Hodson M., Docherty D. & Robbins D. (2005). Post-Activation Potentiation. *Sports Medicine*, 35, 585–595.
20. Holtermann A., Roeleveld K., Engstrom M. & Sand T. (2007). Enhanced H – Reflex with resistance training is related to increase rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 301–312.
21. Horita T., Komi P., Hamalainen I. & Avela J. (2003). Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 527–534.
22. Kuitunen S., Avela J., Kyrolainen H., Nicol C. & Komi P. (2002). Acute and prolonged reduction in joint stiffness in humans after exhausting stretch – shortening cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 107 – 116.
23. Leukel C., Taube W., Gruber M., Hodapp M. & Gollhofer A. (2008). Influence of falling height on the excitability of the soleus H-reflex during drop-jumps. *Acta Physiologica Scandinavica*, 192, 569–576.
24. McNeil C., Butler J., Taylor J. & Gardevia S. (2013). Testing the excitability of human motoneurons. *Frontiers in Human Neuroscience*, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00152>.
25. Misiaszek J. (2003). The H-reflex as a tool in neurophysiology: Its limitations and uses in understanding nervous system function. *Muscle and Nerve*, 28, 144-160.

26. Moritani T., Oddsson L. & Thorstesson A. (1990). Differences in modulation of the gastrocnemius and soleus H-reflexes during hopping in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 138, 575-576.
27. Moritani T., Oddsson L. & Thorstenson A. (1991). Activation Patterns of the Soleus and Gastrocnemius Muscles During Different Motor Tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 1, 81-88.
28. Nicol C., Komi P., Horita T., Kyrolainen H. & Takala T. (1996). Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 72, 401 – 409.
29. Requeme SC., Barthelemy C. & Grelot L. (2005). Acute and delayed neuromuscular adjustments of the triceps surae muscle group to exhaustive stretch–shortening cycle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 398–410.
30. Sale D. (2002). Postactivation Potentiation: Role in Human Performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30, 138-143.
31. Sale D. (2004). Postactivation potentiation: role in performance. *British Journal of Sports Medicines*, 38, 386–387.
32. Sotiropoulos K., Smilios I., Christou M. Barzouka K., Spaias A., Doua H. & Tokmakidis S. (2010). Effects of warm-Up on vertical jump performance and muscle electrical activity using half-squats at low and moderate Intensity. *Journal Sports Science Medicine*, 9, 326 – 331.
33. Tsoukos A., Veligekas P. & Bogdanis G. (2013). Physiological basis of post-stimulating activation in skeletal muscle and practical applications in sports. *Biochemistry and Physiology of Exercise*, 1: 1-21.
34. Vila – Cha C., Falla D. & Farina D. (2010). Motor unit behavior during submaximal contractions following six weeks of either endurance or strength training. *Journal of Applied Physiology*, 109, 1455–1466.
35. Vila – Cha C., Falla D., Correia M. & Farina D. (2012). Changes in H reflex and V wave following short-term endurance and strength training. *Journal of Applied Physiology*, 112, 54–63.
36. Zucker R. & Regehr W. (2002). Short-term synaptic plasticity. *Annual Review of Physiology*, 64, 355–405.