



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

**Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών**

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΤΟΜΕΑΣ  
ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΥΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ  
ΕΚΤΕΙΝΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΓΟΝΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ  
ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΜΕ ΧΕΙΡΟΕΡΓΟΜΕΤΡΟ»**

**Πλατής Παναγιώτης**

Επιβλέπων καθηγητής: Πασχάλης Βασίλειος

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2023**

© Copyright

Πλατής Παναγιώτης

Το δοκίμιο αυτό αποτελεί πτυχιακή εργασία που συντάχθηκε για το Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών του ΤΕΦΑΑ στη Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του ΕΚΠΑ και υποβλήθηκε τον Ιούνιο του 2023.

Ο συγγραφέας βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στην εργασία τρίτων - όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο-, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

## Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΥΪΚΟΥ ΜΙΚΡΟΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΕΚΤΕΙΝΟΝΤΩΝ ΤΟΥ ΓΟΝΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΜΕ ΧΕΙΡΟΕΡΓΟΜΕΤΡΟ

### Περίληψη

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να μελετήσει την πιθανή επίδραση του μυϊκού μικροτραυματισμού του κάτω άκρου με ισοκινητική έκκεντρη άσκηση στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου που εκτελείται σε χειροεργόμετρο.

Το δείγμα αποτελούνταν από 6 ενήλικους ελεύθερα ασκούμενους και επισκέφτηκαν το εργαστήριο δύο φορές. Η πρώτη επίσκεψη αφορούσε την εκτίμηση της αερόβιας ικανότητας τους (Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου -  $\dot{V}O_2\max$ ) στο χειροεργόμετρο, ενώ πριν και μετά την άσκηση πραγματοποιήθηκε μέτρηση του κορεσμού οξυγόνου. Μισή ώρα αργότερα, πραγματοποιήθηκε πρωτόκολλο ισοκινητικής έκκεντρης άσκησης (5 σειρές x 15 επαναλήψεις με διάλειμμα 2'). Η έκκεντρη άσκηση πραγματοποιήθηκε σε ένα από τα δύο μέλη με τυχαία επιλογή. Η ένταση της έκκεντρης άσκησης ήταν μέγιστη. Πριν και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση αξιολογήθηκε ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος στους πρόσθιους μηριαίους και των δύο μελών. Στις 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση επαναλήφθηκε η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο χειροεργόμετρο.

Η σημαντική αύξηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου 48 ώρες μετά την άσκηση μόνο στο πειραματικό άκρο επιβεβαιώνει τον μυϊκό μικροτραυματισμό ( $p < 0,05$ ). Παρόλα αυτά, τόσο η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου όσο και ο κορεσμός οξυγόνου κατά την άσκηση με τα χέρια δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την έκκεντρη άσκηση ( $p > 0,05$ ).

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη μας έδειξε ότι το σύστημα μεταφορών οξυγόνου δεν επηρεάζεται από ασυνήθιστη άσκηση μεμονωμένης μυϊκής ομάδας που προκαλεί μυϊκό μικροτραυματισμό.

Λέξεις κλειδιά: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, Καθυστερημένος μυϊκός πόνος, Κορεσμός οξυγόνου, Έκκεντρη άσκηση

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|  |                |
|--|----------------|
| Περίληψη.....  | i              |
| Πίνακας περιεχομένων.....  | ii             |
| Κατάλογος σχημάτων.....  | iii            |
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>  | <b>σελ. 1</b>  |
| 1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος.....   | σελ. 1         |
| 1.2 Σκοπός της μελέτης.....  | σελ. 1         |
| 1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις.....  | σελ. 1         |
| <b>2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....</b>   | <b>σελ. 2</b>  |
| 2.1 Σκελετικοί Μύες και Δύναμη.....  | σελ. 2         |
| 2.2 Οι Μύες της Άρθρωσης του Γόνατος.....  | σελ. 4         |
| 2.3 Ορισμός της Έκκεντρης Άσκησης και Μελέτες για την Διεξαγωγή και τα Σχετικά Οφέλη στους Ενήλικες..... | σελ. 4         |
| 2.4 Ισοκινητική δυναμομετρία.....  | σελ. 7         |
| 2.5 Χαρακτηριστικά της έκκεντρης άσκησης .....   | σελ. 8         |
| 2.6 Πρόσληψη οξυγόνου.....   | σελ. 11        |
| 2.7 Κορεσμός οξυγόνου.....   | σελ. 12        |
| <b>3. ΣΚΟΠΟΣ.....</b>  | <b>σελ. 12</b> |
| <b>4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>   | <b>σελ. 12</b> |
| <b>5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>  | <b>σελ. 14</b> |
| <b>6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>  | <b>σελ. 17</b> |
| <b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>σελ. 18</b> |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|  |
|--|
| Σχήμα 5.1. Καθυστερημένος μυϊκός πόνος.....σελ. 15 |
| Σχήμα 5.2. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.....σελ. 15   |
| Σχήμα 5.3. Κορεσμός οξυγόνου.....σελ. 16           |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|                        |
|------------------------|
| Πίνακας 1. ....σελ. 14 |
|------------------------|

# Εισαγωγή

## 1.1 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Ο καθορισμός μιας φυσιολογικής παραμέτρου όπως είναι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου καθώς και η σχέση της με την αερόβια αντοχή, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια του προπονητή και του αθλητικού επιστήμονα. Είναι μία από τις παραμέτρους που αναλύονται και αξιολογούνται περισσότερο από κάθε άλλη και αποτελούν το πιο σημαντικό κριτήριο της βιολογικής αξίας ενός ατόμου. Αυτός ο μέγιστος όγκος οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά την μέγιστη μυϊκή προσπάθεια, στην μονάδα του χρόνου, ορίζεται ως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ) (Κλεισούρας, 2011). Στην συγκεκριμένη έρευνα, αναλύεται εάν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της στρεσογόνου άσκηση των ποδιών με αυτές των χεριών στο σύστημα μεταφοράς οξυγόνου. Τίθεται λοιπόν το ερώτημα αν η έκκεντρη άσκηση στα κάτω άκρα επηρεάζει το σύστημα μεταφοράς οξυγόνου με δοκιμασία  $VO_{2max}$  στο χειροεργόμετρο. Δηλαδή, επηρεάζεται η  $VO_{2max}$  ενός ασκούμενου όταν αυτή αξιολογείται με τα χέρια, ενώ προκαλείται ασκησιογενής μυϊκός μικροτραυματισμός με τα πόδια;

## 1.2. Σημασία της έρευνας

Η σημασία της ερευνητικής διαδικασίας είναι μεγάλη διότι, ανοίγει νέους ορίζοντες τόσο στους ερευνήτες όσο και στους ασκούμενους. Επίσης, διευκολύνει τον προπονητή στην προπονητική και στον προγραμματισμό τυχόν ασκησιολογίου όταν γνωρίζει πως δεν επηρεάζεται η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε χειροεργόμετρο εφόσον νωρίτερα γινόντουσαν έκκεντρες ασκήσεις στα κάτω άκρα ακόμα και 48 ώρες μετά. Είναι εύλογος λοιπόν ο σκοπός της παρούσας εργασίας, που είναι η διερεύνηση της επίδρασης του μυϊκού μικροτραυματισμού του κάτω άκρου με έκκεντρη άσκηση στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο χειροεργόμετρο.

## 1.3. Ερευνητικά ερωτήματα

1. Επηρεάζει η έκκεντρη άσκηση των ποδιών την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο χειροεργόμετρο, δηλαδή επηρεάζεται το σύστημα μεταφοράς οξυγόνου σε όλο το σώμα;

2. Προκαλεί η ασυνήθιστη έκκεντρη άσκηση μυϊκό μικροτραυματισμό;
3. Επηρεάζεται ο κορεσμός οξυγόνου από την έκκεντρη άσκηση τόσο στην ηρεμία όσο και μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου;

## **Ανασκόπηση βιβλιογραφίας**

### **2.1 Σκελετικοί Μύες και Δύναμη**

Για δεκαετίες η μυϊκή δύναμη και η προπόνηση δύναμης, έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων των τραυματισμών στα άτομα. Τα άτομα ηλικίας άνω των 40 ετών χάνουν περίπου το 10-20% της μυϊκής τους δύναμης ανά δεκαετία (Frontera et al. 1991, 2000). Οι μειώσεις της δύναμης έχουν συσχετιστεί με λειτουργική εξάρτηση / φυσικούς περιορισμούς (όπως δυσκολία στο περπάτημα ή στην ορθοστασία για παρατεταμένες χρονικές περιόδους, σκύψιμο, γονάτισμα, αναρρίχηση σκαλοπατιών), αναπηρίες (περιορισμοί δραστηριότητας, αναπηρίες και περιορισμοί συμμετοχής) και αυξημένη κίνδυνος πτώσεων μεταξύ άλλων αρνητικών επιπτώσεων (Wolfe, 2006, Philips, 2007, Brady & Straight, 2014).

Αυτές οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη ιατρική φροντίδα που με τη σειρά της αυξάνει το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης (Brady & Straight, 2014). Έρευνα που έγινε στον канаδικό πληθυσμό από τους Katzmarzyk et al. (2000,) αποκάλυψαν ότι περίπου 2,1 δισεκατομμύρια δολάρια ή 2,5% του συνολικού άμεσου κόστους υγειονομικής περίθαλψης αποδίδονταν στη σωματική αδράνεια το 1999. Ανέφεραν επίσης ότι μια μείωση κατά 10% στον επιπολασμό της σωματικής αδράνειας έχει την πιθανότητα μείωσης του άμεσου κόστους υγείας κατά 150 δολάρια εκατομμύρια ετησίως (Katzmarzyk et al. 2000).

Ωστόσο, η διαδικασία της δημιουργίας δύναμης και μυϊκής μάζας σε ένα άτομο, απαιτεί ορισμένες μυϊκές ενέργειες. Αυτές οι μυϊκές ενέργειες (βράχυνση και επιμήκυνση) είναι υπεύθυνες για τη βασική ανθρώπινη κίνηση (Dias et al. 2015). Γενικά, οι μυϊκές συσπάσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες. ισομετρικές, σύγκεντρες και έκκεντρες συστολές (Roig et al. 2010, Padulo et al. 2013).

- ✓ Οι ισομετρικές συσπάσεις συνήθως περιλαμβάνουν στατική σύσπαση ενός μυός. Κατά τη διαδικασία της μυϊκής δράσης δεν υπάρχει συγκεκριμένη αλλαγή ή κίνηση στη γωνία της άρθρωσης (Roig et al. 2010, Padulo et al. 2013).
- ✓ Οι σύγκεντρες συσπάσεις περιλαμβάνουν βράχυνση ενός μυός. Ένα καλό παράδειγμα θα ήταν η επέκταση της άρθρωσης του γόνατος (σύσπαση του τετρακέφαλου) (Roig et al. 2010, Padulo et al. 2013)
- ✓ Οι έκκεντρες συσπάσεις περιλαμβάνουν επιμήκυνση ενός μυός. Ένα καλό παράδειγμα θα ήταν η κάμψη της άρθρωσης του γόνατος (ενεργή επιμήκυνση υπό τάση) (Roig et al. 2010, Padulo et al. 2013).

Οι σύγκεντρες και οι έκκεντρες ενέργειες μπορεί να είναι ισοτονικές (οι μύες αλλάζουν μήκος, αλλά η ένταση διατηρείται) ή ισοκινητικές (που περιλαμβάνουν κινήσεις που απαιτούν σταθερή ταχύτητα και αλλαγές στο μήκος των μυών). Για τη μελέτη αυτή θα χρησιμοποιηθούν ισοκινητικές σύγκεντρες και έκκεντρες δράσεις. Οι περισσότερες μυϊκές ενέργειες περιλαμβάνουν ισομετρικές, έκκεντρες και σύγκεντρες ενέργειες και αυτές είναι εμφανείς στα περισσότερα προγράμματα προπόνησης δύναμης/δύναμης που αναλαμβάνονται (Cormie et al. 2011, McGuigan et al. 2012 Beattie et al. 2014).

Η μυϊκή δύναμη μπορεί να οριστεί ως η μέγιστη προσπάθεια που μπορεί να δημιουργήσει ένα άτομο σε μία μόνο επανάληψη (Brady & Straight, 2014). Σύμφωνα με τους Manini & Clark (2011), η δυναμοπενία μπορεί να οριστεί ως απώλεια μυϊκής δύναμης και δύναμης που σχετίζεται με την ηλικία. Για παράδειγμα, η δυναμοπενία θα μπορούσε να εμφανιστεί όταν υπάρχει βλάβη στη νευρική (κεντρική) ενεργοποίηση που θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα της μείωσης της φθίνουσας διεγερτικής κίνησης από τα υπερνωτιαία κέντρα ή/και της υποβέλτιστης πυροδότησης κινητικών μονάδων (Manini & Clark, 2011).

Αυτό υποδηλώνει ότι η απώλεια μυϊκής δύναμης σε ενήλικες, μπορεί να αποδοθεί σε νευρικούς και μυϊκούς παράγοντες. Επιπλέον, η δυναμοπενία θα μπορούσε να εμφανιστεί όταν υπάρχει μείωση της εγγενούς ικανότητας παραγωγής δύναμης του μυός, αλλαγές στη δομή/λειτουργία της ακτομυοσίνης και διήθηση των λιποκυττάρων στις μυϊκές ίνες (Manini & Clark, 2011). Σε σύγκριση με νεότερα άτομα, οι ηλικιωμένοι (ηλικίας 55 ετών και άνω) έχουν χαμηλότερα επίπεδα δύναμης (Bouchard et al. 2011, Marcell et al. 2014). Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς έχουμε ήδη διαπιστώσει ότι η αύξηση της ηλικίας σχετίζεται με μείωση της δύναμης.



## 2.2 Οι Μύες της Άρθρωσης του Γόνατος

Οι μύες που περιβάλλουν το γόνατο, λειτουργούν τόσο για να κινούν όσο και να σταθεροποιούν την άρθρωση. Οι δύο κύριες μυϊκές ομάδες του γονάτου, είναι ο τετρακέφαλος στην πρόσθια πλευρά και του μηριαίου οστού καθώς και οι οπίσθιοι μηριαίοι ( ). Οι τέσσερις μύες του τετρακέφαλου, αναφέρονται ως ο πλευρικός πλατύς, ο μεσαίος πλατύς, ο ενδιάμεσος αυχέννας και ο ορθός μηριαίος λειτουργούν για την επέκταση του γόνατος. Οι μύες ενώνονται για να σχηματίσουν τον κοινό τένοντα του τετρακέφαλου. Οι τένοντες είναι μέρος του μυός και συνδέουν τους μυς στο οστό. Μέσα στον τένοντα του τετρακέφαλου βρίσκεται η επιγονατίδα ( ). Η επιγονατίδα είναι ένα οστό, το οποίο παρέχει αυξημένη κίνηση στον τετρακέφαλο μυ για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς του.

Οι τρεις μύες του οπίσθιου μηριαίου, είναι ο δικέφαλος μηριαίος, η ημιτενδίνωση και ο ημιμεμβρανώδης λειτουργούν για να επιβραδύνουν, να σταθεροποιούν και να λυγίζουν την άρθρωση του γόνατος και να προσκολλώνται στο οπίσθιο τμήμα της κνήμης και της περόνης ( ). Υπάρχουν άλλοι δύο σημαντικοί μύες του συμπλέγματος του γόνατος. Ο γαστροκνήμιος *σπρώχνει* το πόδι προς τα κάτω (πελματιαία κάμψη) και βοηθά στην κάμψη του γόνατος. Η πελματιαία κάμψη βοηθά στο *ξεκλείδωμα* του γόνατος από μια ίσια ή εκτεταμένη θέση. Δύο μύες προσαγωγών, αναφέρονται κατά την έκταση της άρθρωσης του γόνατος και βοηθούν στην περιστροφή του ποδιού, κάτι που μπορεί να είναι αιτία φλεγμονής. Οι συνήθεις παθήσεις των μυών και του τένοντα του γόνατος, περιλαμβάνουν την τενοντίτιδα της επιγονατίδας, ρήξη τένοντα του τετρακέφαλου, ρήξη μηριαίου, μυϊκή καταπόνηση, ρήξη γαστροκνήμιου.

## 2.3 Ορισμός της Έκκεντρης Άσκησης και Μελέτες για την Διεξαγωγή και τα Σχετικά Οφέλη στους Ενήλικες

Είναι ευρέως γνωστό ότι η μυϊκή δύναμη *παίζει* σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της λειτουργικής ικανότητας / κινητικότητας και στην πρόληψη της αναπηρίας σε ενήλικες. Η απώλεια μυϊκής δύναμης και μυϊκής μάζας σχετίζεται με μειωμένη λειτουργική απόδοση (Evans & Lexell, 1995, Phillips et al. 2005, Kalyani et al. 2014), αυξημένη επίπτωση ασθένειας και αναπηρία (Wolfe, 2006, Brady & Straight, 2014). Το 18% του πληθυσμού άνω των 65 ετών εξαρτάται από άλλους για την εκτέλεση συγκεκριμένων καθημερινών εργασιών (King et al. 2002) και το 30% των ατόμων ηλικίας 60 ετών και άνω είναι πιθανό

να έχει πτώση μέσα σε μια περίοδο 12 μηνών (Voukelatos et al. 2007). Χωρίς επαρκή προπόνηση, η μυϊκή δύναμη τυπικά μειώνεται κατά 10-20% ανά δεκαετία σε ενήλικες άνω των 40 ετών (Frontera et al. 1991, 2000).

Η προπόνηση με αντιστάσεις είναι μια πολύ σημαντική μέθοδος προπόνησης που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τη διατήρηση της μυϊκής μάζας, της δύναμης και της λειτουργικής απόδοσης (Tiggemann et al. 2016). Παρόλο που, η προπόνηση με αντιστάσεις συχνά περιλαμβάνει κινήσεις / ασκήσεις που γίνονται ισομετρικά, σύγκεντρα ή έκκεντρα, είναι δυνατό τα προπονητικά σχήματα ή οι ρουτίνες προπόνησης να επικεντρώνονται ειδικά σε έναν συγκεκριμένο τύπο μυϊκής συστολής. Ισομετρική, σύγκεντρη και έκκεντρη (Wernbom et al. 2007).

Οι ισομετρικές συσπάσεις περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση των μυών όχι όμως τη βράχυνση ούτε την επιμήκυνση. Οι σύγκεντρες ενέργειες περιλαμβάνουν βράχυνση των μυών. Οι έκκεντρες συσπάσεις προκαλούν μεγαλύτερη βλάβη στους μύες από τις ισομετρικές και σύγκεντρες συσπάσεις (Westing et al. 1991).

Η παραδοσιακή προπόνηση με αντίσταση περιλαμβάνει συνήθως ελεύθερα βάρη και μηχανές στοίβαξης βαρών (Norrbrandt et al. 2010). Μια συστηματική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε από τους Latham et al. (2004) αποκάλυψε ότι η παραδοσιακή προοδευτική προπόνηση με αντίσταση, είναι αποτελεσματική για τη βελτίωση της μυϊκής δύναμης και ορισμένες πτυχές του λειτουργικού περιορισμού, όπως η ταχύτητα βάρδισης σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας.

Η παραδοσιακή προπόνηση με αντίσταση περιλαμβάνει το *χαμήλωμα* και την ανύψωση σταθερού φορτίου, χρησιμοποιώντας μηχανές με βάρη που είναι διαθέσιμες (Reeves et al. 2009). Αυτός ο τύπος προπόνησης επιδιώκει να παρέχει ένα επαρκές μηχανικό ερέθισμα απαραίτητο για την υπερφόρτωση των σκελετικών μυών. Ενώ αυτός ο στόχος πιθανότατα επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της σύγκεντρης φάσης (ανύψωση) της άσκησης, υπάρχει πιθανότητα η έκκεντρη φάση να είναι πάντα υποφορτισμένη κατά τη διάρκεια της συστολής (Katz et al. 1939, Reeves et al. 2009).

Αυτό θα σήμαινε ότι οι παραδοσιακές ασκήσεις αντίστασης, μπορεί να είναι πιο ευνοϊκές για το σύγκεντρο τμήμα μιας άσκησης. Λόγω του περιορισμού που σχετίζεται με

την παραδοσιακή προπόνηση με αντιστάσεις (Norrbrand et al. 2010, 2011), οι ερευνητές προσπάθησαν να εντοπίσουν ένα μέσο προπόνησης που λαμβάνει υπόψη τόσο τα σύγκεντρα όσο και τα έκκεντρα τμήματα κατά τη διάρκεια μιας άσκησης χωρίς υποφόρτιση κανενός από τους δύο (Roig et al. 2008).

Παρά τους περιορισμούς που συνοδεύουν τους ενήλικες, η υπάρχουσα έρευνα προτείνει ότι η έκκεντρη δύναμη στους ενήλικες, μπορεί και διατηρείται (Roig et al. 2010). Αυτή η διατήρηση της έκκεντρης δύναμης έχει να κάνει με την έκκεντρη προπόνηση, μια μέθοδος πολλά υποσχόμενης ευκαιρίας για αποκατάσταση και πρόληψη νοσηρότητας/ασθένειες σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας.

Το ενδιαφέρον για την έκκεντρη δύναμη προέρχεται από προηγούμενες έρευνες που έδειξαν το χαμηλότερο ενεργειακό κόστος ανά μονάδα εργασίας (Curtin et al. 1975) που σχετίζεται με την έκκεντρη προπόνηση, καθώς και τη δυνατότητα δημιουργίας υψηλότερων επιπέδων δύναμης (Hollander et al. 2007, Hortogbayi et al. 1990) σε σύγκριση με την σύγκεντρη εκπαίδευση στον ίδιο φόρτο εργασίας. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα για τους ηλικιωμένους που έχουν ήδη περιορισμένη δύναμη και κινητικότητα.

Θα είναι επίσης χρήσιμο για κλινικούς πληθυσμούς με χαμηλότερη αερόβια ικανότητα και αυξημένους κινδύνους καρδιακών προβλημάτων. Επιπλέον, προηγούμενη έρευνα που διεξήχθη με υγιείς ηλικιωμένους ενήλικες και έκκεντρη προπόνηση επικεντρώθηκε κυρίως σε ασκήσεις μεμονωμένων μυών (Greenwood et al. 2007, Onambele et al. 2008, Norrbrand et al. 2008;2010). Μια πολύ συνηθισμένη άσκηση που έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της μυϊκής δύναμης είναι η άσκηση επέκτασης γόνατος (Greenwood et al. 2007, Onambele et al. 2008, Norrbrand et al. 2008;2010).

Λόγω των ανατομικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών του, το γόνατο είναι μια από τις πιο *υπερφορτωμένες* αρθρώσεις του μυοσκελετικού συστήματος στον άνθρωπο ( ). Πολλές μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της προπόνησης με αντιστάσεις στη βελτίωση της σωματικής απόδοσης και στη θεραπεία μυοσκελετικών κακώσεων αυτής της άρθρωσης ( ). Επειδή η έκκεντρη άσκηση προάγει μεγαλύτερη νευρική ενεργοποίηση σε σύγκριση με τις ισομετρικές και σύγκεντρες συσπάσεις, θεωρείται ένα ισχυρό ερέθισμα για την υπερτροφία και τη μυϊκή δύναμη των ατόμων. Ωστόσο, η έκταση αυτών των

μορφολειτουργικών αλλαγών, εξαρτάται από την ένταση, τη συχνότητα και τη διάρκεια της προπόνησης (άσκησης) ( ).

Τα τακτικά προγράμματα άσκησης με *βαριά φορτία* οδηγούν σε μυϊκή υπερτροφία, αλλά η αύξηση της δύναμης που αποκτήθηκε πριν από την υπερτροφία, αποδίδεται σε αυξημένη νευρική δραστηριότητα ( ). Οι Widrick et al., παρατήρησαν μια αύξηση πάνω από 60% στη δύναμη του πλάγιου μυός μετά από βραχυπρόθεσμη προπόνηση με αντίσταση, η οποία άλλαξε τις λειτουργικές ιδιότητες του μυός. Ορισμένες μελέτες που αξιολόγησαν τους καμπτήρες και τα στοιχεία των εκτεινόντων του γόνατος, κατέγραψαν υψηλότερη ροπή κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη συστολή, αντίστοιχα, σε χαμηλές ταχύτητες ( ).

#### **2.4 Ισοκινητική δυναμομετρία**

Το πιο κοινό εργαλείο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προπόνησης με αντίσταση, είναι η ισοκινητική δυναμομετρία επειδή επιτρέπει τον έλεγχο σημαντικών μεταβλητών κίνησης, όπως το εύρος κίνησης, η γωνιακή ταχύτητα, το φόρτο εργασίας, ο τρόπος άσκησης (ισομετρική, σύγκεντρη ή έκκεντρη). Επιπλέον, τα λειτουργικά τεστ ευκινησίας (τρεξίματα), παρέχουν παραμέτρους ασφάλειας και αποτελεσματικότητας, που χρησιμοποιούνται εκτενώς για την αξιολόγηση της ικανότητας του αθλητή να συνεχίσει την προπόνηση μετά από τραυματισμό ( ).

Αν και αυτές οι λειτουργικές δοκιμές θεωρούνται αξιόπιστες (>80%) και ευαίσθητες (>82%), η σχέση τους με τη μυϊκή ροπή τα στοιχεία των εκτεινόντων του γόνατος, εξακολουθεί να είναι αμφιλεγόμενη στη βιβλιογραφία, δεδομένου ότι οι μεθοδολογίες διαφέρουν σε σύγκεντρες και/ή έκκεντρη λειτουργία, ταχύτητα κίνησης (30, 60, 70, 90, 120, 150, 180, 240, 270, 300 και 400°/s) και μυϊκή ομάδα ( ).

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται παραπάνω λοιπόν, οι ενήλικες μπορούν να διατηρήσουν την έκκεντρη δύναμή τους και αυτό το γεγονός έχει αποδοθεί στην αυξημένη παθητική ακαμψία που έρχεται με τη γήρανση (Vandervoort et al. 1990, Poulin et al. 1992, Hortobagyi et al. 1995, Lindle et al. 1997, Porter et al. 1997, Lynch et al. 1999, Pousson et al. 2001, Ochala et al. 2006, Klass et al. 2007, Roig et al. 2010). Σύμφωνα με τους Roig et al. (2010), οι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για αυτή τη διατήρηση της έκκεντρης

δύναμης, θα μπορούσαν να είναι μηχανικοί ή κυτταρικοί και να περιλαμβάνουν παθητικά και ενεργά στοιχεία υπεύθυνα για τη ρύθμιση της μυϊκής δυσκαμψίας.

Σύμφωνα με τους Hedayatpour και Falla, (2015) οι νευρικές προσαρμογές στην προπόνηση (άσκηση), θα μπορούσαν να οριστούν ως οι αλλαγές στο νευρικό σύστημα που επιτρέπουν στον ασκούμενο να ενεργοποιεί πλήρως τους μύες σε συγκεκριμένες κινήσεις και να συντονίζει καλύτερα την ενεργοποίηση όλων των σχετικών μυών, επηρεάζοντας έτσι ένα μεγαλύτερο πλαίσιο δύναμης στην προβλεπόμενη κατεύθυνση κίνησης (Sale, 1988). Οι νευρικές προσαρμογές μπορούν να συμβούν σε διαφορετικά επίπεδα με την εκπαίδευση, μερικά από τα οποία είναι ο κινητικός φλοιός, ο νωτιαίος μυελός, η νευρομυϊκή σύνδεση και οι οδοί διέγερσης-σύσπασης στο περιφερικό άκρο της νευρομυϊκής συμβολής (Fang et al. 2001, Hedayatpour et al. 2014, Hedayatpour et al. 2014). Η φυσική δραστηριότητα βελτιώνεται κατά τη διάρκεια της άσκησης και, μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της άσκησης (Dasilva et al. 2011, Flanagan et al. 2012, Singh et al. 2014). Οι έκκεντρες ασκήσεις είναι γνωστό ότι προκαλούν υψηλότερες αυξήσεις στη φυσική δραστηριότητα σε σύγκριση με τις σύγκεντρες και ισομετρικές συσπάσεις (Patten et al. 2001, Brummer et al. 2011).

Αυτό επιτυγχάνεται με την προσυναπτική πύλη εισόδου κατά τη διάρκεια μιας έκκεντρης (επιμήκυνσης) συστολής, για να βοηθήσει στη μείωση της μυϊκής βλάβης και της ανεπιθύμητης αντανακλαστικής διάτασης (Romano & Schieppati, 1987). Επιπλέον, η προπόνηση με αντίσταση, ειδικά χρησιμοποιώντας έκκεντρες ασκήσεις (Dartnall et al. 2009) επηρεάζει τους ρυθμούς *πυροδότησης* κινητικών μονάδων, οδηγώντας σε αύξηση της ικανότητας παραγωγής δύναμης ενός μυός (Farthing & Chilibeck, 2003).

## **2.5 Χαρακτηριστικά της έκκεντρης άσκησης**

Οι Herzog et al. (2008) ήταν της γνώμης ότι η αύξηση της ικανότητας παραγωγής δύναμης ενός μυ κατά τη διάρκεια της έκκεντρης συστολής, μπορεί να οφείλεται σε αύξηση του αριθμού των προσαρτημένων εγκάρσιων συνδέσεων. Έδειξαν επίσης ότι υπάρχει πιθανότητα μια ουσία να συμβάλλει στην παραγωγή πρόσθετης δύναμης που παρατηρείται κατά τις έκκεντρες συστολές, λόγω της αύξησης της «ενίσχυσης παθητικής δύναμης. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να παρατηρηθούν στη μείωση του πλάτους ενός ηλεκτρομυογράφου (ΗΜΓ) κατά τη διάρκεια έκκεντρων έναντι σύγκεντρων συστολών και ομοίως, μειώσεις στις αντανακλαστικές αποκρίσεις (Aagaard et al. 2000, Bawa, 2002).

Οι μεγάλες βελτιώσεις στην έκκεντρη δύναμη και η παρατήρηση ότι η έκκεντρη προπόνηση αυξάνει την έκκεντρη δύναμη σε μεγαλύτερο βαθμό από την σύγκεντρη προπόνηση, θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα της αδυναμίας ιδιαίτερα μη προπονημένων ατόμων να ενεργοποιήσουν πλήρως τους μύες κατά τις έκκεντρες συσπάσεις (Beltman et al. 2004). Για την υποστήριξη μιας βελτιωμένης νευρικής κίνησης, οι Vangsgaard et al. (2014) διαπίστωσαν ότι 5 εβδομάδες έκκεντρης προπόνησης του τραπεζοειδούς μυός, αύξησαν τη μυϊκή διέγερση (δηλαδή συνάγεται από το μέγιστο προκληθέν H-reflex) σε συνδυασμό με 26% αύξηση στη μέγιστη εκούσια σύσπαση.

Βελτιώσεις στην εκούσια ενεργοποίηση του μυός κατά τη διάρκεια των εκκεντρικών συσπάσεων μπορεί να προκύψουν από την αναστολή του προσυναπτικού Golgi Ib και των προσαγωγών της άρθρωσης που είναι γνωστό ότι αναστέλλουν τους προσαγωγούς του διεγερτικού μυός (Aagaard, 2003). Η αφαίρεση της νευρικής αναστολής και η αύξηση της μέγιστης δύναμης που παράγεται από έναν μυ, παράλληλα με τον ρυθμό ανάπτυξης δύναμης που παρατηρείται μετά από έκκεντρη προπόνηση αντίστασης, θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα της μείωσης των ανασταλτικών οδών, με την πιθανότητα να είναι κεντρικές κατερχόμενες οδοί (Kaminski et al. 1998).

Η υπερτροφία των σκελετικών μυών, εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της χρόνιας άθροισης περιόδων θετικού ισοζυγίου πρωτεϊνών μετά από προπόνηση με αντιστάσεις (Phillips, 2014). Η διεγερτική επίδραση της άσκησης με αντίσταση σε συνδυασμό με τη διατροφή με τη σύνθεση πρωτεϊνών των μυών, ευθύνεται για την αύξηση του θετικού καθαρού ισοζυγίου πρωτεϊνών. Οι περισσότερες μορφές άσκησης με αντίσταση προκαλούν επίσης μια διαταραχή της υπερδομής της πρωτεΐνης, που συνήθως παρατηρείται ως ροή της γραμμής Z και μυοϊνιδιακή διαταραχή, η οποία είναι μεγαλύτερη με τις συσπάσεις επιμήκυνσης έναντι βράχυνσης (Gibala et al. 2000, Gibala et al. 1995).

Μετά από επαναλαμβανόμενες ασκήσεις αντίστασης (έκθεση σε επιμηκυνόμενες συσπάσεις που θα μπορούσαν επίσης να ονομαστούν έκκεντρες συσπάσεις), ένας συνδυασμός παραγόντων επιφέρει μείωση της ζημιάς, που αναφέρεται ως το φαινόμενο «επαναλαμβανόμενου αγώνα». Όσον αφορά τη μυϊκή υπερτροφία, αρκετές μελέτες έχουν αποκαλύψει ότι η μυϊκή προπόνηση με αντίσταση χρησιμοποιώντας ισοτονική (Hather et al. 1991, Hortobagyi et al. 2001) και ισοκινητική (Farthing & Chilibeck, 2003, Higbie et al.

1996, Hortobagyi et al. 1996, Hortobagyi et al.. Hortobagyi et al. 1996, Seger et al. 1998) τα προπονητικά πρωτόκολλα με απουσία επιμηκνόμενων συσπάσεων έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερη υπερτροφία και μικρότερα κέρδη δύναμης, σε σύγκριση με συνδυασμούς επιμήκυνσης και βράχυνσης συστολών.

Ωστόσο, δεν παρατηρείται πάντα μεγαλύτερη υπερτροφία με προγράμματα εκπαίδευσης μόνο με ισοκινητική επιμήκυνση (Colliander et al. 1990, Jones et al. 1987, Mayhew et al. 1995). Οι συσπάσεις επιμήκυνσης (έκκεντρες ενέργειες) σε υψηλότερες ταχύτητες αυξάνουν τη μυϊκή δύναμη σε μεγαλύτερο βαθμό από τις αργές συσπάσεις (Farthing & Chilibeck, 2003, Paddon-Jones et al. 2001). Υπάρχει η πιθανότητα οι έκκεντρες συστολές σε υψηλή ταχύτητα να βρίσκονται στο υψηλό άκρο της καμπύλης δύναμης-ταχύτητας και αυτό μπορεί να ευθύνεται για την παραγωγή υψηλότερης δύναμης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες αυξήσεις αντοχής.

Η έκκεντρη προπόνηση επίσης εκθέτει τους σκελετικούς μύες σε έναν συνδυασμό τεντώματος και υπερφόρτωσης που προκαλεί υποκυτταρική βλάβη στα δομικά και συστατικά συστατικά του σκελετικού μυός. Η βλάβη που παρουσιάζεται σε υποκυτταρικό επίπεδο, ενεργοποιεί τα κύρια μονοπάτια σηματοδότησης για γονιδιακή έκφραση και μυϊκή υπερτροφία (Coffey & Hawley, 2007, Hedayatrou et al. 2008). Υπάρχει μια αύξηση στον αριθμό των σαρκομερίων, απουσία νέκρωσης των ινών μετά από μυϊκή ένταση που προκαλείται από την άσκηση (Butterfield & Herzog, 2006). Οι μηχανικές πληροφορίες που λαμβάνονται από τους σκελετικούς μύες μετατρέπουν το ερέθισμα σε βιοχημικά συμβάντα που είναι υπεύθυνα για τη ρύθμιση του ρυθμού με τον οποίο συμβαίνει η πρωτεϊνοσύνθεση.

Η αύξηση της πρωτεϊνικής σύνθεσης διοχετεύεται προς την αναμόρφωση και προσθήκη σαρκομερίων σε σειρά και παράλληλα, όπως φαίνεται στην περιοχή της διατομής των μυών και στη γωνία σφράγισης σε σύγκριση με την σύγκεντρη προπόνηση (Narici et al. 1989). Η έκκεντρη προπόνηση έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη αύξηση του μήκους των ινών στους μύες σε σύγκριση με την σύγκεντρη προπόνηση (Lynn & Morgan 1994).

Με απλά λόγια, το έκκεντρο τμήμα μιας άσκησης μπορεί να υπερφορτωθεί όταν επιτυγχάνεται μεγαλύτερο φορτίο από αυτό της σύγκεντρης φάσης (Berg & Tesch, 1994, Tesch, 2017). Οι Dias et al. (2015) τόνισαν 3 μεθόδους για την επίτευξη υπερφόρτωσης σε έναν ηλικιωμένο πληθυσμό. α) φάση σύγκεντρης υποβοήθησης - εδώ ο ερευνητής ή ο

εκπαιδευτής βοηθά το άτομο κατά τη διάρκεια της σύγκεντρης φάσης της ανύψωσης και αποσύρει την υποστήριξη του κατά τη διάρκεια του έκκεντρου τμήματος (Valour et al. 2004; Reeves et al. 2009) β) αμφίπλευρη / μονόπλευρη προσέγγιση- χρησιμοποιώντας την άσκηση πίεσης ποδιών ως παράδειγμα, το άτομο θα χρησιμοποιούσε και τα δύο πόδια για να πιέσει το βάρος κατά τη διάρκεια της σύγκεντρης φάσης και θα αποσύρει το ένα πόδι κατά την έκκεντρη φάση (Raj et al. 2012) γ) εργόμετρα κύκλου που είναι ειδικά προσαρμοσμένα σε επάγουν εκκεντρικές συσπάσεις (Lastayo et al. 2003, Mueller et al. 2011, Purtsi et al. 2012) δ) αδρανειακές συσκευές σφονδύλου (Onambele et al. 2008).

Αυτό συμβαίνει επειδή οι σκελετικοί μύες είναι ικανοί να αναπτύξουν πολύ υψηλότερες δυνάμεις όταν συστέλλονται έκκεντρα παρά όταν συστέλλονται σύγκεντρα, σύμφωνα με τη σχέση δύναμης-ταχύτητας (Katz, 1939). Μια θεμελιώδης απαίτηση της σχέσης δύναμης-ταχύτητας είναι ότι κάθε τιμή δύναμης και ταχύτητας σε αυτήν την καμπύλη πρέπει να ανήκει στο ίδιο επίπεδο ενεργοποίησης. Έτσι, λαμβάνεται μια οικογένεια καμπυλών δύναμης-ταχύτητας για διαφορετικά επίπεδα ενεργοποίησης (Camilleri & Hull, 2005).

Ένας αριθμός μελετών έχει αναφέρει σημαντικά κέρδη σύγκεντρης δύναμης στο κάτω άκρο μετά από παραδοσιακή προπόνηση με αντίσταση σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας (Macaluso & De Vito, 2004, Narici et al. 2005, Reeves et al. 2006b). Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη δεδομένων σχετικά με τις αλλαγές στην έκκεντρη δύναμη ως απάντηση στην παραδοσιακή προπόνηση με αντιστάσεις. Hortobágyi et al. (2001b) βρήκε μεγαλύτερα κέρδη στην σύγκεντρη (37%) από την έκκεντρη δύναμη εκτατών γόνατος (22%) μετά από 10 εβδομάδες υψηλής έντασης παραδοσιακής προπόνησης με αντίσταση σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας.

## **2.6 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου**

Ο καθορισμός μιας φυσιολογικής παραμέτρου όπως είναι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου καθώς και η σχέση της με την αερόβια αντοχή, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια του προπονητή και του αθλητικού επιστήμονα. Είναι μία από τις παραμέτρους που αναλύονται και αξιολογούνται περισσότερο από κάθε άλλη και αποτελούν το πιο σημαντικό κριτήριο της βιολογικής αξίας ενός ατόμου. Αυτός ο μέγιστος όγκος



οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά την μέγιστη μυϊκή προσπάθεια, στην μονάδα του χρόνου, ορίζεται ως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2max$ ) (Κλεισούρας, 2011).

## **2.7 Κορεσμός οξυγόνου**

Τα ζωτικά συστήματα του σώματος χρειάζονται ανά πάσα στιγμή φυσιολογικά επίπεδα οξυγόνου, μια κατάσταση που ονομάζεται κορεσμός του οξυγόνου. Μερικές φορές όμως, το αίμα έχει είτε πολύ, είτε πολύ λίγο οξυγόνο, γεγονός που οδηγεί σε σοβαρές συνέπειες υγείας (εγκεφαλική υποξία) (Κωνσταντίνα Γ. Παύλου, 20 Ιουνίου, 2022).

Ο δείκτης κορεσμού των ιστών κατά τη διάρκεια 60 λεπτών ποδηλασίας μέτριας έντασης τείνει να είναι χαμηλότερος σε θερμά υποξικά περιβάλλοντα από ό,τι σε θερμοουδέτερα υποξικά περιβάλλοντα (Yatsutani et. al 2020).

## **Σκοπός**

Ο σκοπός του πειράματος ήταν να μελετήσει την πιθανή επίδραση του μυϊκού μικροτραυματισμού του κάτω άκρου με έκκεντρη άσκηση στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο χειροεργόμετρο.

## **Μεθοδολογία**

### **Ερευνητικός σχεδιασμός**

Η πειραματική ομάδα αποτελούνται από 6 ενήλικους ελεύθερα ασκούμενους, ηλικίας ( $21 \pm 3$  χρονών), ύψους ( $1,78 \pm 0,04$  m) και μάζας ( $78,7 \pm 10,6$  κιλά) οι οποίοι δεν ήταν επαγγελματίες αθλητές. Πριν αρχίσουν οι μετρήσεις, όλοι οι δοκιμαζόμενοι ενημερώθηκαν για το πρωτόκολλο που θα ακολουθηθεί και για όλους τους πιθανούς κινδύνους. Όλες οι διαδικασίες είχαν εγκριθεί από την επιτροπή βιοηθικής και δεοντολογίας της σχολής επιστήμης φυσικής αγωγής και αθλητισμού (936/15-9-2022). Ακόμα όλες οι μετρήσεις διεξήχθησαν στο εργαστήριο εργοφυσιολογίας που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της σχολής. Το δείγμα αποτελούνταν από 6 ενήλικους ελεύθερα ασκούμενους και επισκέφτηκαν το εργαστήριο δύο φορές. Η πρώτη επίσκεψη αφορούσε την εκτίμηση τους

αερόβιας ικανότητας τους (Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου -  $\dot{V}O_{2max}$ ) στο χειροεργόμετρο, ενώ πριν και μετά την άσκηση πραγματοποιήθηκε μέτρηση του κορεσμού οξυγόνου. Μισή ώρα αργότερα, πραγματοποιήθηκε πρωτόκολλο ισοκινητικής έκκεντρης άσκησης (5 σειρές x 15 επαναλήψεις με διάλειμμα 2'). Η έκκεντρη άσκηση πραγματοποιήθηκε σε ένα από τα δύο μέλη με τυχαία επιλογή. Η ένταση κατά τη διάρκεια της έκκεντρης άσκησης ήταν μέγιστη. Πριν και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση αξιολογήθηκε ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος στους πρόσθιους μηριαίους και στα δύο μέλών. Στις 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση επαναλήφθηκε η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο χειροεργόμετρο. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά την δοκιμασία ήταν, το χειροεργόμετρο (Monark, 868), το ισοκινητικό δυναμόμετρο (Biodex, 4pro) και ο αναλυτής αερίων (Medgraphics) τα οποία βαθμονομήθηκαν βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή. Η υποκειμενική κόπωση του δοκιμαζόμενου με την κλίμακα Borg.

### **Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στο χειροεργόμετρο**

Για την αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε ο πνευμονοταχογράφος Medgrafics. Το πρωτόκολλο κλιμάκωσης που ακολουθήθηκε προέβλεπε έργο με προοδευτική αύξηση της επιβάρυνσης στις 60 περιστροφές( $\pm 5$ ) έως εξάντλησης. Αρχικά υπήρχε το στάδιο προθέρμανσης με χρονική διάρκεια 1-3' και με επιβάρυνση 0,5 χιλιόγραμμα (καλαθάκι κυκλοεργόμετρου). Κάθε λεπτό της άσκησης, γινότανε αύξηση της αντίστασης κατά 300gr. Η δοκιμασία τελείωνε στο σημείο που ο δοκιμαζόμενος αδυνατούσε να συνεχίσει την προσπάθεια. Μετά το πέρας της δοκιμασίας ακολουθούσε η καταμέτρηση του κορεσμού οξυγόνου (Lepu, Medical).

### **Πρωτόκολλο για πρόκληση μυϊκού πόνου**

Η έκκεντρη προπόνηση πραγματοποιήθηκε στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και αποτελούνταν από 5 σειρές των 15 επαναλήψεων μέγιστης προσπάθειας. Το διάλειμμα μεταξύ των σειρών ήταν 2 λεπτά ενώ η γωνιακή ταχύτητα ορίστηκε στις 60°/s. Η προπόνηση πραγματοποιήθηκε στο ένα από τα δύο μέλη των δοκιμαζομένων με τυχαία επιλογή. Το άλλο μέλος χρησιμοποιήθηκε ως μέλος ελέγχου.

## Καθυστερημένος μυϊκός πόνος

Η αξιολόγηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου έγινε με ερωτηματολόγιο 10βάθμιας κλίμακας όπου το 1 αντιστοιχούσε στην απουσία οποιαδήποτε ενόχλησης και το 10 στο πολύ δυνατό πόνο. Οι δοκιμαζόμενοι αξιολογούσαν υποκειμενικά την αίσθηση του πόνου τους κατά τη κίνηση της έκκεντρης άσκησης.

## Στατιστική ανάλυση

Η παρουσίαση όλων των δεδομένων έγινε ως μέσος όρος και τυπική απόκλιση. Η συγκριτική αξιολόγηση των τιμών μεταξύ των δύο ομάδων έγινε με την δοκιμασία ελέγχου  $t$  – test. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Microsoft office excel και ο συντελεστής σημαντικότητας ορίστηκε στο  $p < 0.05$ . Η αξιολόγηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου έγινε με ανάλυση διακύμανσης 2x2 ANOVA [2 συνθήκες (έκκεντρη άσκηση και μέλος ελέγχου) x (πριν και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση)] με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στο χρόνο. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο SPSS (IBM, spss systems, 28).

## Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα ευρήματα της παρούσας διατριβής. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων, οι δείκτες καθυστερημένου μυϊκού πόνου και οι δείκτες κορεσμού οξυγόνου ενώ στην συνέχεια η διαμόρφωση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.

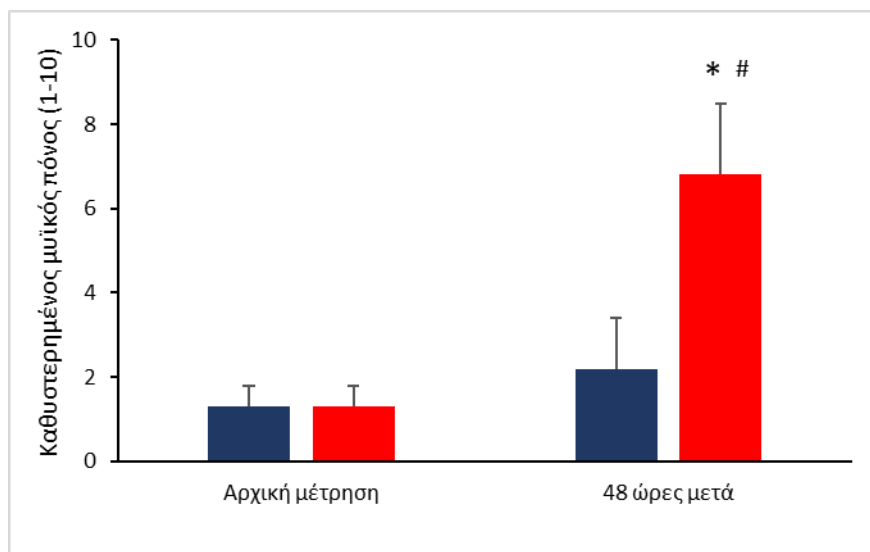
### Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά

Στον πίνακα 1. παρουσιάζονται τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά δείγματος ( $N=6$ , μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση). 6 δοκιμαζόμενων (ηλικία, βάρος, ύψος, δείκτης μάζας σώματος).

Πίνακας 1.

|              |                      |
|--------------|----------------------|
| Ηλικία (έτη) | 21 $\pm$ 3           |
| Μάζα (kg)    | 78,7 $\pm$ 10,6 κιλά |
| Ύψος (m)     | 1,78 $\pm$ 0,04      |
| ΔΜΣ          | 24.8 $\pm$ 3,5       |

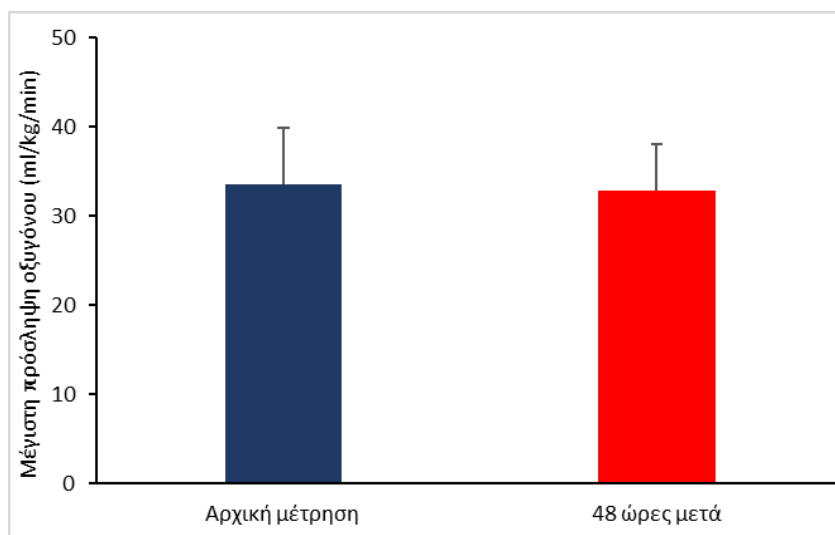
### 5.1. Καθυστερημένος μυϊκός πόνος



Σχήμα 5.1. Καθυστερημένος μυϊκός πόνος εκφραζόμενος σε 10-βάθμια κλίμακα (0 καθόλου πόνος, 10 πολύ έντονος πόνος)

Τα αποτελέσματα του καθυστερημένου μυϊκού πόνου στο Σχήμα 5.1 δείχνουν μια σημαντική διαφορά στην υποκειμενική αντίληψη του καθυστερημένου μυϊκού πόνου των δοκιμαζόμενων στην έκκεντρη άσκηση. Αρχικά η τιμή της έκκεντρης ήταν κατά μέσο όρο στο 1,3 και μετά (στην δεύτερη δοκιμασία ) αυξήθηκε στο 6,8 με μέγιστο το 10.

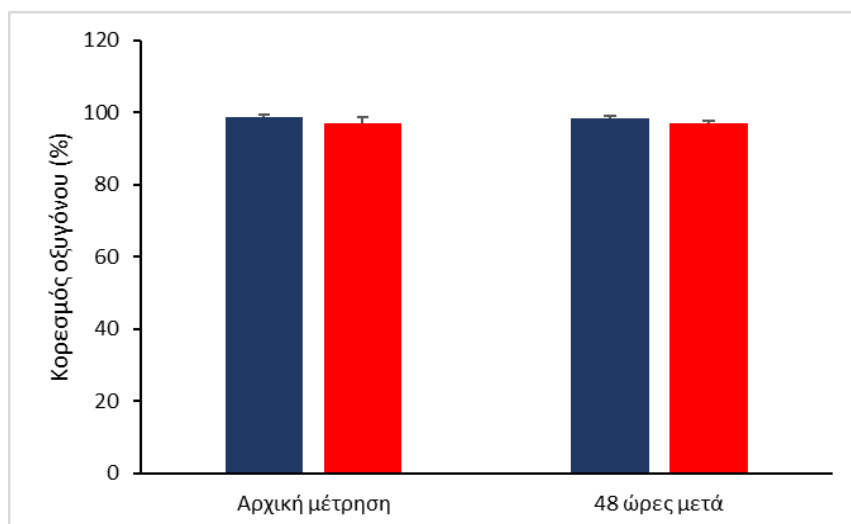
### 5.2 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου



Σχήμα 5.2. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO<sub>2</sub> πρόσληψη οξυγόνου, συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα, p<0.05.)

Τα δεδομένα ύστερα από στατιστική επεξεργασία στο σχήμα 5.2 μας δείχνουν πως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO<sub>2</sub>max) πριν, δηλαδή την πρώτη ημέρα δοκιμασίας βρέθηκε στα (33,5±6,4)ml/kg/min και (32,9±5,2)ml/kg/min δύο ημέρες μετά την πρώτη μέτρηση και μετά την πρόκληση μυϊκού πόνου στην υπερμέγιστη δοκιμασία που ακολούθησε. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στις τιμές. Δεν επηρεάστηκε δηλαδή η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO<sub>2</sub>max).

### 5.3. Κορεσμός οξυγόνου



Σχήμα 5.3. Κορεσμός οξυγόνου (%)

Ο κορεσμός οξυγόνου δεν επηρεάστηκε από την έκκεντρη άσκηση τόσο στην ηρεμία όσο και μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.

## Συζήτηση

Σκοπός της εργασίας ήταν να βρεθεί η επίδραση που μπορεί να έχει ένας μικροτραυματισμός με έκκεντρη άσκηση στα πόδια στην απόδοση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, κατά την πραγματοποίηση μιας αξιολόγησης στο χειροεργόμετρο.

Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μέσω μιας δοκιμασίας με προοδευτική αύξηση της επιβάρυνσης στις 60 περιστροφές( $\pm 5$ ) έως εξάντλησης, ώστε να βρεθεί το  $VO_2\max$  του κάθε δοκιμαζόμενου ξεχωριστά, αυτο επαναλαμβανόταν και 48 ώρες μετά και έτσι μπορούσαμε να βρούμε τυχόν μεταβολές στην πρόσληψη οξυγόνου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι δεν υπήρχε καμία μεταβολή στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου που ήταν ο κύριος δείκτης που αναζητούσαμε. Ο κορεσμός οξυγόνου επίσης δεν μεταβλήθηκε και ο δείκτης καθυστερημένου μυϊκού πόνου, ο οποίος αξιολογήθηκε με την κλίμακα Borg υποκειμενικά, αυξήθηκε σημαντικά όπως αναμέναμε.

Συνεπώς φαίνεται ότι μια εξωτερική (μυϊκή) παρέμβαση μέσω της έκκεντρης άσκησης δεν μπορεί να μεταβάλλει ούτε να επηρεάσει την απόδοση της  $VO_2\max$  εφόσον δεν σχετίζεται με την μυϊκή ομάδα με την οποία γίνεται το έργο στη δοκιμασία μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Φαίνεται ότι ο οργανισμός σε σχέση με την  $VO_2\max$  ρυθμίζει καλά την ισορροπία και δεν επηρεάζεται από μικροτραυματισμούς τους οποίους πρέπει να συγκεντρώσει με αίμα (ερυθροκύτταρα).

Συμπερασματικά, θα λέγαμε ότι είναι ανάγκη να διεξαχθούν περαιτέρω έρευνες που συγκρίνουν την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και μυϊκούς τραυματισμούς ή έκκεντρες ασκήσεις που να μην επηρεάζουν μυϊκά το έργο στην  $VO_2\max$ . Ανοίγει τον ορίζοντα της επιστήμης μας (φυσικής αγωγής) και διευκολύνει σε πολλά κομμάτια της προπονητικής για την αύξηση ή διατήρηση της απόδοσης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, εφόσον υπάρχουν μυϊκοί τραυματισμοί σε αντίθετα άκρα η σε άλλες μυϊκές ομάδες του σώματος.

## Βιβλιογραφία

Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 31:61–67.

Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, S., Halkjær-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 89(6):2249–2257.

Aagaard, P., Suetta, C., Caserotti, P., Magnusson, S., & Kjaer, M. (2010). Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 20:49–64

American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 41(3):687-708.

American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 41(3):687-708.

Baechle, T., Earle, R., & National Strength & Conditioning Association (US) (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Scientific Research.

Bassey, E., & Short, A. (1990). A new method for measuring power output in a single leg extension: feasibility, reliability and validity. *European Journal of Applied Physiology*. 60: 385-390.

Bassey, E., Fiatarone, M., O'Neill, E., Kelley, M., Lipsitz, L., & Evans, W. (1992). Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clinical Science*. 82: 321-327.

Bawa, P. (2002). Neural control of motor output: can training change it? *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 30(2):59–63.

Beattie, K., Kenny, I., Lyons, M., & Carson, B. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine Journal*. 44(6):845-65.

Berg, H., & Tesch, P. Force and power characteristics of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronautica*. 42:219–230.

Bonaldo, P., & Sandri, M. (2013). Cellular and molecular mechanisms of muscle atrophy. *Disease models and mechanisms*. 6(1):25-39.

Boonyarom O., & Inui, K. (2006). Atrophy and hypertrophy of skeletal muscles: structural and functional aspects. *Acta Physiologica*. 188(2):77-89.

Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 14(5):377-81.

Børsheim, E., Tipton, K., Wolf, S., & Wolfe, R. (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *American Journal of Endocrinology and Metabolism*. 283(4):E648-57.

Bouchard, D., Héroux, M., & Janssen, I. (2011). Association between muscle mass, leg strength, and fat mass with physical function in older adults: influence of age and sex. *Journal of Aging and Health*. 23(2):313-28.

Brady, A., & Straight, C. (2014). Muscle capacity and physical function in older women: What are the impacts of resistance training? *Journal of Sport and Health Science*. Pg 179-188

Brümmer, V., Schneider, S., Abel, T., Vogt, T., & Strüder, H. (2011). Brain cortical activity is influenced by exercise mode and intensity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 43(10):1863–1872.

Bruseghini, P Calabria, E., Tam, E., Milanese, C., Oliboni, E., Pezzato, A., Pogliaghi, S., Salvagno, G., Schena, F., Mucelli, R., & Capelli, C. (2015). Effects of eight weeks of aerobic interval training and of isoinertial resistance training on risk factors of cardiometabolic diseases and exercise capacity in healthy elderly subjects. *Oncotarget*. 6(19): 16998–17015.

Leeuwenburgh, C., & Manini, T. (2012). Age-related differences in lower extremity tissue compartments and associations with physical function in older adults. *Experimental Gerontology*. 47:38-44.

Butterfield, T., & Herzog, W. (2006). Effect of altering starting length and activation timing of muscle on fiber strain and muscle damage. *Journal of Applied Physiology*. 100(5):1489-98.

Camilleri, M., & Hull, M. (2005). Are the maximum shortening velocity and the shape parameter in a Hill-type model of whole muscle related to activation? *Journal of Biomechanics*. 38, 2172–2180.

Caruso, J., Hamill, J., Hernandez, D., & Yamauchi, M. (2005). A comparison of isoload and isoinertial leg press training on bone and muscle outcomes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 19:592–8

Chandler, T., Wilson, G., & Stone, M. (1989). The effect of the squat exercise on knee stability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 21(3):299-303.

Chen, H., & Guo, X. (2008). Obesity and functional disability in elderly Americans. *Journal of the American Geriatrics Society*. 56, 689–694.

Chen, T., Xu, M., Tu, J., Wang, H., & Niu, X. (2018). Relationship between Omnibus and post hoc tests: an investigation of performance of the F-test in ANOVA. *Shanghai Archives of Psychiatry*. 30(1): 60–64.



Chow, J., & Darling, W. (1999). The maximum shortening velocity of muscle should be scaled with activation. *Journal of Applied Physiology*. 86(3):1025-31.

Coffey, V., & Hawley, J. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Medicine*. 37(9):737-63.

Colliander, E., & Tesch, P. (1990). Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*. 140, 31–39.

Cormie, P., McGuigan, M., & Newton, R. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1-biological basis of maximal power production. *Sports Medicine Journal*. 41(1):17-38.

de França, H., Branco, P., Guedes Junior, D., Gentil, P., Steele, J., & Teixeira, C. (2015). The effects of adding single-joint exercises to a multi-joint exercise resistance training program on upper body muscle strength and size in trained men. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 40(8):822-6.

Delmonico, M., Harris, T., Visser, M., Won Park, S., Conroy, M., Velasquez-Mieyer, P., Boudreau, R., Manini, T., Nevitt, M., Newman, A., & Goodpaster, B. (2009). Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *American Journal of Clinical Nutrition*. 90(6): 1579–1585.

Dias, C., Toscan, R., de Camargo, M., Pereira, E., Griebler, N., Baroni, B., & Tiggemann, C. (2015). Effects of eccentric-focused and conventional resistance training on strength and functional capacity of older adults. *Age (Dordr)*. 37(5):99.

Ding, D., Lawson, K., Kolbe-Alexander, T., & Finkelstein, E. (2016). The economic burden of physical inactivity: A global analysis of major non-communicable diseases. *The Lancet*. 388 (10051).

Dipietro, L., Caspersen, C., Ostfeld, A., & Nadel, E. (1993). A survey for assessing physical activity among older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 25(5):628- 42.

Doherty, T. (2003). Aging and sarcopenia. *Journal of Applied Physiology*. 95(4):1717-27.

Dohoney, P., Chromiak, J., Lemire, D., Abadie, B., & Kovacs, C. (2002). Prediction of one repetition maximum (1-RM) strength from a 4-6 RM and a 7-10 RM submaximal strength in healthy young adult males. *Journal of Exercise Physiology*. Volume 5 Number 3.

Duarte, J., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M., Couto, P., Costa, D., Martinho, D., Seabra, A., Cyrino, E., Conde, J., Rosado, J., Gonçalves, R. (2018). Reproducibility of isokinetic strength assessment of knee muscle actions in adult athletes: Torques and antagonist-agonist ratios derived at the same angle position. *PLoS One*. 15;13(8)

Duclay, J., Martin, A., Robbe, A., & Pousson, M. (2008). Spinal reflex plasticity during maximal dynamic contractions after eccentric training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 40(4):722-34.

- Duncan, P., Weiner, D., Chandler, J., & Studenski, S. (1990). Functional reach: a new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology*. 45(6):M192-7.
- Dvir Z. (2004). *Isokinetics: Muscle testing, interpretation, and clinical applications*. Churchill Livingstone.
- Dyer, C., Singh, S., Stockley, R., Sinclair, A., & Hill, S. (2002). The incremental shuttle walking test in elderly people with chronic airflow limitation. *Thorax*. 57(1):34-8.
- Escamilla, R., Fleisig, G., Zheng, N., Barrentine, S., Wilk, K., & Andrews, J. (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30(4):556-69.
- Escamilla, R., Fleisig, G., Zheng, N., Barrentine, S., Wilk, K., & Andrews, J. (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30(4):556-69.
- Escamilla, R., Fleisig, G., Zheng, N., Lander, J., Barrentine, S., Andrews, J., Bergemann, B., & Moorman, C. (2001). Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33(9):1552-66.
- Evans, W., & Lexell, J. (1995) Human Aging, Muscle Mass, and Fiber Type Composition. *The Journals of Gerontology: Series A*, Volume 50A, Special Issue 11, Pages 11–16.
- Fang, Y., Siemionow, V., Sahgal, V., Xiong, F., & Yue, G. (2001). Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*. 86(4):1764-72.
- Farthing, J., & Chilibeck, P. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*. 89(6):578–586.
- Fernandez-Gonzalo, R., Fernandez-Gonzalo, S., Turon, M., Prieto, C., Tesch, P., & García-Carreira, M. (2016). Muscle, functional and cognitive adaptations after flywheel resistance training in stroke patients: a pilot randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 6;13:37.
- Fernandez-Gonzalo, R., Lundberg, T., Alvarez-Alvarez, L., & de Paz, J. (2014). Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *European Journal of Applied Physiology*. 114(5):1075-84.
- Flanagan, S., Dunn-Lewis, C., Comstock, B., Maresh, C., Volek, J., Denegar, C., & Kraemer, W. (2012). Cortical Activity during a Highly-Trained Resistance Exercise Movement Emphasizing Force, Power or Volume. *Brain Sciences*. 649-666.
- Gibala, M., Interisano, S., Tarnopolsky, M., Roy, B., MacDonald, J., Yarasheski, K., & MacDougall, J. (2000). Myofibrillar disruption following acute concentric and eccentric resistance exercise in strength-trained men. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 78:656–661.

Gibala, M., MacDougall, J., Tarnopolsky, M., Stauber, W., & Elorriaga A. (1995). Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. 78:702–708.

Glickman, S., Marn, C., Supiano, M., Dengel, D. (2004). Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. *Journal of Applied Physiology*. 97(2):509-14.

Goncalves, A., Gentil, P., Steele, J., Giessing, J., Paoli, A., & Fisher, J. (2019). Comparison of single- and multi-joint lower body resistance training upon strength increases in recreationally active males and females: a within-participant unilateral training study. *European Journal of Translational Myology*. 29(1): 8052.

Granger, C., Denehy, L., Parry, S., Martin, J., Dimitriadis, T., Sorohan, M., & Irving, L. (2015). Which field walking test should be used to assess functional exercise capacity in lung cancer? an observational study. *BMC Pulmonary Medicine*. 15: 89.

Greenwood, J., Morrissey, M., Rutherford, O., & Narici, M. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *European Journal Applied Physiology*. 101, 697–703.

Greenwood, J., Morrissey, M., Rutherford, O., & Narici, M. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *European Journal Applied Physiology*. 101, 697–703.

Harris, T. (1997). Muscle Mass and Strength: Relation to Function in Population Studies. *The Journal of Nutrition*. Volume 127, Issue 5.

Hather, B., Tesch, P., Buchanan, P., & Dudley, G. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*. 143, 177–185.

Hedayatpour, N. (2008b). Multisite electromyographic analysis of quadriceps muscle during exercise-related fatigue, pain and recovery. Dissertation, Aalborg University

Hedayatpour, N., Arendt-Nielsen, L., & Falla, D. (2014). Facilitation of quadriceps activation is impaired following eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 355-362.

Hedayatpour, N., Falla, D., Arendt-Nielsen, L., & Farina, D. (2008a). Sensory and electromyographic mapping during delayed-onset muscle soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 40(2):326–334.

Hedayatpour, N., & Falla, D. (2015). Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *Biomedical Research International*. 2015:193741.

Higbie, E., Cureton, K., Warren, G., & Prior, B. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*. 81(5):2173-81.

Hill, A. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *Journal of Physiology*. 56, 19–41.

Hollander, D., Kraemer, R., Kilpatrick,., Ramadan, Z., Reeves, G., Francois, M., Hebert, E., & Tryniecki, J. (2007). Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1(1), 34–40.

Hortobágyi, T., & Katch, F. (1990). Role of concentric force in limiting improvement in muscular strength. *Journal of Applied Physiology*. 68:650–658.

Hortobágyi, T., Devita, P., Money, J., & Barrier, J. (2001). Effects of standard and eccentric overload strength training in young women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33:1206–1212

Hortobágyi, T., Tunnel, D., Moody, J., Beam, S., & DeVita, P. (2001b). Low- or high-intensity strength training partially restores impaired quadriceps force accuracy and steadiness in aged adults. *Journals of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 56, B38–B47.

Hortobágyi, T., Zheng, D., Weidner, M., Lambert, N., Westbrook, S., & Houmard, J. (1995). The influence of aging on muscle strength and muscle fiber characteristics with special reference to eccentric strength. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 50A:B399–B406.

Hortobágyi, T., Hill, J., Houmard, J., Fraser, D., Lambert, N., & Israel, R. (1996). Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *Journal of Applied Physiology*. 80(3):765-72.

Janssen, I., Heymsfield, S., & Ross, R. (2002). Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *Journal of American Geriatrics Society*. 50(5):889-96.

Jenkins, W., Thackaberry, M., Killian C. (1984). Speed-Specific Isokinetic Training. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 181-183.

Jones, C., Rikli, R., & Beam, W. (1999). A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 70(2):113-9.

Jones, D., & Rutherford, O. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology*. 391, 1–11.

Jones, S., Canavan, J., Nolan, C., Maddocks, M., Kon, S., Polkey, M., & Man, W. (2015). Reliability and validity of the modified stair climb power test in COPD. *European Respiratory Journal*. Vol 46 Issue suppl 59.

Kalyani, R., Corriere, M., & Ferrucci, L. (2014). Age-related and disease-related muscle loss: the effect of diabetes, obesity, and other diseases. *The Lancet Diabetes and Endocrinology*. 2(10): 819–829.

Kaminski, T., Wabbersen, C., & Murphy, R. (1998). Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *Journal of Athletic Training*. 33(3):216-21.

Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *Journal of Physiology*. 45–64.

Katz, B. (1939). The relation between force and speed in muscular contraction. *Journal of Physiology*. 96(1):45-64.

Katzmarzyk, P., Gledhill, N., & Shephard, R. (2000). The economic burden of physical inactivity in Canada. *The Canadian Medical Association Journal*. 163(11):1435-1440.

Keppel G. (1991). *Design and Analysis: A researcher's handbook*. American Psychological Association.

Kibele, A., & Behm, D. (2009). Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 23(9):2443-50.

King, M., Whipple, R., Gruman, C., Judge, J., Schmidt, J., & Wolfson, L. (2002). The Performance Enhancement Project: improving physical performance in older persons. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 83(8):1060-9.

Klass, M., Baudry, S., & Duchateau, J. (2007). Voluntary activation during maximal contraction with advancing age: a brief review. *European Journal of Applied Physiology*. 100, 543-551.

Kompf, J & Arandjelović, O. (2016). Understanding and Overcoming the Sticking Point in Resistance Exercise. *Sports Medicine*. 46: 751–762.

Kowalchuk, K., & Butcher, S. (2019). Review: Eccentric Overload Flywheel Training in Older Adults. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 4(3), 61

Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*. 4: 863.

LaStayo, P., Ewy, G., Pierotti, D., Johns, R., & Lindstedt, S. (2003). The positive effects of negative work: increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 58(5):M419–M424.

- Latham, N., Bennett, D., Stretton, C., & Anderson, C. (2004). Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 59(1):48-61.
- Lexell, J. (1995). Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *Journals of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 11-6.
- Lexell, J., Taylor, C., & Sjöström, M. (1988). What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *Journal of Neurological Sciences*. 84(2-3):275-94.
- Lieber, R., & Friden, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*. 23:1647–1666
- Lindle, R., Metter, E., Lynch, N., Fleg, J., Fozard, J., Tobin, J., Roy, T., & Hurley, B. (1997). Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *Journal of Applied Physiology*. 83:1581–1587.
- Lynch, N., Metter, E., Lindle, R., Fozard, J., Tobin, J., Roy, T., Fleg, J., & Hurley, B. (1999). Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *Journal of Applied Physiology*. 86(1):188-94.
- Lynn, R., & Morgan, D. (1994). Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *Journal of Applied Physiology*. 77(3):1439-44.
- Macaluso, A., & De Vito, G. (2004). Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *European Journal of Applied Physiology*. 91, 450–472.
- Manini, T., & Clark, B. (2011). Dynapenia and aging: an update. *Journals of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 67(1):28-40.
- Gallego, J., & de Paz, J. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta- analysis. *Journal of Science and Medicine in Sports*. 20(10):943-951.
- Marshal, F., & Merry, M. (1999). Checking the relationship between maximum strength and maximum number of repetitions with deduced submaximal intensities. *German magazine for sports medicine*. 10, pp. 311-315.
- Martin, C., Zepeda, E., & Mendez, O. (2017). Bedside ultrasound measurement of rectus femoris: a tutorial for the nutrition support clinician. *Journal of Nutrition and Metabolism*. Volume 2017; Article ID 2767232.
- Mayhew, T., Rothstein, J., Finucane, S., & Lamb, R. (1995). Muscular adaptation to concentric and eccentric exercise at equal power levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 27, 868–873.
- McCaw, S., & Melrose, D. (1999). Stance width and bar load effects on leg muscle activity during the parallel squat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 31(3):428-36.

McGuigan, M., Wright, G., & Fleck, S. (2012) Strength training for athletes: does it really help sports performance? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 7(1):2-5.

Metter, E., Conwit, R., Tobin, J., & Fozard, J. (1997). Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *Journal of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 52:B267–276.

Metter, E., Talbot, L., Schrager, M., & Conwit, R. (2004). Arm-cranking muscle power and arm isometric muscle strength are independent predictors of all-cause mortality in men. *Journal of Applied Physiology*. 96(2):814-21.

Milanović, Z., Pantelić, S., Trajković, N., Sporiš, G., Kostić, R., & James, N. (2013). Age-related decrease in physical activity and functional fitness among elderly men and women. *Clinical Interventions in Aging*. 8:549-56.

Millor, N., Lecumberri, P., Gómez, M., Martínez-Ramírez, A., & Izquierdo, M. (2013). An evaluation of the 30-s chair stand test in older adults: frailty detection based on kinematic parameters from a single inertial unit. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. volume 10, Article number: 86 (2013)

Minozzo, F., & de Lira, C. (2013). Muscle residual force enhancement: a brief review. *Clinics*. 68(2): 269–274.

Mueller, K., Anwander, A., Möller, H. E., Horstmann, A., Lepsien, J., Busse, F., Mohammadi, S., Schroeter, M., Stumvoll, M., Villringer, A., & Pleger, B. (2011). Sex-dependent influences of obesity on cerebral white matter investigated by diffusion- tensor imaging. *PLoS One*. 6(4):e18544.

Mueller, M., Breil, F., Vogt, M., Steiner, R., Lippuner, K., Popp, A., Klossner, S., Hoppeler, H., & Däpp, C. (2009). Different response to eccentric and concentric training in older men and women. *European Journal of Applied Physiology*. 107:145–153.

Muthalib, M., Lee, H., Millet, G., Ferrari, M., & Nosaka, N. (2010). Comparison between maximal lengthening and shortening contractions for biceps brachii muscle oxygenation and hemodynamics. *Journal of Applied Physiology*. 109: 710–720.

Narici, M., Maganaris, C., & Reeves, N. (2005). Myotendinous alterations and effects of resistive loading in old age. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 15, 392–401.

Narici, M., Roi, G., Landoni, L., Minetti, A., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. Volume 59, Issue 4, pp 310–319.

Newman, A., Haggerty, C., Goodpaster, B., Harris, T., Kritchevsky, S., Nevitt, M., Miles, T., & Visser, M. (2003). Strength and muscle quality in a well-functioning cohort of older adults: the Health, Aging and Body Composition Study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 51(3):323-30.

- Nijholt, W., Scafoglieri, A., Jager-Wittenaar, H., Hobbelen, J., & van der Schans, C. (2017). The reliability and validity of ultrasound to quantify muscles in older adults: a systematic review. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 8(5): 702–712.
- Norrbrand, L., Pozzo, M., & Tesch, P. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *European Journal of Applied Physiology*. 110:997–1005.
- Norrbrand, L., Tous-Farjados, J., Vargas, R., & Tesch, P. (2011). Quadriceps muscle use in the flywheel and barbell squat. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 82:13–9.
- Norrbrand, L., Fluckey, J., Pozzo, M., & Tesch, P. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology*. 102(3):271-81.
- Núñez Sanchez, F., & de Villarreal, E. (2017). Does Flywheel Paradigm Training Improve Muscle Volume and Force? A Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 31(11):3177-3186.
- Ochala, J., Dorer, D., Frontera, W., & Krivickas, L. (2006). Single skeletal muscle fiber behavior after a quick stretch in young and older men: A possible explanation of the relative preservation of eccentric force in old age. *Pflügers Archive: European Journal of Physiology*. 452:464–470.
- Onambele, G., Maganaris, C., Mian, O., Tam, E., Rejc, E., McEwan, I., & Narici, M. (2008). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *Journal of Biomechanics*. 41: 3133–3138.
- Otao, H., Murata, S., Tanaka, S., Kubo, A., Horie, J., Miyazaki, J., Hachiya, M., & Mizota, K. (2014). Reliability and validity of a functional reach test (EC-FRT) with eyes closed in local elderly individuals. *Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy*. Volume 3 Issue 4 Pages 157-161
- Overend, T., Cunningham, D., Paterson, D., & Lefcoe, M. (1993). Anthropometric and computed tomographic assessment of the thigh in young and old men. *Canadian Journal of Applied Physiology*. 18(3):263-73.
- Paddon-Jones, D., Lonergan, A., Abernethy, P., & Leveritt, M. (2001). Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *European Journal of Applied Physiology*. 85, 466–471.
- Padulo, J., Laffaye, G., & Chamari, K. (2013). Concentric and Eccentric: Muscle Contraction or Exercise? *Journal of Sports Science and Medicine*. 12(3): 608–609.
- Paoli, A., Gentil, P., Moro, T., Marcolin, G., & Bianco, A. (2017). Resistance Training with Single vs. Multi-joint Exercises at Equal Total Load Volume: Effects on Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Muscle Strength. *Frontier Physiology*. 8: 1105.



Parreira, V., Janaudis-Ferreira, P., Evans, R., Mathur, S., Goldstein, R., Brooks, D. (2014). Measurement Properties of the Incremental Shuttle Walk Test: A Systematic Review. *Chest*. Volume 145, Issue 6, pgs 1357-1369

Patten, C., Kamen, G., & Rowland, D. (2001). Adaptations in maximal motor unit discharge rate to strength training in young and older adults. *Muscle & Nerve*. 24(4):542–550.

Pensini, M., Martin, A., & Maffiuletti, N. (2002). Central versus peripheral adaptations following eccentric resistance training. *International Journal of Sports Medicine*. 23(8):567-74.

Petré, H., Wernstål, & F., Mattsson, M. (2018). Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. *Sports Medicine*. 4:55.

Petré, H., Wernstål, F., & Mattsson, C. (2018). Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. *Sports Medicine-Open*. 13;4(1):55.

Phillip, S. (2014). A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Medicine*. 44 Suppl 1:S71-7.

Phillips S., Hartman J., & Wilkinson, S. (2005). Dietary protein to support anabolism with resistance exercise in young men. *Journal of the American College of Nutrition*. 24 (2):134S-139S.

Ploutz-Snyder, L., Tesch, P., Crittenden, D., & Dudley, G. (1995). Effect of unweighting on skeletal muscle use during exercise. *Journal of Applied Physiology*. 79(1):168-75.

Porter, M. (2006). Power Training for Older Adults. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 31: 87–94.

Porter, M., Vandervoort, A., & Kramer, J. (1997). Eccentric peak torque of the plantar and dorsiflexors is maintained in older women. *Journals of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 52:B125–B131.

Poulin, M., Vandervoort, A., Paterson, D., Kramer, J., & Cunningham. D. (1992). Eccentric and concentric torques of knee and elbow extension in young and older men. *Canadian Journal of Sports Sciences*. 17:3–7.

Pousson, M., Lepers, R., & Van Hoecke, J. (2001). Changes in isokinetic torque and muscular activity of elbow flexors muscles with age. *Experimental Gerontology*. 36:1687–1698.

Quittan, M. (2016). Aspects of physical medicine and rehabilitation in the treatment of deconditioned patients in the acute care setting: the role of skeletal muscle. *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 166(1-2):28-38

Purtsi, J., Vihko, V., Kankaanpää, A., & Havas, A. (2012). The motor-learning process of older adults in eccentric bicycle ergometer training. *Journal of Aging and Physical Activity*. 20:345-362.

Rafferty, A., Reeves, M., McGee, H., & Pivarnik, J. (2002). Physical activity patterns among walkers and compliance with public health recommendations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34(8):1255-61.

Raj, I., Bird, S., Westfold, B., & Shield, A. (2012). Effects of eccentrically biased versus conventional weight training in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 44:116–1176.

Rikli, R., & Jones, C. (1999). Functional Fitness Normative Scores for Community-Residing Older Adults, Ages 60-94. *Journal of Aging and Physical Activity*. 7; 162-181.

Roig, M., MacIntyre, D., Narici, M., Maganaris, C., & Reid, D. (2010). Preservation of Eccentric strength in older adults: evidence, mechanisms and implications for training and rehabilitation. *Experimental Gerontology*. 45(6): 400–409

Roig, M., Shadgan, B., & Reid, D. (2008). Eccentric Exercise in Patients with Chronic Health Conditions: A Systematic Review. *Physiotherapy Canada*. Volume 60 Issue 2, pp. 146-160.

Romanò, C., & Schieppati, M. (1987). Reflex excitability of human soleus motoneurons during voluntary shortening or lengthening contractions. *Journal of Physiology*. 390:271–284.

Sakamoto, Y., & Ohashi, Y. (2017). The relationship between physical function in the elderly and judgment error in walking speed. *Journal of Physical Therapy Science*. 29(7): 1176–1180.

Sale, D. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. S135-S145.

Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (2000). Basics of strength diagnostics in prevention and rehabilitation. *Manual Medicine*. Volume 38, Issue 4 , pp 223-231.

Schoenborn, C., & Adams, P. (2010). Health behaviors of adults: United States, 2005–2007. National Center for Health Statistics; *Vital Health Statistics 10*. (245) pp. 1-132.

Schoenborn, C., Adams, P., Barnes, P., Vickerie, & J., Schiller, J. (2004). Health behaviors of adults: United States, 1999–2001. National Center for Health Statistics. *Vital and Health Statistics 10*. 1-79

Schoenfeld, B., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 51(1): 94–103.

Seger, J., Arvidsson, B., & Thorstensson, A. (1998). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 79, 49–57.

Seo, D., Kim, E., Fahs, C., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S., Thiebaud, R., Sherk, V., Loenneke, J., Kim, D., Lee, M., Choi, K., Bemben, D., Bemben, M., & So, W. (2012).

Reliability of the One-Repetition Maximum Test Based on Muscle Group and Gender. *Journal of Sports Science and Medicine*. 11(2): 221–225.

Shimano, T., Kraemer, W., Spiering, B., Volek, J., Hatfield, D., Silvestre, R., Vingren, J., Fragala, M., Maresh, C., Fleck, S., Newton, R., Spreuwenberg, L., & Häkkinen, K. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 20(4):819-23.

Singh, A., Duncan, R., Neva, J., & Staines, W. (2014). Aerobic exercise modulates intracortical inhibition and facilitation in a nonexercised upper limb muscle. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 6(1, article 23).

Skelton, D., Greig, C., Davies J., & Young, A. (1994). Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age and Ageing*. 23(5):371-7.

Suarez-Arrones, L., de Villarreal, E., Nunez, F., Di Salvo, V., Petri, C., Buccolini, A., Maldonado, R., Torreno, N., & Mendez-Villanueva, A. (2018). In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. *PLoS One*. 13(10): e0205332.

Suchomel, T., Wagle, J., Douglas, J., Taber, C., Harden, M., Haff, G., & Stone, M. (2019). Implementing Eccentric Resistance Training—Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 4, 38

Sun, F., Norman, I., & While, A. (2013). Physical activity in older people: a systematic review. *BMC Public Health*. 6;13:449.

Symons, T., Vandervoort, A., Rice, C., Overend, T., & Marsh, G. (2005). Effects of maximal isometric and isokinetic resistance training on strength and functional mobility in older adults. *Journals of Gerontology A Biological Sciences and Medical Sciences*. 60(6):777-81.

Taaffe, D., Duret, C., Wheeler, S., & Marcus, R. (1999). Once-weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*. 47(10):1208-14.

Taylor, J., & Fletcher, J. (2012). Reliability of the 8-repetition maximum test in men and women. *Journal of Science and Medicine in Sport*. Volume 15, Issue 1, pgs 69-73.

Tesch, P, Fernandez-Gonzalo, R., & Lundberg, T. (2017). Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYoTM) Resistance Exercise. *Frontier Physiology*. 8: 241.

Tesch, P., Fernandez-Gonzalo, R., & Lundberg, T. (2017). Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYoTM) Resistance Exercise. *Frontier Physiology*. 27;8:241.

Tesch, P., Trieschmann, J., & Ekberg, A. (2004). Hypertrophy of chronically unloaded muscle subjected to resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*. 96(4):1451-8.

Ticinesi, A., Narici, M., Lauretani, F., Nouvenne, A., Colizzi, E., Mantovani, M., Corsonello, A., Landi, F., Meschi, T., & Maggio, M. (2018). Assessing sarcopenia with vastus lateralis muscle ultrasound: an operative protocol. *Aging Clinical and Experimental Research*. 30(12):1437-1443.

Tiggemann, C., Dias, C., Radaelli, R., Massa, J., Bortoluzzi, R., Schoenell, M., Noll, M., Alberton, C., & Krueel, L. (2016). Effect of traditional resistance and power training using rated perceived exertion for enhancement of muscle strength, power, and functional performance. *Age (Dordr)*. 38(2): 42.