



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ**

**«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ
ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΟΞΥΓΟΝΩΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩ ΠΛΑΤΕΟΣ
ΜΗΡΙΑΙΟΥ»**

Περεντής Παναγιώτης Αθανάσιος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»

ΑΘΗΝΑ 2021

© Copyright

Περεντής Παναγιώτης Αθανάσιος
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

Σημείωμα Συγγραφέα

Το δοκίμιο αυτό αποτελεί Μεταπτυχιακή Διατριβή που συντάχθηκε για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Βιολογία της Άσκησης», της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του ΕΚΠΑ και υποβλήθηκε το Φεβρουάριο του 2021.

Ο/Η 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

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΚΡΙΣΗΣ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Βιολογία της Άσκησης"

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Του Παναγιώτη-Αθανασίου Περεντή

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Συνέλευση του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 11/2/2021 για την κρίση και αξιολόγηση της μεταπτυχιακής διατριβής του κ. Παναγιώτη-Αθανασίου Περεντή με τίτλο: «Η επίδραση της ισοκινητικής διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης στην οξυγόνωση του έξω πλατέος μηριαίου» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Β. Πασχάλη** Επίκ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων), **Ν. Γελαδά** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, **Κ. Μπουντόλο** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, εκλήθησαν σήμερα 16/4/2021 ημέρα Παρασκευή και ώρα 14:30 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση μέσω τηλεδιάσκεψης στην ηλεκτρονική πλατφόρμα WEBEX (<https://uoa.webex.com/uoa/j.php?MTID=m4a75ff37f011c92d2cafd3e9e76d338d>), προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διατριβή.

Μετά από διεξοδική συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των μελών της εξεταστικής επιτροπής κατέληξαν ότι η κρινόμενη διατριβή πληροί όλους τους όρους εκπόνησής της, είναι πρωτότυπη και προάγει την επιστημονική γνώση και ως εκ τούτου κρίνεται αποδεκτή και εγκρίνεται.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Β. Πασχάλης, Επίκ. Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

VASILEIOS PASCHALIS VASILEIOS PASCHALIS
24.04.2021 17:46

Ν. Γελαδάς, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

NIKOLAOS
GELADAS

Digitally signed by
NIKOLAOS GELADAS
Date: 2021.05.13 09:58:05
+03'00'

Κ. Μπουντόλος, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Βιολογία της Άσκησης» της ειδίκευσης Εργοφυσιολογία, Διατροφή, Άσκηση και Ποιότητα Ζωής, του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Αθηνών.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου όλους τους Καθηγητές και τους υπεύθυνους του τμήματος, που μου έδωσαν τη δυνατότητα να παρακολουθήσω και να ολοκληρώσω το πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Βιολογία της Άσκησης».

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που συντέλεσαν στη δημιουργία και ολοκλήρωση αυτής της μελέτης. Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Β.Πασχάλη ιδιαιτέρως, για όλη τη βοήθεια που μου προσέφερε από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση της μελέτης καθώς και τη συνεχή επικοινωνία που είχαμε για οποιοδήποτε θέμα γύρω από αυτή. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές/μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, τον κ. Ν.Γελαδά και τον κ. Κ.Μπουντόλο, για όλη τη βοήθεια και τις συμβουλές για την τελική ολοκλήρωση της εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω την κα Ε.Χερουβείμ, για όλη της τη βοήθεια στην πραγματοποίηση των πειραμάτων στο Σουκάκειο Ίδρυμα, καθώς και όλους τους υπεύθυνους του εργαστηρίου. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση μου για τη συνεισφορά κάθε εθελοντή που πήρε μέρος στην έρευνα και βοήθησε στην πραγματοποίησή της.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για όλη τους την υποστήριξη κατά τα χρόνια της φοίτησης μου και κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αυτής της μελέτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΟΞΥΓΟΝΩΣΗ ΤΟΥ ΕΞΩ ΠΛΑΤΥ ΜΗΡΙΑΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Ο στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της ποδηλάτησης, της ισοκινητικής ομόκεντρης και της ισοκινητικής έκκεντρης διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης (HIIT) στη μυϊκή (έξω πλατύ μυ) και εγκεφαλική (δεξιός μετωπιαίος λοβός) οξυγόνωση. Δώδεκα υγιείς άνδρες ($n = 12$, ηλικία 26 ± 1 έτος, σωματική μάζα $78,4 \pm 2$ kg, ύψος 176 ± 2 cm, σωματικό λίπος $17 \pm 1\%$) εκτέλεσαν σε τυχαία σειρά υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση με τη μορφή ποδηλάτησης και ισοκινητικής ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης. Ο διαχωρισμός μεταξύ άκρων και τρόπου ισοκινητικής άσκησης έγινε τυχαία. Η μυϊκή και η εγκεφαλική οξυγόνωση αξιολογήθηκε με μέτρηση της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, της ολικής αιμοσφαιρίνης και του δείκτη κορεσμού του ιστού σε οξυγόνο. Κατά τη διάρκεια της ποδηλάτησης οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν συνολικά 7 σειρές μέγιστης έντασης άσκησης 7 δευτερολέπτων χρησιμοποιώντας φορτίο ίσο με το 7,5% του σωματικού βάρους τους, ενώ κατά τη διάρκεια της ισοκινητικής ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης πραγματοποίησαν συνολικά 7 σειρές 5 μέγιστων μυϊκών συστολών. Και στις τρεις συνθήκες, υπήρχε παθητική αποκατάσταση 15 δευτερολέπτων μεταξύ των σειρών. Η HIIT κατά την ποδηλάτηση προκάλεσε μεγαλύτερη αύξηση στον δείκτη κόπωσης σε σύγκριση με την ισοκινητική ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση των πρόσθιων μηριαίων. Η οξυγόνωση των μυών μειώθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια της άσκησης και με τα τρία είδη μυϊκής σύσπασης χωρίς να παρατηρηθεί σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Η εγκεφαλική οξυγόνωση επηρεάστηκε μόνο οριακά κατά τη διάρκεια της ποδηλάτησης, ενώ δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των συνθηκών. Συμπεραίνεται ότι η διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης με ποδήλατο είναι περισσότερο απαιτητική όσον αφορά την μυϊκή οξυγόνωση σε σχέση με την ισοκινητική άσκηση των πρόσθιων μηριαίων της ίδιας έντασης και διάρκειας.

Λέξεις κλειδιά: έκκεντρη, ομόκεντρη, ποδηλάτηση, μυϊκή, εγκεφαλική

ABSTRACT

THE EFFECTS OF ISOKINETIC HIGH INTENSITY INTERVAL EXERCISE ON SKELETAL MUSCLE AND CEREBRAL OXYGENATION

Panagiotis Athanasios Perentis

Department of Physical Education and Sports Sciences

National and Kapodistrian University of Athens

Ethnikis antistasis 41, 17237 Athens

Greece

This study aimed to explore the effects of cycling, isokinetic concentric and isokinetic eccentric high-intensity interval exercise (HIIE) on skeletal muscle (vastus lateralis) and cerebral (right frontal lobe) oxygenation. Twelve healthy males ($n=12$, age 26 ± 1 yr, body mass 78.4 ± 2 kg, height 176 ± 2 cm, body fat $17\pm1\%$) performed in random order cycling exercise and isokinetic concentric and eccentric exercise. The pairing between limbs and the modality of isokinetic exercise was randomly assigned. During the cycling exercise, participants performed a total of 7 sets of maximal intensity which lasted 7 seconds and used a load equal to 7.5% of their body weight. During the isokinetic concentric and eccentric exercise they performed 7 sets of 5 maximal muscle contraction. A 15-sec passive rest protocol was adopted between sets, during all three conditions. HIIT exercise during cycling elicited a bigger increase in fatigue index. Muscle oxygenation was significantly reduced during HIIE in all three exercise modalities, with no difference between them. Cerebral oxygenation was affected only marginally during cycling exercise, while no difference was observed between conditions. It is concluded that, for the quadriceps muscles, cycling HIIE is more taxing with respect to skeletal muscle oxygenation, compared to isokinetic exercise of matching duration and intensity.

Key words: eccentric, concentric, cycling, muscle, cerebral

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΚΡΙΣΗΣ.....	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Ορισμός του προβλήματος.....	1
1.2. Σκοπός	2
1.3. Σημασία	2
1.4. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί	2
1.5. Ερευνητικές Υποθέσεις-Ερωτήματα	2
1.6. Λειτουργικοί Ορισμοί.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	5
2.1. Είδη μυϊκής σύσπασης.....	5
2.2. Ισοκινητική μυϊκή σύσπαση	5

2.2.1. Μέτρηση της μέγιστης ροπής σε ισοκινητικά δυναμόμετρα – Συσχέτιση με απόδοση.....	6
2.2.2. Μέτρηση ισοκινητικής ροπής σε διάφορες πληθυσμιακές ομάδες	7
2.2.3. Μέτρηση ασυμμετριών με ισοκίνηση και πρόληψη τραυματισμών	10
2.2.4. Χρήση ισοκινητικών δυναμόμετρων για αποκατάσταση και εκτίμηση κατάστασης τραυματισμών	11
2.2.5. Ηλεκτρομυογραφία και ισοκίνηση	12
2.3. Υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση (HIIT).....	13
2.3.1. Οφέλη της HIIT στην απόδοση	14
2.3.2. Μηχανισμοί με τους οποίους αυξάνεται η απόδοση με τη HIIT.....	15
2.3.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση / κόπωση κατά τη HIIT	16
2.3.4. Οξειδωτικός μεταβολισμός κατά τη μέγιστη άσκηση.....	18
2.4. Οξυγόνωση του μυός κατά την άσκηση.....	19
2.5. Μέτρηση οξυγόνωσης των σκελετικών μυών – Μέθοδος εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS).....	19
2.5.1. Λειτουργία της μεθόδου NIRS	20
2.5.2. Περιορισμοί της μεθόδου	21
2.5.3. Εγκυρότητα και αξιοπιστία της μεθόδου NIRS	22
2.5.4. Μέτρηση παραγόντων οξυγόνωσης με NIRS κατά την άσκηση	22
2.5.5. Μέτρηση παραμέτρων οξυγόνωσης με NIRS κατά τη HIIT.....	23
2.5.6. Εγκεφαλική οξυγόνωση κατά την άσκηση.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	29

3.1. Όργανα Μέτρησης.....	29
3.2. Εθελοντές	29
3.3. Διαδικασίες.....	29
3.3.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά και εξοικείωση.....	30
3.3.2. Διαλειμματική άσκηση στο κυκλοεργόμετρο	30
3.3.3. Διαλειμματική άσκηση ομόκεντρων και έκκεντρων μυϊκών συσπάσεων στο ισοκινητικό δυναμόμετρο.....	30
3.3.4. Μέτρηση μυϊκής και εγκεφαλικής οξυγόνωσης με NIRS	31
3.3.5. Μέτρηση αντιλαμβανόμενης κόπωσης	32
3.4. Στατιστική Ανάλυση.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	35
4.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά.....	35
4.2. Συνολικό έργο.....	35
4.3. Απόδοση	35
4.4. Κόπωση	35
.....	36
4.5. Παράγοντες οξυγόνωσης.....	36
4.5.1. Δείκτης οξυγόνωσης εγκεφάλου	36
4.5.2. Δείκτης οξυγόνωσης μυός	36
4.5.3. Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου	38
4.5.4. Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μυός	38
.....	39

4.5.5. Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου	39
4.5.6. Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μυός.....	39
4.5.7. Ολική αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου.....	41
4.5.8. Ολική αιμοσφαιρίνη μυός.....	41
.....	42
4.6. Κλίμακα Borg.....	42
4.5. Συσχετίσεις	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	60
Έντυπο συγκατάθεσης δοκιμαζομένου	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1.	Απόδοση ποδηλάτησης	Σελ 57
Σχήμα 4.2.	Απόδοση ισοκίνησης	Σελ. 57
Σχήμα 4.3.	Κόπωση	Σελ. 58
Σχήμα 4.4.	Δείκτης οξυγόνωσης εγκεφάλου	Σελ. 59
Σχήμα 4.5.	Δείκτης οξυγόνωσης μυός	Σελ. 60
Σχήμα 4.6.	Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου	Σελ. 61
Σχήμα 4.7.	Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μυός	Σελ. 62
Σχήμα 4.8.	Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου	Σελ. 63
Σχήμα 4.9.	Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μυός	Σελ. 64
Σχήμα 4.10.	Ολική αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου	Σελ. 65
Σχήμα 4.11.	Ολική αιμοσφαιρίνη μυός	Σελ. 66
Σχήμα 4.12.	Δείκτης υποκειμενικής αίσθησης κόπωσης	Σελ. 67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1.

Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά

Σελ. 56

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

HIIT	Υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση
NIRS	Εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία
O ₂ Hb	Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη
HHb	Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη
tHb	Ολική αιμοσφαιρίνη
TSI%	Δείκτης οξυγόνωσης του ιστού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ορισμός του προβλήματος

Η υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση (HIIT) αποτελεί ένα μοντέλο άσκησης όπου εναλλάσσονται μικρά επαναλαμβανόμενα διαστήματα υψηλής ή μέγιστης έντασης άσκησης με μεγαλύτερης (συνήθως) διάρκειας διαστήματα χαμηλής έντασης ή παθητικής αποκατάστασης (Billat, 2001a, 2001b). Η διαλειμματική άσκηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους όπως τρέξιμο, ποδηλασία, κολύμβηση ή ασκήσεις αντιστάσεων. Χρησιμοποιείται με σκοπό τη βελτίωση της αθλητικής απόδοσης αλλά και της υγείας. Θεωρείται ότι μπορεί να προσφέρει τα ίδια ή και μεγαλύτερα οφέλη με πολύ μεγαλύτερης διάρκειας/χαμηλότερης έντασης άσκηση (Gibala & McGee, 2008).

Διακρίνουμε 3 διαφορετικά είδη μυϊκής σύσπασης: την ομόκεντρη (μικραίνει το μήκος του μυός καθώς παράγει δύναμη), την έκκεντρη (αυξάνεται το μήκος του μυός καθώς παράγει δύναμη) και την ισομετρική (αυξάνεται η τάση του μυός αλλά δεν παρατηρείται αλλαγή στο μήκος του). Στην ομόκεντρη και στην έκκεντρη μυϊκή σύσπαση αλλάζει η γωνία άρθρωσης, ενώ κατά την ισομετρική μυϊκή σύσπαση η γωνία άρθρωσης μένει σταθερή. Κατά την άρση ενός φορτίου η ταχύτητα μεταβολής της γωνίας άρθρωσης αλλάζει συνεχώς. Αντίθετα, κατά την ισοκινητική συστολή (η οποία πραγματοποιείται σε ειδικά ισοκινητικά δυναμόμετρα) διατηρείται σταθερή γωνιακή ταχύτητα κατά την κίνηση της άρθρωσης (Thistle, Hislop, Moffroid, & Lowman, 1967). Η ισοκινητικής μορφής άσκηση χρησιμοποιείται σε διάφορες

περιπτώσεις όπως η μέτρηση της μυϊκής δύναμης, η εκτίμηση μυϊκών ανισορροπιών και η αποκατάσταση μυϊκών τραυματισμών (Ebid, Omar, & Abd El Baky, 2012; Gentil, Del Vecchio, Paoli, Schoenfeld, & Bottaro, 2017).

Η κόπωση κατά την άσκηση μέγιστης έντασης μπορεί να οριστεί ως η μείωση της απόδοσης (ή του παραγόμενου έργου) με την πάροδο του χρόνου στον οποίο πραγματοποιείται η άσκηση (Fitts, 1994). Η κόπωση μπορεί να σχετίζεται με παράγοντες όπως η συσσώρευση μεταβολιτών στους μύες, η διατάραξη του μυϊκού pH και της ιονικής ισορροπίας, η μείωση των επιπέδων της φωσφοκρεατίνης αλλά και η διατάραξη του ενδοκυτταρικού ασβεστίου (Bogdanis, 2012). Σημαντικό ρόλο κατά την έντονη άσκηση φαίνεται να διαδραματίζει και ο αερόβιος μεταβολισμός ακόμα και σε μικρά διαστήματα έντονης επαναλαμβανόμενης άσκησης (Bogdanis, Nevill, Boobis, & Lakomy, 1996). Τέλος, η αναερόβια παραγωγή έργου προκαλεί αυξημένη συσσώρευση γαλακτικού αλλά και μείωση της επανασύνθεσης της φωσφοκρεατίνης κατά τη μέγιστη άσκηση (Balsom, Gaitanos, Ekblom, & Sjodin, 1994; Haseler, Hogan, & Richardson, 1999).

Συχνά κατά την άσκηση μετράται η πρόσληψη οξυγόνου μέσω της αναπνοής, με σκοπό την εκτίμηση παραγόντων όπως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_2 \text{ max}$). Αυτό όμως δεν αρκεί για να γνωρίζουμε το πόσο οξυγόνο αντλούν και χρησιμοποιούν οι εργαζόμενοι μύες για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου έργου. Ένας τρόπος εκτίμησης της χρήσης οξυγόνου από το μυ είναι η μέτρηση του ρυθμού οξυγόνωσης (μεταφοράς οξυγόνου στο μυ) και αποξυγόνωσης (κατανάλωσης οξυγόνου) με τη μέθοδο NIRS (εγγύς

υπέρυθρη φασματοσκοπία) (S. Jones, Chiesa, Chaturvedi, & Hughes, 2016). Πρόκειται για μια μη παρεμβατική μέθοδο μέτρησης με υπέρυθρη ακτινοβολία φωτός των οξυγονωμένων και αποξυγονωμένων μορφών των μεταφορέων οξυγόνου (αιμοσφαιρίνη και μυοσφαιρίνη) (Grassi & Quaresima, 2016). Η μέθοδος NIRS χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της οξυγόνωσης των μυών σε διάφορες καταστάσεις, όπως η υψηλής έντασης άσκηση, με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης της με την κόπωση και την απόδοση (Racinais et al., 2007). Με την ίδια μέθοδο μπορούμε να μετρήσουμε πέραν της μυϊκής, και την εγκεφαλική οξυγόνωση. Η εγκεφαλική οξυγόνωση φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά από υψηλής έντασης άσκηση και πιθανώς να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κόπωση και την απόδοση κατά την άσκηση (Santos-Concejero et al., 2017; Woornos, Dupuy, Mucci, Millet, & Pichon, 2019).

1.2. Σκοπός

Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η μέτρηση παραμέτρων μυϊκής (έξω πλατύς μηριαίος) και εγκεφαλικής οξυγόνωσης κατά τη διάρκεια μέγιστης έντασης διαλειμματικής άσκησης τόσο κατά τη διάρκεια ισοκινητικής ομόκεντρης και έκκεντρης μυϊκής σύσπασης, όσο και κατά τη διάρκεια ποδηλάτησης. Τα αποτελέσματα της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου συγκρίθηκαν με αντίστοιχης έντασης και διάρκειας διαλειμματική άσκηση σε κυκλοεργόμετρο. Παράλληλα διερευνήθηκε η συσχέτιση των παραγόντων αυτών με την κόπωση κατά την άσκηση.

1.3. Σημασία

Οι έρευνες που έχουν μετρήσει την οξυγόνωση των μυών και του εγκεφάλου κατά την άσκηση μέγιστης

έντασης είναι λίγες. Επίσης, τα αποτελέσματα που αφορούν τη σχέση μεταξύ οξυγόνωσης και κόπωσης είναι ασαφή. Τέλος, δεν έχει ερευνηθεί η επίδραση της ισοκινητικής διαλειμματικής άσκησης μέγιστης έντασης στη μυϊκή και εγκεφαλική οξυγόνωση.

1.4. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί

- Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 12 υγιείς ελεύθερα αθλούμενους ενήλικες. Τα αποτελέσματα της έρευνας ίσως να μην μπορούν να γενικευθούν σε καλά προπονημένους αθλητές, σε γυναίκες, σε άτομα άλλων ηλικιών (όπως παιδιά), καθώς και σε άτομα που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες.
- Η εφαρμογή των αποτελεσμάτων της έρευνας πιθανώς περιορίζεται σε αντίστοιχης χρονικής διάρκειας, έντασης και είδους άσκηση, καθώς το πρωτόκολλο πραγματοποιήθηκε σε εργαστηριακές συνθήκες.

1.5. Ερευνητικές Υποθέσεις-Ερωτήματα

- Υπόθεση 1: Θα υπάρξει σημαντική κόπωση (πτώση της απόδοσης) κατά τη διάρκεια του πειράματος στην ποδηλάτηση. Αυτή θα αποτυπωθεί σε μείωση της παραγόμενης ισχύος.
- Υπόθεση 2: Θα υπάρξει αύξηση της αποξυγόνωσης και μείωση της οξυγόνωσης στον έξω πλατύ μυ κατά την πάροδο του χρόνου της άσκησης. Παράλληλα θα υπάρξει αύξηση της εγκεφαλικής αποξυγόνωσης.
- Ερώτημα 1: Θα παρατηρηθεί αντίστοιχη κόπωση στα πρωτόκολλα ισοκινητικής άσκησης, όπου υπάρχει απομόνωση μυός, με αυτήν ίσου χρόνου HIIT με τη μορφή ποδηλάτησης;
- Ερώτημα 2: Η πιθανή πτώση της απόδοσης και οι αλλαγές των παραμέτρων οξυγόνωσης κατά τα

δύο πρωτόκολλα ισοκινητικής άσκησης θα κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με την άσκηση στο κυκλοεργόμετρο;

- Ερώτημα 3: Θα υπάρξει συσχέτιση των παραγόντων οξυγόνωσης με την κόπωση κατά την άσκηση;

1.6. Λειτουργικοί Ορισμοί

Ισοκινητική μυϊκή σύσπαση: Πρόκειται για είδος μυϊκής συστολής που πραγματοποιείται σε ισοκινητικό δυναμόμετρο, όπου η γωνιακή ταχύτητα της άρθρωσης κατά τη μυϊκή σύσπαση ρυθμίζεται εξ' αρχής και παραμένει σταθερή.

Ομόκεντρη μυϊκή σύσπαση: Αναφέρεται στην κατάσταση όπου ο μυς υπερνικά την εξωτερική αντίσταση, με αποτέλεσμα τη μείωση του μήκους των σαρκομερίων και ολόκληρου του μυός.

Εκκεντρη μυϊκή σύσπαση: Αναφέρεται στην κατάσταση όπου ασκείται μεγαλύτερη εξωτερική δύναμη από αυτή που παράγει ο μυς, όπου παρατηρείται αύξηση του μήκους των σαρκομερίων και ολόκληρου του μυός.

Κόπωση: Η πτώση της απόδοσης και του παραγόμενου έργου κατά την άσκηση.

Μυϊκή και εγκεφαλική οξυγόνωση και αποξυγόνωση: Αναφέρονται στη μεταφορά και την κατανάλωση οξυγόνου προς και από το μυ και τον εγκέφαλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Είδη μυϊκής σύσπασης

Γνωρίζουμε ότι ο μυς μπορεί να εκτελέσει τρία είδη σύσπασης. Το πρώτο είναι η ισομετρική σύσπαση, όπου το μήκος του μυός παραμένει αμετάβλητο ενώ αυξάνεται η τάση του. Παρατηρείται όταν ο μυς υποστηρίζει στατικά ένα αντικείμενο με σταθερή γωνία άρθρωσης (ασκεί δύναμη όση το βάρος του αντικειμένου) ή ασκεί δύναμη σε ένα ανυπέρβλητο φορτίο (π.χ. σπρώξιμο σε τοίχο).

Το δεύτερο είδος μυϊκής σύσπασης είναι η ομόκεντρη και αναφέρεται στην κατάσταση όπου υπάρχει βράχυνση του μυός (μείωση του μήκους των σαρκομερίων), ο οποίος ασκεί μεγαλύτερη δύναμη από μία εξωτερική επιβάρυνση (όπως η κάμψη του δικέφαλου βραχιόνιου κατά την ανύψωση ενός αντικειμένου). Το μηχανικό έργο που παράγεται σε αυτή τη συστολή είναι θετικό. Το Έργο (W) ισούται με το γινόμενο της Δύναμης (F) που ασκείται επί τη μετατόπιση (s) του αντικειμένου.

Το τρίτο είδος είναι η έκκεντρη μυϊκή σύσπαση που προσδιορίζει την κατάσταση στην οποία έχουμε αύξηση του μήκους των σαρκομερίων του μυός υπό την άσκηση εξωτερικού φορτίου με δύναμη μεγαλύτερη από όση παράγει ο μυς (όπως η έκταση του δικέφαλου βραχιόνιου κατά τον έλεγχο της πτώσης ενός αντικειμένου). Στην περίπτωση αυτή το έργο που παράγεται είναι αρνητικό.

2.2. Ισοκινητική μυϊκή σύσπαση

Τόσο κατά την ομόκεντρη όσο και κατά την έκκεντρη μυϊκή συστολή, όταν μετατοπίζεται ένα βάρος η δύναμη που ασκείται δεν είναι ίδια καθ' όλη τη

διάρκεια της κίνησης. Αυτό συμβαίνει λόγω της δράσης των αρθρώσεων ως μοχλοί, που πρακτικά ορίζει ότι με την γωνιώδη κίνηση της άρθρωσης αλλάζει η δύναμη και η ροπή (δύναμη x απόσταση) στα διάφορα σημεία της τροχιάς της κίνησης. Επομένως στις διάφορες κινήσεις που εκτελούν οι μύες η γωνιακή ταχύτητα των αρθρώσεων μπορεί να μεταβάλλεται.

Με την κατασκευή των ισοκινητικών δυναμόμετρων έχει επιτευχθεί η σταθερή γωνιακή ταχύτητα σε όλο το εύρος της κίνησης, κάτι που δε συμβαίνει στις καθημερινές κινήσεις (Thistle et al., 1967). Όμως, θα πρέπει να σημειωθεί πως η τάση του μυός παραμένει σταθερή μόνο σε συστολή που γίνεται *in vitro*, ενώ κατά την ισοκίνηση *in vivo* έχουμε σταθερή ταχύτητα κίνησης της άρθρωσης και όχι σταθερή σύσπαση του μυός (Hinson, Smith, & Funk, 1979).

Τα ισοκινητικά δυναμόμετρα μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγάλο εύρος γωνιακής ταχύτητας, από πολύ αργή (από 10°/s) έως πολύ γρήγορη (πάνω από 300°/s), ανάλογα με το ισοκινητικό δυναμόμετρο. Στα ισοκινητικά δυναμόμετρα μπορούν να εκτελεσθούν αμιγώς ομόκεντρες ή έκκεντρες μυϊκές συσπάσεις, καθώς και ισομετρικές μυϊκές συσπάσεις. Η χρήση ισοκινητικών δυναμόμετρων βρίσκει εφαρμογή σε διάφορες διαδικασίες όπως είναι η μέτρηση της μέγιστης δύναμης και απόδοσης (Gentil et al., 2017), η εφαρμογή προγραμμάτων ενδυνάμωσης για αποκατάσταση τραυματισμών (Ebid et al., 2012) και η μέτρηση και εκτίμηση πιθανών ανισοροπιών στη δύναμη, την ισχύ και την αντοχή μεταξύ των δύο άκρων ή των αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών μίας άρθρωσης (που πιθανώς να σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού) (Fousekis, Tsepis, &

Vagenas, 2010). Όλες αυτές οι εφαρμογές της ισοκίνησης θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

2.2.1. Μέτρηση της μέγιστης ροπής σε ισοκίνητικά δυναμόμετρα – Συσχέτιση με απόδοση

Η δυνατότητα που παρέχουν τα ισοκίνητικά δυναμόμετρα και τα ξεχωρίζει από τα απλά μηχανήματα δύναμης είναι η μέτρηση της μέγιστης ροπής μιας ομάδας μυών αποκλειστικά σε ένα από τα 3 είδη της μυϊκής σύσπασης. Όσον αφορά την ομόκεντρη και έκκεντρη ισοκίνητική σύσπαση μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες. Το ισοκίνητικό δυναμόμετρο δίνει τη δυνατότητα πλήρους εύρους κίνησης και επειδή αποτελεί κίνηση ανοικτής αλυσίδας, δίνει τη δυνατότητα απομόνωσης και μέτρησης της δύναμης μιας ομάδας μυών (π.χ. των εμπρόσθιων μηριαίων κατά την έκταση του γονάτου).

Εδώ έχει αξία να δούμε πως σχετίζεται η μέτρηση της μυϊκής ροπής σε ένα ισοκίνητικό δυναμόμετρο με άλλες δοκιμασίες, όπως μέτρηση 1 μέγιστης επανάληψης (1ME), αλλά και με παραμέτρους αθλητικής απόδοσης όπως το κάθετο άλμα.

Ερευνητές συσχέτισαν τη μέγιστη ισομετρική ροπή των εμπρόσθιων μηριαίων με τη 1ME στις πιέσεις ποδιών (leg press) πριν και μετά από παρέμβαση προπονητικού προγράμματος που διήρκεσε 11 εβδομάδες (Gentil et al., 2017). Η αρχική συσχέτιση ήταν μέτρια προς υψηλή ($r=0,6$) ενώ η συσχέτιση μειώθηκε μεταξύ των δύο μετρήσεων το πρόγραμμα παρέμβασης ($r=0,49$). Πιο συγκεκριμένα στους 27 συμμετέχοντες η 1ME στις πιέσεις ποδιών αυξήθηκε κατά 23,98% μετά την παρέμβαση, ενώ

η μέγιστη ισομετρική ροπή κατά 15,96%

Σημαντικά αποτελέσματα ανέδειξε αντίστοιχη μελέτη που συσχέτισε την απόδοση σε δοκιμασία 8ME στις εκτάσεις γονάτων με τη μέγιστη ισοκίνητική ροπή σε 3 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες: ($60^\circ/s$, $120^\circ/s$ και $240^\circ/s$) σε 15 άνδρες και 15 γυναίκες, με τις μετρήσεις να επαναλαμβάνονται 3 ημέρες μετά (Taylor & Fletcher, 2013). Η συσχέτιση ήταν υψηλή στις 2 χαμηλότερες ταχύτητες ($r=0,85$) και μέτρια προς υψηλή στις $240^\circ/s$ ($r=0,71$).

Σε έρευνα που έγινε σε ασθενείς με σκοπό τη μέτρηση της δύναμης με τη μέθοδο της 1ME και της μέγιστης ροπής στις $60^\circ/s$ στους καμπτήρες και εκτείνοντες του γονάτου παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μετρήσεων (Feiereisen, Vaillant, Eischen, & Delagardelle, 2010). Μετά από προπονητικό πλάνο 40 συνεδριών η δύναμη των εκτεινόντων των εθελοντών αυξήθηκε κατά 36% στη 1ME και 7,4% στη μέγιστη ισοκίνητική ροπή. Οι αντίστοιχες αυξήσεις στους καμπτήρες του γονάτου ήταν 100% και 18,7%. Η διαφορά στη μέτρηση ήταν σημαντικά μεγαλύτερη υπέρ της 1 ME.

Η μέτρηση σε ισοκίνητικό δυναμόμετρο φαίνεται να έχει μέτρια έως υψηλή συσχέτιση με δοκιμασία μέγιστου αριθμού επαναλήψεων. Η συσχέτιση φαίνεται να μειώνεται όταν προσπαθούν να ανιχνευθούν μεταβολές στη δύναμη μετά από παρέμβαση. Διαφορές στη μέτρηση της δύναμης μεταξύ του ισοκίνητικού δυναμόμετρου και της 1 ME μπορεί να οφείλονται σε πολλούς παράγοντες όπως η γωνιακή ταχύτητα η οποία παραμένει ελεγχόμενη σε όλο το εύρος της κίνησης, η εξειδίκευση των νευρομυϊκών προσαρμογών μετά από ένα πρόγραμμα άσκησης, η πραγματοποίηση της αξιολόγησης της

1 ΜΕ δύο άκρα έναντι ενός στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και η διαφορά στην κίνηση όπου στη 1 ΜΕ γίνεται σε πολυαρθρική κίνηση (όπως οι πιέσεις ποδιών και τα καθίσματα) ενώ στο ισοκινητικό δυναμόμετρο η κίνηση γίνεται μονοαρθρικά.

Ερευνητές προσπάθησαν να συσχετίσουν την απόδοση σε δύο είδη κάθετου άλματος (άλμα από ημικάθισμα και άλμα με προδιάταση) με τη μέγιστη ισοκινητική ροπή σε 3 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες των εκτεινόντων του γονάτου, του ισχίου και των καμπτήρων της ποδοκνημικής άρθρωσης σε 29 ενήλικες άνδρες (Kellis, Kellis, Manou, & Gerodimos, 2000). Η συσχέτιση των ισοκινητικών παραγόντων με το παραγόμενο έργο στο άλμα από ημικάθισμα ήταν μεγάλη με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στη δύναμη των εκτεινόντων του γονάτου στις 120°/s ($r=0,81$). Αντίστοιχα το έργο στο άλμα με προδιάταση παρουσίασε υψηλή συσχέτιση με τη μέγιστη ροπή των εκτεινόντων του γονάτου τόσο στις 120°/s ($r=0,848$) όσο και στις 180°/s ($r=0,847$).

Στην ίδια έρευνα βρέθηκε μεγάλη ικανότητα πρόβλεψης του έργου του άλματος με προδιάταση και του άλματος από ημικάθισμα από το συνδυασμό των μέγιστων ροπών στις αρθρώσεις του ισχίου, του γονάτου και της ποδοκνημικής. Πιο συγκεκριμένα ο συνδυασμός της ροπής των 3 αρθρώσεων στις 180, 120 και 60°/s εξήγησε το 75% της διασποράς στο παραγόμενο έργο στο άλμα με προδιάταση, και το 69% της διασποράς στο έργο του άλματος από ημικάθισμα.

Παρόμοια αποτελέσματα υπήρξαν και σε μια παλιότερη έρευνα (Bosco, Mogroni, & Luhtanen, 1983). Σε αυτή την έρευνα βρέθηκε συσχέτιση 0,51 και 0,64 μεταξύ της μέγιστης ροπής των

εκτεινόντων του γονάτου στις 120 και 180°/s αντίστοιχα, με το ύψος του άλματος με προδιάταση, ενώ η συσχέτιση των δύο ροπών με το ύψος στο άλμα από ημικάθισμα ήταν 0,65 και 0,64 αντίστοιχως. Επιπρόσθετα, σε άλλη έρευνα είχε βρεθεί σημαντική συσχέτιση του έργου του κάθετου άλματος με τη μέγιστη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων του γονάτου ($r=0,587$) και των καμπτήρων του πέλματος ($r=0,5$) στις 180°/s. Αντίστοιχες συσχετίσεις ήταν πολύ χαμηλές όταν οι ίδιες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με γωνιακή ταχύτητα 30°/s (Genuario & Dolgener, 1980).

Φαίνεται λοιπόν να υπάρχει μέτρια προς υψηλή συσχέτιση μεταξύ της ροπής στην έκταση των γονάτων (κυρίως στις υψηλότερες ταχύτητες) και των εκρηκτικών κινήσεων όπως τα άλματα.

2.2.2. Μέτρηση ισοκινητικής ροπής σε διάφορες πληθυσμιακές ομάδες

Άλλη μια πρακτική εφαρμογή της μέτρησης της μέγιστης ισοκινητικής ροπής είναι η σύγκριση μεταξύ διαφόρων ομάδων του πληθυσμού. Έτσι, μπορούμε να μελετήσουμε διαφορές μεταξύ ατόμων διαφορετικής ηλικίας και φύλου, ή ανάμεσα σε αθλητές διαφορετικών αγωνισμάτων ή ανάμεσα σε αθλητές και απροπόνητα άτομα. Συγκεκριμένα, σε έρευνα που εξέτασε τις διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών σε σχέση με τη μέγιστη ομόκεντρη και έκκεντρη ροπή των εκτεινόντων και καμπτήρων του γονάτου σε 2 διαφορετικές ταχύτητες (60°/s και 180°/s) καθώς και το λόγο της δύναμης μεταξύ των δύο ανταγωνιστών μυών (H/Q), βρέθηκε ότι και στις 2 ταχύτητες η μέγιστη ροπή και η μέγιστη ροπή προς το σωματικό βάρος ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στους άνδρες ($p<0,001$) (Rezaei et al., 2014). Επίσης,

στην ίδια έρευνα υπήρχε σημαντική αλληλεπίδραση φύλλου-γωνιακής ταχύτητας όσον αφορά το λόγο H_{con}/Q_{con} και H_{ecc}/Q_{con} ($p=0,013$ και $p=0,002$). Και στις 2 περιπτώσεις είχαμε σημαντική αύξηση του λόγου με παράλληλη αύξηση της ταχύτητας.

Οι ηλικιωμένοι είναι άλλη μια πληθυσμιακή ομάδα στους οποίους μπορεί να εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στην ισοκινητική ροπή τόσο σε σχέση με άτομα μικρότερης ηλικίας όσο και μεταξύ ατόμων της ίδιας ομάδας. Πολλοί ηλικιωμένοι αντιμετωπίζουν σαρκοπενία και υποσιτισμό λόγω ασθενειών και της γήρανσης με αποτέλεσμα η λειτουργικότητα και η δύναμη τους να μειώνεται. Ερευνητές μελέτησαν άνδρες και γυναίκες ηλικιωμένους, 107 υγιείς και 261 υποσιτισμένους/σαρκοπενικούς ως προς τη μέγιστη ισοκινητική ροπή (3 επαναλήψεις) κάμψης και έκτασης γονάτου στις $60^\circ/s$ και $180^\circ/s$. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν μεγάλη πτώση της μέγιστης ροπής στην 3^η επανάληψη και μεγαλύτερες ενδοατομικές διακυμάνσεις στους υποσιτισμένους, οι οποίες βρέθηκαν αρνητικά συσχετιζόμενες με τη δύναμη. Επίσης βρέθηκε πολύ πιο έντονη πτώση της δύναμης από τις $60^\circ/s$ στις $180^\circ/s$ στους υποσιτισμένους σε σχέση με τους υγιείς. Η έρευνα αυτή μπορεί να αναδείξει πολλές πρακτικές εφαρμογές στη χρήση του ισοκινητικού δυναμομέτρου για την αξιολόγηση της δύναμης σε ηλικιωμένους (Cramer, Jenkins, Mustad, & Weir, 2017).

Πολλές μελέτες έχουν γίνει μετρώντας τη μέγιστη ροπή των άνω ή των κάτω άκρων σε αθλητές, διαφόρων ηλικιακών ομάδων και επιπέδου με σκοπό την αξιολόγηση της δύναμης και της απόδοσης αλλά και της πιθανής δυνατότητας πρόληψης τραυματισμού

από τη διερεύνηση μυϊκών ασυμμετριών.

Τις διαφορές μεταξύ αθλητών (άλτες και δρομείς) και μη αθλούμενων εφήβων (13-15 ετών και 16-17 ετών) εξέτασε η έρευνα των Deli et al. (2011) όσον αφορά τη μέγιστη ισοκινητική ροπή των καμπτήρων και εκτεινόντων του γονάτου, το λόγο των δύο τιμών και τις διαφορές των δύο άκρων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αθλητές και των 2 ηλικιακών ομάδων ήταν δυνατότεροι από τους μη αθλητές σε όλες τις παραμέτρους, ενώ οι αθλητές 16-17 ετών είχαν υψηλότερη μέγιστη ροπή κάμψης από τους αθλητές 13-15 ετών. Στην ηλικία των 16-17 ετών οι άλτες είχαν σημαντική μεγαλύτερη ροπή έκτασης γονάτου από τις άλλες 2 ομάδες ενώ οι μη αθλητές είχαν μεγαλύτερη αναλογία ροπής H/Q . Τα αποτελέσματα δείχνουν τη σχέση της ισοκινητικής ροπής αλλά και τη διαφορετική ανάπτυξη των μυών τόσο με την ωρίμανση όσο και με το είδος άσκησης ενός ατόμου. Τέλος, μεταξύ των αθλητών βρέθηκαν αρκετές ασυμμετρίες στη μέγιστη ροπή τόσο μεταξύ των 2 άκρων, όσο και μεταξύ εμπρόσθιων και οπίσθιων.

Σε έρευνα της ίδιας φύσης μελετήθηκαν οι διαφορές με βάση την ηλικία σε παλαιστές ως προς τη μέγιστη ισοκινητική ροπή (στις $30^\circ/s$, $180^\circ/s$ και $300^\circ/s$) των εμπρόσθιων και οπίσθιων μηριαίων καθώς και την αναλογία τους με το σωματικό βάρος και την άλιπη μάζα σώματος (Camici et al., 2010). Οι 108 αθλητές χωρίστηκαν σε 6 ομάδες με βάση την ηλικία, με τη μικρότερη να είναι 8,1-8,9 ετών και τη μεγαλύτερη 13-13,9 ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μεγαλύτερη ροπή με την αύξηση της ηλικίας, που όμως δε συσχετιζόταν με τις διαφορές στην ολική και άλιπη σωματική μάζα. Καταδεικνύεται έτσι η αύξηση της

δύναμης των κάτω άκρων με την ωρίμανση στις μικρές ηλικίες.

Άλλη μία μελέτη ανέδειξε τη συσχέτιση μεταξύ ισοκινητικής ροπής και ηλικίας σε νεαρούς αθλητές (Lehnert et al., 2011). Σε 45 εφήβους αθλητές ποδοσφαίρου που χωρίστηκαν σε 3 ομάδες (κάτω των 16, 17 και 18 ετών αντίστοιχα) και μετρήθηκαν η μέγιστη ισοκινητική ροπή σε 3 διαφορετικές ταχύτητες ($60^\circ/\text{s}$, $180^\circ/\text{s}$ και $360^\circ/\text{s}$) των εκτεινόντων και καμπτήρων του γονάτου. Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ των ηλικιακών κατηγοριών στις 2 χαμηλές ταχύτητες ($p=0,005$ και $p=0,036$ αντίστοιχα).

Η μελέτη των Housh et al. (1984) συνέκρινε 62 έφηβες αθλήτριες στίβου (διαφόρων αθλημάτων) ως προς τη μέγιστη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων και καμπτήρων του γονάτου στις $180^\circ/\text{s}$. Μεταξύ των ομάδων, σημαντικά υψηλότερη ροπή εκτεινόντων είχαν οι ρίπτες σε σχέση με τους δρομείς μεσαίων αποστάσεων (διαφορά 54,4%), τους δρομείς μικρών αποστάσεων (35,6%) και τους άλτες (23,6%). Αντίστοιχα είχαν και τη μεγαλύτερη ροπή καμπτήρων σε σχέση με δρομείς μικρών (32,1%) και μεσαίων (37,4%) αποστάσεων. Τα ευρήματα και αυτής της έρευνας δείχνουν τη διαφορά που μπορεί να υπάρχει στη δύναμη μεταξύ αθλητών με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Οι διαφορές ποδοσφαιριστών δύο διαφορετικών επιπέδων (15 επαγγελματιών 1^{ης} κατηγορίας και 30 ερασιτεχνών) εξετάστηκαν σε 4 διαφορετικές ταχύτητες στο ισοκινητικό δυναμόμετρο (Zakas, 2006). Οι ελίτ ποδοσφαιριστές εμφάνισαν σχετικά μεγαλύτερη ροπή κάμψης και έκτασης γονάτου. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην αναλογία μεταξύ των δύο ποδιών αλλά

και της αναλογίας H/Q στα δύο άκρα, δείχνοντας ότι οι αθλητές ποδοσφαίρου έχουν εξίσου ανεπτυγμένα και τα δύο άκρα.

Σε άλλα αθλήματα οι διαφορές στη δύναμη μεταξύ άκρων μπορεί να είναι μεγαλύτερες. Μελέτη σε 24 ενήλικες αθλητές βόλεϊ υψηλού επιπέδου εξέτασε τη μέγιστη ισοκινητική ομόκεντρη ροπή κάμψης και έκτασης γονάτου καθώς και της έσω και έξω στροφής του ώμου (σε ταχύτητα $60^\circ/\text{s}$). Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν τόσο μεταξύ του κυρίαρχου και μη χεριού ($p=0,013$) όσο και μεταξύ δεξιού και αριστερού ποδιού ($p=0,036$), δείχνοντας την πιθανή ύπαρξη ασυμμετριών και στα 2 άκρα λόγω της φύσης του αθλήματος (Markou, Vagenas, 2006).

Με το ισοκινητικό δυναμόμετρο μπορούν να αξιολογηθεί η ροπή μεταξύ αθλητών του ίδιου αθλήματος, αλλά διαφορετικού είδους ή θέσης, επομένως διαφορετικών δεξιοτήτων και να αποκαλυφθούν τυχόν αδυναμίες. Έρευνα συνέκρινε τη δύναμη των μυών στις αρθρώσεις του γόνατος και του ισχίου σε επαγγελματίες αθλητές rugby, 32 του rugby league και 25 του rugby union. Πρόκειται για τα 2 είδη του αθλήματος του ράγκμπι, το πρώτο από τα οποία απαιτεί κινήσεις υψηλής ταχύτητα σε όρθια θέση και το δεύτερο κινήσεις αργής ταχύτητας με κύριο χαρακτηριστικό τη δύναμη. Οι αθλητές του union είχαν σημαντικά υψηλότερη δύναμη κάμψης γονάτου και στα 2 πόδια, ενώ η δύναμη έκτασης ισχίου ήταν μεγαλύτερη στους αθλητές του league. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη δύναμη ακόμα και αθλητές του ίδιου αθλήματος, που αγωνίζονται όμως σε αγώνες με διαφορετικές απαιτήσεις (Brown, Brughelli, Griffiths, & Cronin, 2014).

2.2.3. Μέτρηση ασυμμετριών με ισοκίνηση και πρόληψη τραυματισμών

Τα ισοκινητικά δυναμόμετρα χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση ασυμμετριών όσον αφορά τη ροπή μεταξύ δεξιού και αριστερού άκρου, αλλά και των ανταγωνιστών μυών σε μια άρθρωση (κυρίως εμπρόσθιων και οπίσθιων μηριαίων στο γόνατο, λόγος H/Q). Πολλές είναι οι έρευνες που έχουν γίνει κυρίως σε αθλητές για την εκτίμηση αυτών των ασυμμετριών, ενώ συχνά αναφέρονται διάφορες αναλογίες ως προς τη διαφορά ροπής μεταξύ άκρων (όπως >10% διαφορά ροπής μεταξύ των 2 ποδιών) και ανταγωνιστών μυών (όπως λιγότερο από 0,6 H/Q), οι οποίες πιθανώς συσχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού (Knapik, Bauman, Jones, Harris, & Vaughan, 1991; Myer, Ford, & Hewett, 2004; Orchard, Marsden, Lord, & Garlick, 1997).

Μελέτη στην οποία συμμετείχαν 40 επαγγελματίες αθλήτριες softball συνέκρινε τη δύναμη μεταξύ των δύο κάτω άκρων με διάφορες δοκιμασίες (Newton et al., 2006). Αυτές ήταν η ισοκινητική μέτρηση της μέγιστης ροπής έκτασης και κάμψης γονάτου στις 60°/s και 240°/s, η μέτρηση της δύναμης κάθε ποδιού σε παράλληλο ημικάθισμα και διποδικό και μονοποδικό κάθετο άλμα, μαζί με το "5-hop test" ως λειτουργική δοκιμασία. Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ του ισχυρού και αδύναμου άκρου (έως 16%). Το 5-hop test εμφάνισε σχετικά μέτρια συσχέτιση με την ισοκινητική μέγιστη ροπή στις 60°/s ($r=0,573$ και $r=0,365$ για την έκταση και κάμψη γονάτου αντίστοιχα) και αρκετά χαμηλότερη στις 240°/s.

Αντιστοίχως, ερευνητές σύγκριναν την ισοκινητική δυναμομέτρηση με άλλες αξιολογήσεις της λειτουργικής

ικανότητας ως προς την εκτίμηση ασυμμετριών σε 31 άνδρες αθλητές. Η ισοκινητική μέτρηση περιλάμβανε τη μέγιστη ροπή των μυών του γονάτου στις 60°/s και οι υπόλοιπες δοκιμασίες ήταν: μονοποδική πίεση ποδιών, οριζόντια άλματα, πτωτικά άλματα και μονοποδικά άλμα εις ύψος. Σημαντικές διαφορές βρέθηκαν σε όλες τις δοκιμασίες μεταξύ του κυριάρχου και αδύναμου ποδιού με υψηλότερη αυτή της έκκεντρης έκτασης του γονάτου (12,4%). Παρόλα αυτά δεν βρέθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των λειτουργικών δοκιμασιών και των ισοκινητικών μετρήσεων, υποστηρίζοντας ότι πιθανώς οι τελευταίες να μη σχετίζονται τόσο καλά με απόδοση και πρόληψη τραυματισμών σε αθλητές (Jones & Bampouras, 2010).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε 102 επαγγελματίες αθλητές Αυστραλιανού ποδοσφαίρου αξιολογήθηκε η μέγιστη ομόκεντρη και έκκεντρη ροπή των οπίσθιων μηριαίων και τετρακέφαλων σε ισοκινητικό δυναμόμετρο στις 60°/s και 180°/s (Bennell et al., 1998). Οι αθλητές παρακολούθηθηκαν για το επόμενο αγωνιστικό έτος και καταγράφηκαν οι περιπτώσεις θλάσεων οπίσθιων μηριαίων (συνέβη σε 11,8% των συμμετεχόντων). Δε βρέθηκαν σημαντικές διαφορές ως προς τη μέγιστη ροπή του κυριάρχου και μη ποδιού, ή του τραυματισμένου ή μη. Επίσης δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ της ροπής των άκρων των τραυματισμένων αθλητών και των υπολοίπων, αλλά ούτε και συσχέτιση του λόγου <0,9 μεταξύ δύναμης αδύναμου–κυριάρχου ποδιού και <0,6 στην αναλογία οπίσθιων/πρόσθιων μηριαίων με κίνδυνο τραυματισμού.

Με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου μπορούν να

υπολογισθούν διάφορες δυσαναλογίες στη ροπή αλλά για το αν και κατά πόσο αυτές σχετίζονται με αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού ή μείωση αθλητικής απόδοσης πιθανώς έχει να κάνει με τις ανάγκες και τις συνθήκες του κάθε αθλήματος. Απόλυτη συμμετρία δεν μπορεί να υπάρχει σε κανέναν άτομο, και ίσως η εκτίμηση του κινδύνου τραυματισμού να είναι καλύτερη με πιο "λειτουργικές δοκιμασίες" που προσομοιάζουν τις ίδιες κινήσεις που αγωνίζεται ο αθλητής.

2.2.4. Χρήση ισοκινητικών δυναμόμετρων για αποκατάσταση και εκτίμηση κατάστασης τραυματισμών

Η χρήση άσκησης μέσω ισοκινητικών δυναμόμετρων έχει εφαρμοστεί και για την αποθεραπεία ατόμων μετά από μυοσκελετικό τραυματισμό, που έχει οδηγήσει σε χρόνια ακινησία ή και ατροφία μυών. Γνωρίζουμε ότι η αποκατάσταση μετά από τραυματισμούς όπως ρήξεις συνδέσμων είναι πιο γρήγορη αν χρησιμοποιηθεί (παράλληλα με την όποια θεραπεία) πρόγραμμα άσκησης, σε σχέση με την ακινησία (Decarlo, Shelbourne, McCarroll, & Rettig, 1992).

Σε μελέτη που έγινε σε άτομα που είχαν κάνει χειρουργείο αποκατάστασης πρόσθιων χιαστών οι ερευνητές ήθελαν να μελετήσουν το είδος της άσκησης που επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Για τους σκοπούς της έρευνας 45 αθλητές μετά από χειρουργείο χωρίστηκαν σε 3 ομάδες που ακολούθησαν τρίμηνο πρόγραμμα αποκατάστασης. Τον 2^ο και 3^ο μήνα εφαρμόστηκε διαφορετικό πρωτόκολλο άσκησης, με την πρώτη ομάδα να εκτελεί κλασσικές ασκήσεις ενδυνάμωσης, τη δεύτερη ισοκινητικές και την τρίτη συνδυασμό και των δύο ειδών. Μετά τους 3 μήνες, και στις 3

ομάδες βελτιώθηκαν η δύναμη (σε 1 ME, ισοκινητική δυναμομέτρηση και EMG) και μειώθηκε η μετεγχειρητική ατροφία του τραυματισμένου άκρου. Η 3^η ομάδα εμφάνισε σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις μετρήσεις, όπως και στην κλινική επανεξέταση με την κλίμακα Davies (Tsaklis & Abatzides, 2002).

Πολύ καλά αποτελέσματα της χρήσης της ισοκίνησης έχουν φανεί και σε άτομα σε περίοδο αποκατάστασης μετά από πολλαπλά εγκαύματα (35-55% της ολικής σωματικής επιφάνειας) (Ebid et al., 2012). Μετρήθηκε η μέγιστη ισομετρική ροπή των εμπρόσθιων και οπίσθιων μηριαίων στις 150°/s σε 40 εγκαυματίες (6 μήνες μετά το συμβάν) και σε 23 υγιείς (ομάδα ελέγχου). Οι 40 ασθενείς έπειτα χωρίστηκαν σε 2 ομάδες των 20. Η πρώτη ομάδα εκτέλεσε πρόγραμμα με ισοκινητικές ασκήσεις ενδυνάμωσης των κάτω άκρων για 12 εβδομάδες (3 συνεδρίες την εβδομάδα), ενώ στην άλλη ομάδα δεν εφαρμόστηκε κάποιο πρόγραμμα άσκησης, πέρα από τις ασκήσεις φυσικοθεραπείας που έκαναν μόνοι οι εθελοντές στο σπίτι. Μετά τη λήξη της παρέμβασης υπήρχε σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση της μέγιστης ισοκινητικής ροπής στην ομάδα που εκτελούσε τις ισοκινητικές ασκήσεις (21,55% έναντι 9,2% και 15,48% έναντι 5,35% αντίστοιχα).

Η θετική επίδραση της χρήσης της ισοκίνησης για αποκατάσταση τραυματισμών επισημάνθηκε σε ανασκόπηση ερευνών γύρω από την εφαρμογή ισοκίνησης για εκτίμηση και αποκατάσταση σε τραυματισμούς της άρθρωσης του ώμου (Ellenbecker & Davies, 2000). Οι ερευνητές κατέληξαν ότι μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο. Με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου μπορούν να ελεγχθούν διάφορες

παράμετροι όπως η έλλειψη εύρους κίνησης στην άρθρωση, η διαφορά δύναμης ή εύρους μεταξύ των 2 άκρων αλλά και διαφορές στην απόδοση των ανταγωνιστών μυών γύρω από την άρθρωση. Σε διαφόρων ειδών προγράμματα η χρήση ισοκινητικών ασκήσεων μπορεί να συνεισφέρει στην ανάκτηση εύρους κίνησης και δύναμης στην άρθρωση.

Πέραν του ρόλου σαν εργαλείο αποκατάστασης, η χρήση των ισοκινητικών δυναμόμετρων έχει χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της κατάστασης ασθενών. Σε μια μελέτη του 2018 οι ερευνητές εξέτασαν 118 ενήλικες αθλητές που είχαν πραγματοποιήσει επέμβαση αποκατάστασης πρόσθιων χιαστών και 44 υγιείς ως ομάδα ελέγχου (O'Malley et al., 2018). Σκοπός ήταν η διερεύνηση της επίδοσης σε άλμα και της ισοκινητικής δύναμης των εκτεινόντων/καμπτήρων του γονάτου ως κριτήριο διαχωρισμού μεταξύ των 2 ομάδων και η δημιουργία φυσιολογικών τιμών απόδοσης για την εκτίμηση της κατάστασης των τραυματισμένων. Υπήρξε σημαντική διαφορά στα τραυματισμένα άτομα μεταξύ του υγιούς και του τραυματισμένου ποδιού στην μέγιστη ισοκινητική ροπή στις 60°/s των τετρακέφαλων και των οπίσθιων μηριαίων. Σημαντικές διαφορές στις δύο μετρήσεις βρέθηκαν και μεταξύ των τραυματισμένων ατόμων και της ομάδας ελέγχου. Επίσης, βρέθηκε ότι στην ομάδα ελέγχου η μέγιστη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων και καμπτήρων ως ποσοστό επί του σωματικού βάρους ήταν για το κυρίαρχο πόδι 261% και 156% και για το αδύναμο 253% και 155% αντίστοιχα, τιμές παρόμοιες με αυτές στο μη τραυματισμένο άκρο των ασθενών (260% και 151%). Οι τιμές στο εγχειρημένο πόδι ήταν χαμηλότερες (200% και 146%), δείχνοντας την αξία

της ισοκινητικής δυναμομέτρησης για την εκτίμηση της κατάστασης του τραυματισμένου άκρου και θέτοντας ένα στόχο για την προπόνηση αποκατάστασης.

2.2.5. Ηλεκτρομυογραφία και ισοκίνηση

Συχνά κατά τη διάρκεια ισοκινητικής άσκησης πραγματοποιείται και η ηλεκτρομυογραφία (EMG). Η EMG αντικατοπτρίζει την ηλεκτρική δραστηριότητα των κινητικών μονάδων κατά τη μυϊκή προσπάθεια, δείχνοντας το ποσοστό ενεργοποίησης των μυϊκών ινών. Θεωρείται ότι σχετίζεται άμεσα με την παραγωγή δύναμης / ροπή κατά την άσκηση ενώ χρησιμοποιείται και για την ανίχνευση διαφορών μεταξύ των διαφορετικών ειδών μυϊκής σύσπασης (π.χ. ομόκεντρη σε σχέση με την έκκεντρη) (Grabiner & Owings, 2002; Perry-Rana et al., 2002).

Στη μελέτη των Perry-Rana et al. (2002) εξετάστηκε η πτώση της μέγιστης ροπής σε 10 ενήλικες που εκτέλεσαν 50 συνεχόμενες ομόκεντρες συσπάσεις των εμπρόσθιων μηριαίων σε 3 διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες: 60, 180 και 300 °/s. Παρατηρήθηκε πτώση της απόδοσης στις τελευταίες επαναλήψεις κατά 44±18%, 65±14% και 63±8% αντίστοιχα για κάθε γωνιακή ταχύτητα. Αντίστοιχες πτώσεις βρέθηκαν και στην EMG του έξω πλατέος, ενώ παρατηρήθηκαν και σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της μέγιστης ροπής και της EMG που ήταν υψηλότερες όσο αυξανόταν η γωνιακή ταχύτητα ($R^2 = 0,352$, $R^2 = 0,588$, $R^2 = 0,839$ για τις αντίστοιχες γωνιακές ταχύτητες).

Σε μελέτη που έγινε σε 7 γυναίκες που εκτέλεσαν 25 μέγιστες έκκεντρες συσπάσεις των εμπρόσθιων μηριαίων στις 120 °/s εξετάστηκε η συσχέτιση με την EMG. Παρατηρήθηκε αύξηση της

μέγιστης ροπής έως τη 10^η επανάληψη και στην συνέχεια διατηρήθηκε σταθερή μέχρι το τέλος. Στον έξω πλατύ παρατηρήθηκε επίσης μια γραμμική αύξηση της ενεργοποίησης στην αρχή, η οποία εμφάνισε μικρή συσχέτιση με την παραγόμενη ροπή ($R^2=0,22$). Οι ερευνητές υποστήριξαν πως οι έκκεντρες συσπάσεις αρχική δεν ήταν μέγιστες, πως αυξήθηκε η συμμετοχή κινητικών μονάδων όσο επερχόταν κόπωση και ότι μπορεί να αυξανόταν η μηχανική αποτελεσματικότητα λόγω αποθηκευμένης ελαστικής ενέργειας με κάθε επανάληψη (Perry-Rana, Housh, Johnson, Bull, & Cramer, 2003).

Σε 7 γυναίκες εξετάστηκαν οι διαφορές στην ενεργοποίηση του έξω πλατέος και της πτώσης της απόδοσης σε 10 μέγιστες ομόκεντρες και έκκεντρες συσπάσεις των εμπρόσθιων μηριαίων στις 60 %s. Στην έκκεντρη, εκτός του ότι διατηρήθηκε περισσότερο η ροπή, παρατηρήθηκε μικρότερη τιμή EMG (13%, $p=0,035$), δείχνοντας την πιθανή μικρότερη ενεργοποίηση του μυός κατά την έκκεντρη σύσπαση (Grabiner & Owings, 2002). Αντίστοιχα αποτελέσματα είχαν βρεθεί και στην έρευνα των (Del Valle & Thomas, 2005), όπου εθελοντές εκτέλεσαν εκτάσεις του αγκώνα προοδευτικά αυξανόμενης έντασης στις 40 %s. Η έκκεντρη σύσπαση προκάλεσε το 73% της μυϊκής ενεργοποίησης που προκάλεσε η ομόκεντρη. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και σε μελέτη όπου εκτελέστηκαν 6 μέγιστες επαναλήψεις έκτασης του γονάτου στις 60, 180 και 360 %s (η έκκεντρη προκάλεσε το 80% της ενεργοποίησης που προκάλεσε η ομόκεντρη) (Westing, Seger, & Thorstensson, 1990). Η αιτιολόγηση των ερευνητών είναι πως υπάρχει πιθανή αδυναμία ή φυσική άμυνα του οργανισμού στο να ενεργοποιήσει τις ίδιες κινητικές μονάδες κατά την έκκεντρη σύσπαση,

λόγω της υψηλότερης δύναμης που μπορεί να παραχθεί (άρα και την πιθανή επικινδυνότητα).

Σπανιότερα γίνεται και η μέτρηση του εγκεφαλογραφήματος (EEG) για τη διερεύνηση διαφορών όσον αφορά την κεντρική ενεργοποίηση. Έχει φανεί ότι σε έκκεντρες συσπάσεις ότι υπάρχει γρηγορότερη και υψηλότερη ενεργοποίηση τόσο σε υπομέγιστη όσο και μέγιστη ένταση άσκησης. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι ο κεντρικό νευρικό σύστημα χρειάζεται μεγαλύτερη ενεργοποίηση για να επιτευχθεί η έκκεντρη σύσπαση (Fang, Siemionow, Sahgal, Xiong, & Yue, 2004; Sekiguchi et al., 2007).

2.3. Υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση (HIIT)

Στη βιβλιογραφία η υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση αναφέρεται συχνά ως HIIT (High Intensity Interval Training). Πρόκειται για μια μέθοδο άσκησης κατά την οποία ο ασκούμενος εκτελεί μικρά διαστήματα (από 3-4s έως και 4 λεπτά) υψηλής-μέγιστης έντασης άσκηση ακολουθούμενα από μεγαλύτερης συνήθως διάρκειας (1/2-5 min) διαστήματα χαμηλής έντασης άσκηση ή παθητική αποκατάσταση. Συνήθως πραγματοποιείται με τη μορφή τρεξίματος ή ποδηλάτησης όπου σε εργαστηριακές συνθήκες γίνεται σε δαπεδοεργόμετρο ή κυκλοεργόμετρο (Billat, 2001a, 2001b).

Η HIIT προτείνεται ως μία μέθοδος που μπορεί να προσφέρει τα ίδια οφέλη στην υγεία με άλλες μορφές άσκησης, αλλά σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, κάνοντας τη μια αποτελεσματική και “οικονομική” μορφή άσκησης (Gibala & McGee, 2008; Gillen & Gibala, 2014). Θεωρείται ότι βελτιώνει πολλές παραμέτρους της υγείας (Batacan, Duncan, Dalbo, Tucker, & Fenning,

2017), ενώ είναι και ένα πολύ διαδεδομένο είδος αθλητικής προπόνησης με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης (Gist, Fedewa, Dishman, & Cureton, 2014).

2.3.1. Οφέλη της ΗΠΤ στην απόδοση

Η υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση, όπως με τη μορφή δρομικών επαναλήψεων μέγιστης έντασης και μικρής διάρκειας, φαίνεται να βελτιώνει σημαντικά παράγοντες που σχετίζονται με την απόδοση κατά την άσκηση (οξειδωτική ικανότητα μυών, μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και βελτίωση αντοχής σε μακράς διάρκειας δραστηριότητες). Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται συχνά από αθλητές και ομάδες υψηλού επιπέδου, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης (Gist et al., 2014).

Μελέτη διερεύνησε την επίδραση της ΗΠΤ στην αερόβια και αναερόβια απόδοση με 4 διαφορετικά πρωτόκολλα (Hazell, Macpherson, Gravelle, & Lemon, 2010). Οι 48 εθελοντές χωρίστηκαν σε 4 ομάδες (3 ομάδες πραγματοποίησαν άσκηση σε κυκλοεργόμετρο και 1 ομάδα ελέγχου). Και οι 3 εκτελούσαν επαναλήψεις μέγιστης έντασης 2 φορές την εβδομάδα για 3 εβδομάδες. Οι διαφορές ήταν στην αναλογία χρόνου άσκησης/αποκατάστασης και τελικά οι 4 ομάδες ήταν χωρισμένες ως εξής ανάλογα με τον χρόνο άσκησης και διαλείμματος: 30s/4min, 10s/4min, 10s/2min, και καθόλου άσκηση. Μετά την παρέμβαση υπήρξαν σημαντικές βελτιώσεις σε αγώνα 5 km και για τις 3 ομάδες (5,2%, 3,5% και 3%, αντίστοιχα), στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στις 2 πρώτες ομάδες μόνο (9,3% και 9,2%) και στη μέγιστη ισχύ σε δοκιμασία Wingate και για τις 3 ομάδες (9,5%, 8,5% και 4,2%, αντίστοιχα). Η μελέτη έδειξε ότι και οι 3 τρόποι μπορούν να αυξήσουν

σημαντικά παράγοντες απόδοσης, με μια μικρή όμως υπεροχή των 30s και των 10s με μεγαλύτερο διάλειμμα.

Έρευνα συνέκρινε δύο διαφορετικά πρωτόκολλα ΗΠΤ σε 24 ασκούμενους εθελοντές (Bayati, Farzad, Gharakhanlou, & Agha-Alinejad, 2011). Οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε 3 ομάδες, η μία από τις οποίες αποτελούσε την ομάδα ελέγχου. Στις άλλες 2 ομάδες η προπόνηση έγινε σε κυκλοεργόμετρο και αποτελούταν είτε από 3-5 μέγιστες επαναλήψεις των 30s ή 6-10 επαναλήψεις στο 125% της Pmax (ισχύς κατά τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου). Η παρέμβαση διήρκεσε 4 εβδομάδες με συχνότητα 3 προπονήσεις την εβδομάδα. Στις 2 αυτές ομάδες, τόσο η VO₂ max (9,6% και 9,7%, αντίστοιχα) όσο και η Pmax (12,8% και 16,1% αντίστοιχα) βελτιώθηκαν σημαντικά. Επίσης βελτιώθηκε σημαντικά η απομάκρυνση του γαλακτικού (20 λεπτά μετά την άσκηση) σε σχέση με τα αρχικά επίπεδα αλλά και την ομάδα ελέγχου. Γίνεται φανερό η θετική επίδραση της υψηλής έντασης άσκησης στην απόδοση και μάλιστα με 2 διαφορετικά είδη, είτε μέγιστης έντασης είτε υψηλής με λίγο μεγαλύτερη διάρκεια

Μελέτη σε 15 καλά προπονημένους αθλητές πάλης έδειξε αρκετά οφέλη με 4 εβδομάδες πρόσθετης προπόνησης ΗΠΤ (2 φορές την εβδομάδα) στο προπονητικό πρόγραμμα των 8 από αυτούς (οι υπόλοιποι 7 αποτέλεσαν ομάδα ελέγχου). Η ομάδα παρέμβασης αύξησε τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου κατά 5,4% και το χρόνο μέχρι εξάντλησης στη VO₂max κατά 32,2%. Παράλληλα αύξησε κατά 183 W τη μέγιστη ισχύ σε δοκιμασία Wingate (p<0,05) (Farzad et al., 2011). Σημαντικά κέρδη βρέθηκαν και σε αθλητές του τζούντο (Kim et al., 2011). Οι 11 από τους αθλητές εκτελούσαν

προπόνηση ΗΠΤ συμπληρωματικά (3/εβδομάδα) και οι υπόλοιποι 18 δεν εκτελούσαν προπόνηση ΗΠΤ (ομάδα ελέγχου). Μετά από 8 εβδομάδες οι αθλητές που έκαναν ΗΠΤ αύξησαν σημαντικά την αναερόβια ισχύ τους κατά 18% και η αύξηση διέφερε σημαντικά με την ομάδα ελέγχου. Παράλληλα σε αυτούς μειώθηκε η συγκέντρωση γαλακτικού 10 και 15 λεπτά μετά από άσκηση.

Τη βελτίωση του μεταβολισμού των υδατανθράκων κατά την άσκηση έδειξε η μελέτη των Burgomaster, Heigenhauser, and Gibala (2006). Σε 8 υγιείς άνδρες εφαρμόστηκε πρόγραμμα προπόνησης για 6 συνεδρίες με 4-7 διαστήματα μέγιστης άσκησης των 30s. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση κατά 50% του μυϊκού γλυκογόνου στον έξω πλατύ, και σημαντική αύξηση του ενζύμου της συνθάσης του κιτρικού ($p=0,04$). Επίσης μετά από δοκιμασία εικοσάλεπτης άσκησης μειώθηκε σημαντικά η γλυκονεογένεση (σε 100 ± 16 από 139 ± 11 mmol/kg άλιπης μάζας) και η συσσώρευση γαλακτικού (σε 55 ± 2 από 63 ± 1 mmol/kg άλιπης μάζας), ενώ βελτιώθηκε σημαντικά και η απόδοση σε δοκιμή τρεξίματος συγκεκριμένου χρόνου.

Μετα-ανάλυση του 2014 εξέτασε την επίδραση της ΗΠΤ και SIT (sprint interval training) στην αερόβια ικανότητα. Συνολικά αναλύθηκαν 16 τυχαιοποιημένες και ελεγχόμενες μελέτες και 318 εθελοντές (Gist et al., 2014). Κατά μέσο όρο η υψηλής έντασης άσκηση φαίνεται ότι αυξάνει τη VO_2 max κατά 8%, σε παρόμοια επίπεδα με αυτά της συνεχόμενης και μέτριας έντασης. Η επίδραση αυτή φαίνεται να είναι μικρή προς μέτρια (Cohen's $d=0,32$, $p<0,01$).

Υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση έχει εφαρμοστεί και με τη

μορφή ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης σε ισοκινητικό μηχάνημα, με αρκετές θετικές επιδράσεις στην απόδοση και την υγεία. Στη μελέτη των Paschalis et al. (2011) γυναίκες ακολούθησαν για 8 εβδομάδες πρόγραμμα ομόκεντρης ή έκκεντρης άσκησης, που αποτελούνταν από 5 σειρές των 15 μέγιστων επαναλήψεων στις 60°/s μία φορά την εβδομάδα. Και στις δύο περιπτώσεις αυξήθηκε η μυϊκή δύναμη (μετρημένη ως ομόκεντρη, έκκεντρη και ισομετρική ισοκινητική ροπή), ενώ στην έκκεντρη υπήρξε μετά τις 8 εβδομάδες σημαντική βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ και αύξηση της ενεργειακής δαπάνης ηρεμίας και της οξειδωσης του λίπους. Σε αντίστοιχη έρευνα της ίδια ομάδας μετά από εφαρμογή του ίδιου πρωτοκόλλου για 10 εβδομάδες σε άνδρες αυξήθηκε σημαντικά η δύναμη. Η αύξηση αυτή ήταν εξειδικευμένη στο είδος άσκησης που εκτελέστηκε. Σε αυτούς που εκτελούσαν ομόκεντρη άσκηση αυξήθηκε περισσότερο η μέγιστη ομόκεντρη ισοκινητική ροπή παρά η έκκεντρη, και το αντίθετο σε όσους εκτελούσαν έκκεντρη άσκηση (Margaritelis et al., 2020).

2.3.2. Μηχανισμοί με τους οποίους αυξάνεται η απόδοση με τη ΗΠΤ

Οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η αύξηση της απόδοσης μετά από προπόνηση ΗΠΤ είναι αρκετά σύνθετοι και φαίνεται να αφορούν καρδιαγγειακές, αναπνευστικές, μεταβολικές και νευρικές προσαρμογές μετά την άσκηση (Gibala & McGee, 2008).

Η οξειδωτική ικανότητα του μυός φαίνεται να αυξάνεται με την υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση (Burgomaster et al., 2006; Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, & Gibala, 2005). Μόλις 6 συνεδρίες ΗΠΤ αύξησαν την ποσότητα μυϊκού

γλυκογόνου κατά 50% ($p=0,04$) και τη συγκέντρωση του οξειδωτικού ενζύμου συνθάσης του κιτρικού κατά 11% ($p=0,04$), καθώς και της διϋδρογενάσης του πυροσταφυλικού (Burgomaster et al., 2006). Μελέτη σε 8 δραστήριους ενήλικες έδειξε σημαντική αύξηση της δραστηριότητας του ενζύμου της κυτοχρωμικής οξειδάσης με μόλις 6 συνεδρίες μέγιστης άσκησης, αλλά και της ικανότητας διατήρησης του pH του μυός (κατά 7,6%). Τα αποτελέσματα δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ αυτής της ομάδας και άλλων 8 εθελοντών, που εκτελούσαν άσκηση μακράς διάρκειας στο 65% της $VO_2 \max$. Σημαντικό είναι, όμως, ότι η ΗΠΤ προξένησε τις ίδιες μεταβολές με ελάχιστο προπονητικό όγκο και χρόνο σε σχέση με τη μακράς διάρκειας άσκηση (Gibala et al., 2006).

Παρόμοιες προσαρμογές βρέθηκαν μετά από 6 εβδομάδες άσκησης ΗΠΤ σε σχέση με χαμηλότερης έντασης και μεγάλης διάρκειας άσκηση (Burgomaster et al., 2008). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν αυξήσεις στα ένζυμα της συνθάσης του κιτρικού, της διϋδρογενάσης του πυροσταφυλικού και της διϋδρογενάσης του 3-υδροξυλοακυλο CoA. Παράλληλα αυξήθηκαν τα μυϊκά επίπεδα γλυκογόνου και φωσφοκρεατίνης κατά την άσκηση και μειώθηκε η συσσώρευση γαλακτικού μετά την άσκηση.

Στην ίδια έρευνα παρατηρήθηκε και έντονη αύξηση της πρωτεΐνης PGC-1 α , η οποία σχεδόν διπλασιάστηκε σε 6 εβδομάδες (Burgomaster et al., 2008). Πρόκειται για μια πρωτεΐνη με καθοριστικό ρόλο στην έκφραση των οξειδωτικών ενζύμων των μιτοχονδρίων (Knutti & Kralli, 2001). Η ΗΠΤ φαίνεται να αυξάνει τα επίπεδα της το ίδιο με την κλασσική προπόνηση αντοχής μεγαλύτερης διάρκειας

(Burgomaster et al., 2008). Ίσως αυτή να είναι μια πιθανή αιτία που προσφέρει τα ίδια οφέλη, παρά τον πολύ μικρότερο χρόνο προπόνησης (Gibala & McGee, 2008).

2.3.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση / κόπωση κατά τη ΗΠΤ

Γνωρίζοντας τα ξεκάθαρα οφέλη που προσφέρει η υψηλής έντασης άσκηση, και ειδικά με τη μορφή ΗΠΤ, στην υγεία και την αθλητική απόδοση, αξίζει να εξετάσουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση σε τέτοιου είδους προπόνηση. Η απόδοση μπορεί να επηρεαστεί δραματικά από την παρουσία κόπωσης κατά την άσκηση, οπότε όταν η ΗΠΤ χρησιμοποιείται ως μέσο προπόνησης θα πρέπει να γνωρίζουμε τους μηχανισμούς εκείνους που θα επιφέρουν κόπωση.

Θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε ως κόπωση την αδυναμία ή ανικανότητα διατήρησης μιας συγκεκριμένης απόδοσης/παραγωγής έργου (Fitts, 1994). Οι παράγοντες στους οποίους οφείλεται η μυϊκή κόπωση κατά την άσκηση έχουν να κάνουν με: σύσταση των μυϊκών ινών, συσσώρευση μεταβολιτών, νευρομυϊκούς παράγοντες, ικανότητα διατήρησης pH και ιονικής ισορροπίας, αριθμό τριχοειδών και αριθμό μιτοχονδρίων, όπως και το προπονητικό επίπεδο του ασκούμενου (Bogdanis, 2012).

Το ποσοστό των μυϊκών ινών τύπου I και II φαίνεται να επηρεάζει την κόπωση. Οι μυϊκές ίνες τύπου II (IIa και IIx) φαίνεται να μπορούν να παράγουν μεγαλύτερη ισχύ αλλά να οδηγούνται πολύ γρηγορότερα σε κόπωση σε σχέση με τις πιο ανθεκτικές ίνες τύπου I (Hamada, Sale, MacDougall, & Tarnopolsky, 2003). Οι ερευνητές μελέτησαν εθελοντές με υψηλό ποσοστό ινών τύπου I ή τύπου II

(61,4±6,9% και 71,8±9,2% αντίστοιχα) στον έξω πλατύ, οι οποίοι εκτέλεσαν 16 μέγιστες ισομετρικές συστολές κάμψης γονάτου των 5s (Hamada et al., 2003). Παρότι η ισχύς ήταν αρκετά μεγαλύτερη στην 2^η ομάδα στην αρχή, η πτώση της απόδοσης έφτασε το 49,3% έναντι 22,8% της 1^{ης} ομάδας, δείχνοντας την πολύ υψηλότερη κόπωση των ατόμων με υψηλό ποσοστό ινών τύπου II. Αντίστοιχα, μελέτη σε 27 άνδρες που εκτέλεσαν 3 σειρές των 30 μέγιστων επαναλήψεων κάμψης γονάτου σε ισοκινητικό δυναμόμετρο έδειξε συσχέτιση μεταξύ του μεγαλύτερου ποσοστού ινών τύπου II και της κόπωσης (πτώση μέγιστης και μέσης ισοκινητικής ροπής) (Colliander, Dudley, & Tesch, 1988).

Η ισορροπία συγκεκριμένων ιόντων μέσα και έξω από τα κύτταρα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της λειτουργίας των μυών και της μυϊκής συστολής. Συνεχόμενες μυϊκές συστολές μπορούν να οδηγήσουν σε εξώθηση καλίου (K^+) εκτός του κυττάρου, και αύξηση της συγκέντρωσης νατρίου (Na^+) και χλωρίου (Cl^-) εντός του κυττάρου. Η εξωκυτταρική συγκέντρωση καλίου μπορεί να αυξηθεί έως και 2 φορές, ενώ παράλληλα να αυξηθεί 2 φορές η ενδοκυτταρική συγκέντρωση νατρίου. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να εκπολώσουν το σαρκεύλημα του μυός και τις μεμβράνες, οδηγώντας σε μείωση των τετανικών συστολών και εν τέλει σε μυϊκή κόπωση (McKenna, Bangsbo, & Renaud, 2008).

Η ρύθμιση του pH έχει μεγάλη αξία για τη λειτουργία του μυός (Juel, 2008). Κατά την έντονη άσκηση αυξάνεται κατά πολύ η συμμετοχή της αναερόβιας γλυκόλυσης ως πηγή ενέργειας. Η έντονη παραγωγή γαλακτικού και H^+ ξεπερνά την ικανότητα απομάκρυνσης τους με αποτέλεσμα τη μείωση του pH

του μυός. Η μείωση αυτή του pH φαίνεται να σχετίζεται με την κόπωση, ενώ πιθανό να σχετίζεται και με μείωση της αιμάτωσης και της λειτουργίας του μυός λόγω μείωσης του ενδοκυτταρικού ασβεστίου (Ca^{2+}) και αυξημένης απελευθέρωσης καλίου (Juel, 2008). Η σημασία αυτής καθ' αυτής της οξέωσης λόγω αύξησης γαλακτικού και H^+ ίσως να μην είναι όσο σπουδαία πιστευόταν, αλλά να ευθύνονται περισσότερο παράγοντες όπως η συσσώρευση K^+ στα T-σωληνάρια, η συγκέντρωση ανόργανου φωσφόρου (Pi) ως προϊόν αποδόμησης του ATP και η μείωση του ενδοκυτταρικού Ca^{2+} (Allen, Lamb, & Westerblad, 2008).

Άλλος σημαντικός παράγοντας κόπωσης, ειδικά σε επαναλαμβανόμενα διαστήματα μέγιστης έντασης άσκησης, είναι ο ρυθμός ανασύνθεσης της φωσφοκρεατίνης (PCr), που είναι υπεύθυνη για την ανασύνθεση του ATP. Οι Johansen and Quistorff (2003) μελέτησαν 3 ομάδες των 6 (αθλητές αντοχής, αθλητές ταχύτητας και απροπόνητους) ως προς τα επίπεδα PCr και ATP κατά την εκτέλεση 4 μέγιστων ισομετρικών συστολών διάρκειας 30s στο γαστροκνήμιο. Η αναλογία PCr/ATP δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των ομάδων πριν την άσκηση. Ο ρυθμός αποδόμησης της φωσφοκρεατίνης στους αθλητές ταχύτητας έφτανε το 75% με κάθε συστολή, ενώ στους απροπόνητους και αθλητές αντοχής 60% και 40% αντίστοιχα. Οι αθλητές ταχύτητας όμως παρήγαγαν περίπου 20% περισσότερη δύναμη στις 2 πρώτες συστολές ($p<0,05$), όμως είχαν σχεδόν το μισό ρυθμό ανασύνθεσης της φωσφοκρεατίνης σε σχέση με τους αθλητές αντοχής. Ο δείκτης κόπωσης στους αθλητές ταχύτητας ήταν 24,1±3,8% έναντι 9,6±3,3% και 9,3±1,5% των αθλητών αντοχής και απροπόνητων αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι στους αθλητές ταχύτητας,

ενώ είχαν αρχικά πολύ μεγαλύτερη παραγωγή δύναμης, τα επίπεδα φωσφοκρεατίνης μειώθηκαν κατά πολύ περισσότερο, οδηγώντας σε πολύ μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης.

Η νευρική δραστηριότητα μπορεί να μειώνεται σταδιακά κατά τη μέγιστη άσκηση. Ερευνητές μελέτησαν 9 εθελοντές που εκτέλεσαν 10 σειρές τρεξίματος μέγιστης ταχύτητας 6s με 30s διάλειμμα, καταγράφοντας τη μυοηλεκτρική δραστηριότητα, το ποσοστό της μυϊκής ενεργοποίησης, ενώ παράλληλα μελέτησαν το ρυθμό αποξυγόνωσης στο έξω πλατύ μυ. Η μυοηλεκτρική δραστηριότητα δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των προσπαθειών. Παρόλα αυτά μειώθηκε σημαντικά στην έναρξη της επιτάχυνσης κάθε σειράς (2-3 πρώτες στροφές του πεταλιού). Η μέγιστη εθελούσια συστολή του μυός έπεσε κατά 16,5% από την αρχή μέχρι το τέλος της άσκησης, ενώ αντίστοιχα η μέση ισχύς μειώθηκε σημαντικά μέχρι την τελευταία σειρά και η αποξυγόνωση (HHb) αυξήθηκε (Racinais et al., 2007).

2.3.4. Οξειδωτικός μεταβολισμός κατά τη μέγιστη άσκηση

Η μέγιστης έντασης και μικρής διάρκειας άσκηση βασίζεται κυρίως στον αναερόβιο μεταβολισμό, με κύρια πηγή ενέργειας την αναερόβια γλυκόλυση. Είδαμε προηγουμένως πως παράγοντες όπως η ελάττωση των επιπέδων της φωσφοκρεατίνης, η συσσώρευση μεταβολιτών και η ιονική ανισορροπία μπορεί να οδηγήσουν σε κόπωση κατά τη μέγιστης έντασης άσκηση. Παρόλα αυτά, όταν εκτελούνται συνεχόμενα διαστήματα μέγιστης άσκησης με μικρή ανάπαυση (όπως στη HIIT) φαίνεται ότι η συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού αυξάνεται σε κάθε διάστημα άσκησης (Bogdanis, 2012).

Οι Bogdanis et al. (1996) μελέτησαν τη συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού σε 8 άνδρες, οι οποίοι εκτέλεσαν 2 διαφορετικά πρωτόκολλα άσκησης. Και τα δύο αποτελούνταν από δύο προσπάθειες μέγιστης έντασης σε κυκλοεργόμετρο με 4 λεπτά διάλειμμα. Το πρώτο πρωτόκολλο αποτελούνταν από 2 επαναλήψεις των 30s, ενώ το 2^ο αποτελούνταν από μια προσπάθεια των 30s και μια προσπάθεια των 10s. Η πρόσληψη οξυγόνου αυξήθηκε σημαντικά στη δεύτερη επανάληψη και στις δύο περιπτώσεις ($3,17 \pm 0,13$ από $2,68 \pm 0,1$ l/min, $p < 0,01$). Παράλληλα, το συνολικό παραγόμενο έργο στο 2^η επανάληψη μειώθηκε κατά 18%, όμως η αναερόβια παροχή ενέργειας (υπολογισμένη από τις αλλαγές στο ATP, τη φωσφοκρεατίνη, το γαλακτικό και το πυροσταφυλικό) μειώθηκε κατά 41%, δείχνοντας την αυξημένη συμμετοχή του οξειδωτικού μεταβολισμού (Bogdanis et al., 1996). Σε μελέτη της ίδια ομάδας ερευνητών, 8 εθελοντές εκτέλεσαν 2 διαφορετικά πρωτόκολλα με μία σειρά μέγιστης έντασης 10 ή 20s, ακολουθούμενο από 2 λεπτά διάλειμμα και μία σειρά μέγιστης έντασης 30s σε κυκλοεργόμετρο. Η πρόσληψη οξυγόνου ήταν σημαντικά αυξημένη μεταξύ του 10^{ου} και 20^{ου} δευτερολέπτου της 1^{ης} σειράς σε σχέση με τα πρώτα 10 ($2,4 \pm 0,23$ από $1,3 \pm 0,15$). Επιπλέον αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου βρέθηκε στη 2^η σειρά και στις δύο δοκιμασίες ($2,95 \pm 0,15$ και $3,02 \pm 0,16$ αντίστοιχα). Και πάλι η μείωση της παραγωγής της αναερόβιας ενέργειας (51%) ήταν αρκετά μεγαλύτερη από τη μείωση στη μέση ισχύ στη 2^η σειρά 28%, αναδεικνύοντας την αυξημένη συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού (Bogdanis, Nevill, Lakomy, & Boobis, 1998).

Οι Tomlin and Wenger (2002) εξέτασαν 13 γυναίκες αθλήτριες

ποδοσφαίρου (6 χαμηλής αερόβιας ικανότητας και 7 μέτριας), οι οποίες κλήθηκαν να εκτελέσουν 10 μέγιστης έντασης προσπάθειες των 6s με 30s παθητική αποκατάσταση σε κυκλοεργόμετρο. Οι εθελόντριες μέγιστης αερόβιας ικανότητας διέφεραν σημαντικά στην πτώση της μέσης ισχύος μεταξύ των 10 προσπαθειών από αυτές της χαμηλής ($8,8 \pm 3,7\%$ έναντι $18 \pm 7,6$, $p=0,02$). Η συσχέτιση μεταξύ VO_{2max} και διατήρησης της απόδοσης ήταν υψηλή ($r=0,65$) ενώ η ομάδα μέτριας αερόβιας ικανότητας είχε σημαντικά αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου σε 9 από τις 10 περιόδους αποκατάστασης ($p<0,05$).

Αύξηση πρόσληψης οξυγόνου σε επανειλημμένα διάστημα μέγιστης άσκησης ανέδειξαν και οι (Dupont, Millet, Guinhouya, & Berthoin, 2005). Πιο συγκεκριμένα σε 11 άνδρες ποδοσφαιριστές που εκτέλεσαν 15 διαστήματα μέγιστου τρεξίματος 40 m με 25s ενεργητικής αποκατάστασης, βρέθηκε υψηλή συσχέτιση ($r=0,71$, $p<0,05$) μεταξύ της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και της πτώσης της ταχύτητας στα 15 διαστήματα. Επίσης η πρόσληψη οξυγόνου αυξήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια των προσπαθειών φτάνοντας το επίπεδο της VO_{2max} στις τελευταίες σειρές.

Βλέπουμε ότι ο οξειδωτικός μεταβολισμός μπορεί να συμμετέχει αρκετά σε επαναλαμβανόμενα διαστήματα μέγιστης έντασης άσκησης, ακόμα και πολύ μικρής διάρκειας, που συνήθως θεωρούνται πλήρως αναερόβιες διαδικασίες. Γίνεται σημαντικό, λοιπόν να μελετήσουμε περισσότερο τόσο την πρόσληψη οξυγόνου όσο και την οξυγόνωση των εργαζομένων μυών κατά την άσκηση υψηλής έντασης.

2.4. Οξυγόνωση του μυός κατά την άσκηση

Η ροή αίματος προς τους μυς αυξάνεται με την άσκηση, όπως παράλληλα αυξάνεται και η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2). Η συσχέτιση μεταξύ της πρόσληψης οξυγόνου, της ροής αίματος προς τους μυς (Q) και της διάχυσης οξυγόνου στους μυς (αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου, $[C(a-v)O_2]$) ορίζεται σύμφωνα με την εξίσωση του Fick:

$$VO_2 = Q \times [C(a-v)O_2] \quad (\text{Grassi \& Quaresima, 2016})$$

Σε έντονες κινήσεις και συστολές του μυός η δράση της μυϊκής αντλίας προκαλεί στα αγγεία ογκομετρικές μετατοπίσεις. Αυτές μπορούν να αντικατοπτριστούν ως συνεχείς αλλαγές στη συγκέντρωση της οξυ- και δεοξυ- αιμοσφαιρίνης και μυοσφαιρίνης (των δύο μεταφορέων οξυγόνου) (S. Jones et al., 2016). Η αιμοσφαιρίνη (Hb) είναι η βασική πρωτεΐνη υπεύθυνη για τη μεταφορά του οξυγόνου στο αίμα, από τους πνεύμονες στους ιστούς. Η μυοσφαιρίνη (Mb), βρίσκεται σε πολύ μικρότερη συγκέντρωση από την αιμοσφαιρίνη, και είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά οξυγόνου στους μυς, όταν έχουν αυξημένες ανάγκες.

2.5. Μέτρηση οξυγόνωσης των σκελετικών μυών – Μέθοδος εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS)

Ο κύριος μεταφορέας οξυγόνου από τα πνευμονικά τριχοειδή στους ιστούς είναι η αιμοσφαιρίνη. Πρόκειται για πρωτεΐνη που βρίσκεται στα ερυθροκύτταρα και αποτελείται από 4 μόρια αίμης με ικανότητα δέσμευσης οξυγόνου. Έτσι, ένα μόριο αιμοσφαιρίνης μπορεί να δεσμεύσει μέχρι 4 μόρια οξυγόνου. Το 99% του οξυγόνου που μεταφέρεται στο αίμα κυκλοφορεί δεσμευμένο με την

αιμοσφαιρίνη και διαχέεται στους ιστούς λόγω διαφοράς πίεσης στα ιστικά τριχοειδή, ώστε να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια από τα μιτοχόνδρια για παραγωγή ενέργειας. Η μυοσφαιρίνη, αντίστοιχα, βρίσκεται στις μυϊκές ίνες (κυρίως τύπου Ι) και αποτελεί ένα μόριο με πολύ μεγάλη συγγένεια με το οξυγόνο, που αυξάνει πολύ τη διάχυση οξυγόνου σε καταστάσεις χαμηλής πίεσης οξυγόνου (όπως στην έντονη άσκηση). Όταν η αιμοσφαιρίνη (αλλά και η μυοσφαιρίνη) φέρει δεσμευμένο οξυγόνο παίρνει την πρόθεση οξυ- (οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη) ενώ όταν δεν είναι δεσμευμένη με οξυγόνο παίρνει την πρόθεση δεοξυ- (αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη) (Grassi & Quaresima, 2016; S. Jones et al., 2016).

Η παροχή οξυγόνου στους μυς (μυϊκή οξυγόνωση) καθώς και η χρήση του (αποξυγόνωση) είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν, ειδικά κατά την έντονη άσκηση, με διαδικασίες που δεν παρεμβαίνουν στη λειτουργία του μυός, σε αντίθεση με την πιο απλή εκτίμηση των αναπνευστικών αερίων. Μία μέθοδος που θεωρείται αρκετά ακριβής, μη παρεμβατική και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την εκτίμηση της οξυγόνωσης του μυός κατά την άσκηση είναι η Εγγύς Υπέρυθρη Φασματοσκοπία [Near-infrared spectroscopy (NIRS)] (Grassi & Quaresima, 2016; S. Jones et al., 2016).

Η μέθοδος NIRS αποτελεί μια μη παρεμβατική μέθοδο εκτίμησης της μυϊκής οξυγόνωσης. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του κορεσμού σε οξυγόνο των ιστών, της τοπικής κατανάλωσης οξυγόνου και της αιματικής ροής σε διαφόρους ιστούς του ανθρώπου, κυρίως στο σκελετικό μυ και τον εγκέφαλο (S. Jones et al., 2016). Μέσα από μέτρηση με τη μέθοδο NIRS μπορεί να υπολογισθεί η τοπική

οξυγόνωση και αποξυγόνωση, δείκτες που δείχνουν την αναλογία μεταξύ παροχής και χρήσης οξυγόνου από τους ιστούς και δείχνουν την ικανότητα διάχυσης οξυγόνου (Dipla et al., 2017; Zafeiridis et al., 2015).

Ιστορικά, οι πρώτες ιδέες για την εφαρμογή της μεθόδου NIRS προέρχονται από τη δεκαετία του 1970 και τον Frans F. Jobsiw. Οι πρώτες κλινικές δοκιμές της μεθόδου άρχισαν να πραγματοποιούνται το 1985 σε ενήλικες αλλά και νεογέννητα παιδιά με εκγεφαλοαγγειακή νόσο, ενώ το 1993 γίνονται οι πρώτες δημοσιεύσεις σχετικά με την fNIRS (functional NIRS) (Ferrari & Quaresima, 2012; Piantadosi, 2007).

2.5.1. Λειτουργία της μεθόδου NIRS

Η συσκευή NIRS αποτελείται από ένα πομπό φωτός και έναν ανιχνευτή. Με τη μέθοδο NIRS υπέρυθρη ακτινοβολία διαπερνά τον προς μελέτη ιστό, με μικρότερη απορροφητικότητα από το ορατό φως. Δύο ή παραπάνω κύματα υπέρυθρης ακτινοβολίας (650-1000 nm) παράγονται από τη συσκευή NIRS και διαπερνούν τον ιστό και τα φωτόνια απορροφώνται από την αιμοσφαιρίνη, τη μυοσφαιρίνη και την κυττοχρωμική οξειδάση. Οι 2 χρωμοφόρες πρωτεΐνες υπεύθυνες για τη μεταφορά του οξυγόνου (Hb και Mb) εμφανίζουν διαφορετική απορροφητικότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία ανάλογα με το αν βρίσκονται στην οξυγονωμένη ή αποξυγονωμένη μορφή τους. Καθώς, οι δύο σφαιρίνες εμφανίζουν πολύ παρόμοια ικανότητα απορρόφησης, με την τεχνική NIRS λαμβάνουμε αποτελέσματα και από τις 2 (S. Jones et al., 2016; Pereira, Gomes, & Bhambhani, 2007). Παρότι η μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου μεταφέρεται με την αιμοσφαιρίνη, η συνεισφορά των 2 πρωτεϊνών μπορεί να

διαφέρει σημαντικά στην ηρεμία, την άσκηση και σε συνθήκες όπως η υποξία (Spires, Lai, Zhou, & Saidel, 2011).

Σύμφωνα με τον τροποποιημένο νόμο Beer Lamberts, εκτιμώνται οι σχετικές συγκεντρώσεις της οξυ- και δεοξυ- αιμοσφαιρίνης και μυοσφαιρίνης (οξυγόνωση και αποξυγόνωση του μυός), καθώς και του συνόλου τους (ολική αιμοσφαιρίνη). Η τιμή της δεοξυαιμοσφαιρίνης αντικατοπτρίζει τη σχέση μεταξύ μεταφοράς και χρήσης οξυγόνου και αποτελεί δείκτη διάχυσης οξυγόνου στα αγγεία (Zafeiridis et al., 2015). Οι απολύτως πραγματικές συγκεντρώσεις είναι δύσκολο να μετρηθούν, λόγω της ανομοιογένειας των βιολογικών ιστών αλλά και της μη ακριβούς γνώσης της απόστασης που διανύει η ακτινοβολία. Επιπλέον, οι τιμές που παίρνουμε από τη συσκευή NIRS συνήθως αφορούν την αιμοσφαιρίνη και μυοσφαιρίνη μικρών αγγείων όπως τα τριχοειδή, τα αρτηρίδια και τα φλεβίδια, καθώς η ακτινοβολία σε αγγεία >1mm πάχους σχεδόν απορροφάται πλήρως. Με τη μέθοδο NIRS μπορούν να υπολογιστούν/εκτιμηθούν δείκτες όπως ο δείκτης κορεσμού του ιστού σε οξυγόνο [tissue saturation index (TSI), συχνά και tissue oxygenation index (TOI)], που αφορά τον κορεσμό του ιστού με οξυγόνο (μιας επιφάνειας μεταξύ 2 σημείων από τα οποία πέρασε η ακτινοβολία) (S. Jones et al., 2016). Η εγκυρότητα και αξιοπιστία των μετρήσεων των παραγόντων οξυγόνωσης και αποξυγόνωσης στους σκελετικούς μυς με τη μέθοδο NIRS φαίνεται πως είναι υψηλή (Pereira et al., 2007).

2.5.2. Περιορισμοί της μεθόδου

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο NIRS για μέτρηση της οξυγόνωσης σε κάποιον ιστό υπάρχουν κάποιοι πιθανοί περιορισμοί, οι οποίοι μπορεί να

επηρεάσουν το παρατηρούμενο αποτέλεσμα. Αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

Αιμάτωση του δέρματος

Αν και θεωρείται ότι έχει πολύ μικρό ρόλο στο σήμα που δίνεται στη συσκευή NIRS, φαίνεται ότι μπορεί να έχει σημαντικότερο ρόλο, ειδικά όταν αυξάνεται η ροή αίματος προς το δέρμα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία (π.χ. έντονη άσκηση σε θερμό περιβάλλον). Διάφοροι αλγόριθμοι προτείνονται για τη διόρθωση των τιμών (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).

Στρώμα λιπώδους ιστού

Το στρώμα λίπους πάνω από τον προς μέτρησης μυ μπορεί να επηρεάσει την απορρόφηση της ακτινοβολίας, οπότε και τη μέτρηση. Συνήθως τα όργανα NIRS μπορούν να μετρήσουν μια περιοχή σχετικά μικρού όγκου (2-6 cm³) (Chance et al., 1988). Συχνά επιλέγονται σημεία, όπως ο έξω πλατύς μυς του τετρακέφαλου, που συνήθως καλύπτονται από μικρότερο στρώμα λίπους, αλλά υπάρχουν και τρόποι βαθμονόμησης της μέτρησης και για παχύσαρκα άτομα (Ferrari et al., 2011; S. Jones et al., 2016).

Ποσότητα μελανίνης

Η ύπαρξη υψηλής ποσότητας μελανίνης στο δέρμα μπορεί προκαλέσει αύξηση της απορρόφησης ακτινοβολίας στο δέρμα. Σε έρευνα 17 ατόμων, η μέθοδος NIRS απέτυχε να δώσει αποτέλεσμα στη μέτρηση του κορεσμού σε οξυγόνο στους 9 δοκιμαζόμενους, με το φαινόμενο να παρατηρείται κυρίως σε αυτούς με το σκουρότερο χρώμα δέρματος (Wassenaar & Van den Brand, 2005).

Ετερογένειας ροής αίματος

Ακόμα και στον ίδιο μυ μπορεί να υπάρχει ετερογένεια της ροής αίματος σε διάφορα σημεία (π.χ. ανάλογα το είδος και την ενεργοποίηση

διαφορετικών μυϊκών ινών αλλά και τη διαφορετική πρόσληψη οξυγόνου σε διάφορα σημεία του μυ) (Grassi & Quaresima, 2016; Koga et al., 2007; Koga, Rossiter, Heinonen, Musch, & Poole, 2014).

2.5.3. Εγκυρότητα και αξιοπιστία της μεθόδου NIRS

Οι Mancini et al. (1994) εξέτασαν την εγκυρότητα μέτρησης της μεθόδου. Μετρώντας τον φλεβικό κορεσμό της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο στον πήχη κατά την ηρεμία και την άσκηση (ανύψωση βάρους) βρήκαν υψηλή συσχέτιση με τη μέτρηση μέσω της μεθόδου NIRS ($r=0,82-0,97$ μεταξύ των εθελοντών). Αντίστοιχα υψηλή συσχέτιση της εκτιμώμενης αιματικής ροής και πρόσληψης οξυγόνου με τη μέθοδο NIRS βρέθηκε σε σχέση με πληθυσμογραφία ($r=0,94$) (De Blasi et al., 1994). Την αξιοπιστία της μεθόδου εξέτασε έρευνα σε 17 υγιείς άνδρες που εκτέλεσαν τη δοκιμασία Biering-Sorensen muscle endurance (στους εκτείνοντες της σπονδυλικής στήλης). Η διαδικασία test-retest έδειξε σημαντική συσχέτιση μεταξύ 2 μετρήσεων όσον αφορά την οξυγόνωση και την αιματική ροή (ICC $r=0,69-0,84$) (Kell, Farag, & Bhambhani, 2004).

2.5.4. Μέτρηση παραγόντων οξυγόνωσης με NIRS κατά την άσκηση

Αρκετές είναι οι έρευνες που έχουν χρησιμοποιήσει τη μέθοδο NIRS για την εκτίμηση παραγόντων οξυγόνωσης των μυών κατά την άσκηση. Έρευνες έχουν γίνει τόσο σε άσκηση αντοχής (Chin et al., 2011), όσο και σε ασκήσεις αντιστάσεων (Pereira et al., 2007) και υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση (Kriel, Askew, & Solomon, 2018; Racinais et al., 2007).

Μελέτη διερεύνησε την επίδραση του ρυθμού ποδηλάτησης στη μυϊκή

οξυγόνωση (Boone, Barstow, Celie, Prieur, & Bourgois, 2015). Δώδεκα εθελοντές με καλή φυσική κατάσταση εκτέλεσαν άσκηση αυξανόμενης έντασης σε κυκλοεργόμετρο στις 60 rpm (αρχίζοντας είτε από τα 50 ή από τα 80 W) και στις 100 rpm (αρχίζοντας από τα 50 W). Οι τιμές αποξυγονομένων (Hb+Mb) ήταν σημαντικά υψηλότερες στις 100 rpm ($p=0,024$) σε σχέση με τις 60rpm50. Επίσης και η ολική (Hb+Mb) ήταν υψηλότερη στις 100rpm σε σχέση με τις 60rpm50 και 60rpm80 ($p=0,018$ και $p=0,034$ αντίστοιχα). Στο μέγιστο παραγόμενο έργο (WRpeak) τόσο η αποξυγονωμένη όσο και η ολική (Hb+Mb) ήταν υψηλότερες στις 100rpm. Επίσης βρέθηκε πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ των παραγόντων οξυγόνωσης και της τιμής της ηλεκτρομυογραφίας, στις 60rpm50 και 60rpm80, και στις 100rpm ($r=0,99$, $r=0,98$, $r=0,98$ αντίστοιχα, $p<0,001$). Οι ερευνητές υποστήριξαν πως υπάρχει συσχέτιση της αύξησης της έντασης της άσκησης με την (απ)οξυγόνωση (αύξηση πρόσληψης οξυγόνου και αύξηση διάχυσης οξυγόνου από την κυκλοφορία στους μυς) (Boone et al., 2015).

Σύγκριση μεταξύ δύο ταχυτήτων (40 και 100 rpm) αλλά και 2 διαφορετικών ομάδων (9 αγωνιστικοί τριαθλητές και 9 απροπόνητοι) όσον αφορά την οξυγόνωση σε άσκηση μέχρι εξάντλησης σε κυκλοεργόμετρο έκαναν οι Zorgati et al. (2015). Οι τιμές των αποξυγονομένων (Hb+Mb) αλλά και των ολικών στον έξω πλατύ ήταν σημαντικά υψηλότερες στις 40 rpm στα απροπόνητα άτομα, αλλά δε διέφεραν μεταξύ των 2 συνθηκών στους τριαθλητές. ($p<0,05$). Στους απροπόνητους φάνηκε ότι η διαφορετική συχνότητα ποδηλάτησης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την αναλογία VO_{2M}/QO_{2M} (που εκφράζει τη διάχυση οξυγόνου στο μυ), κάτι που

πιθανώς να μη συμβαίνει σε καλά προπονημένους αθλητές με υψηλή αερόβια ικανότητα. Διαφορετικά αποτελέσματα με άλλες έρευνες, όπως των Boone et al. (2015) που έδειξε μεγαλύτερη αποξυγόνωση στην υψηλότερη ταχύτητα, μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικό πρωτόκολλο (π.χ. σταθερής ή αυξανόμενης έντασης) άσκησης (Zorgati et al., 2015).

Οι Chin et al. (2011) σε 7 εθελοντές και με την εφαρμογή αυξανόμενης έντασης άσκηση σε κυκλοεργόμετρο στις 60rpm, μελέτησαν τη μυϊκή αποξυγόνωση (HHb) και τη σχέση με την ενεργοποίηση, σε 3 μυς του τετρακέφαλου (τον έσω και έξω πλατύ, και τον ορθό μηριαίο). Η διακύμανση της HHb σε σχέση με το έργο και στους 3 μυς χαρακτηρίστηκε από σιγμοειδούς μορφής καμπύλη. Εντοπίζοντας το σημείο της καμπύλης που αντιστοιχεί στο 50% του μέγιστου παραγόμενου έργου βρέθηκε ότι ήταν πολύ υψηλότερο στον ορθό μηριαίο σε σχέση με τον έσω και έξω πλατύ ($65 \pm 13\%$ έναντι $43 \pm 11\%$ και $47 \pm 12\%$ του WRmax αντίστοιχα). Παράλληλα υπήρχε μικρότερη ενεργοποίηση του ίδιου μυός σε iEMG ($p < 0,05$), που πιθανώς να σχετίζεται με τη διαφορετική ανταπόκριση στην αιμοσφαιρίνη σε σχέση με τους άλλους.

Την οξυγόνωση σε άσκηση αντιστάσεων διαφορετικής έντασης εξέτασαν οι Hoffman et al. (2003). Σε 11 καλά προπονημένους εθελοντές ανατέθηκε να εκτελέσουν 4 σειρές καθισμάτων χαμηλής έντασης (15 επαναλήψεις στο 60% της 1ME) και υψηλής έντασης (4 επαναλήψεις στο 90% της 1ME) και υπολογίστηκε ο ρυθμός αποξυγόνωσης (οξυ/δεοξυ Hb και Mb) στον έξω πλατύ. Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο συνθηκών ($72,7 \pm 18\%$ έναντι $79,9 \pm 13,4\%$). Η σημαντική διαφορά

βρέθηκε στο χρόνο επανοξυγόνωσης μετά την άσκηση καθώς στην άσκηση υψηλής έντασης ήταν μικρότερος ($24,5 \pm 14,3s$ έναντι $35,3 \pm 17,4s$).

Σε άλλη έρευνα βρέθηκαν διαφορές στην οξυγόνωση στον έξω πλατύ μεταξύ 3 διαφορετικών πρωτοκόλλων άσκησης αντιστάσεων (Tanimoto & Ishii, 2006). Εικοσιτέσσερις εθελοντές χωρίστηκαν σε 3 ομάδες των 8, κάθε μία από τις οποίες εκτέλεσε κάμψεις γονάτων με την πρώτη να εκτελεί στο 50% της 1ME με αργό ρυθμό (3s στην έκκεντρη και ομόκεντρη φάση), στο 80% με κανονική ταχύτητα και στο 50% με κανονική ταχύτητα. Και στις 3 περιπτώσεις η οξυγόνωση του μυός μειώθηκε με την έναρξη της άσκησης, ενώ αυξήθηκε παραπάνω από τα επίπεδα ηρεμίας στα πρώτα λεπτά της αποκατάστασης. Η μείωση της οξυγόνωσης ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στην ομάδα της χαμηλής έντασης και ταχύτητας (λόγω συνεχούς διάρκειας της δράσης του τετρακέφαλου) σε σχέση με τις άλλες δύο, ενώ μετά την άσκηση η αύξηση της οξυγόνωσης ήταν σημαντικά μικρότερη στην ομάδα χαμηλής έντασης-φυσιολογικής ταχύτητας έναντι των άλλων δύο (Tanimoto & Ishii, 2006).

Γίνεται φανερό ότι σε διάφορα είδη άσκησης, διαφορές στην ένταση και τη διάρκεια προκαλούν μεταβολές στην οξυγόνωση των εργαζομένων μυών τόσο κατά όσο και μετά την άσκηση.

2.5.5. Μέτρηση παραμέτρων οξυγόνωσης με NIRS κατά τη ΗΠΤ

Η χρήση της μεθόδου NIRS έχει εφαρμοστεί και σε πρωτόκολλα υψηλής έντασης διαλειμματικής άσκησης με σκοπό την παρακολούθηση της μεταβολής στους παράγοντες οξυγόνωσης κατά τα επαναλαμβανόμενα διαστήματα άσκησης, αλλά και την πιθανή

συσχέτιση με την επερχόμενη κόπωση (Kriel et al., 2018; Racinais et al., 2007).

Έρευνα σε 9 εθελοντές που εκτέλεσαν πρωτόκολλο μέγιστης έντασης άσκηση τύπου Wingate (10 προσπάθειες μέγιστης έντασης των 6s σε κυκλοεργόμετρο, με 30s διάλειμμα) έδειξε αύξηση της αποξυγόνωσης στον έξω πλατύ κατά τη διάρκεια της άσκησης (Racinais et al., 2007). Πιο συγκεκριμένα μετά την ολοκλήρωση κάθε σειράς υπήρχε μια μέση αύξηση της [HHb] κατά $21,34 \pm 1,56 \mu\text{mol/L}$ ($p < 0,0001$), ενώ επίσης η συγκέντρωση μετά από κάθε μισόλεπτη περίοδο ανάπαυσης δεν κατάφερε να πέσει στα επίπεδα της αποκατάστασης μετά από την προηγούμενη προσπάθεια ($p < 0,002$). Παράλληλα υπήρχε σημαντική μείωση της μέσης ισχύος ($p < 0,0001$), αλλά και αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης, δείχνοντας την πιθανή πτώση της συνεισφοράς του αναερόβιο μεταβολισμού με κάθε σειρά μέγιστης άσκησης. Η ταυτόχρονη συνεχής αύξηση της αποξυγόνωσης (που δεν κατάφερε να επανέλθει μετά από κάθε διάστημα αποκατάστασης) δείχνει ίσως αδυναμία διατήρησης της συγκέντρωσης του οξυγόνου στα αγγεία, που οδηγεί σε δυσαναλογία μεταξύ της παροχής οξυγόνου και της ανάγκης του μυός. Η αύξηση της αποξυγόνωσης όμως, ήταν αρκετά σταθερή με κάθε προσπάθεια, φανερώνοντας ότι η ικανότητα χρήσης του διαθέσιμου οξυγόνου διατηρήθηκε (Racinais et al., 2007).

Μελέτη διερεύνησε τις επιδράσεις ενός πρωτοκόλλου HIIT με 6x30s άσκησης με 2 min παθητικής αποκατάστασης σε 10 ποδηλάτες στους παράγοντες οξυγόνωσης στον έξω πλατύ (Buchheit, Abbiss, Peiffer, & Laursen, 2012). Υπήρξε μια μέση πτώση του TOI (tissue oxygenation

index) $26,5 \pm 4,9\%$ σε κάθε διάστημα άσκησης με τη μείωση να είναι όλο και μεγαλύτερη σε κάθε διάστημα (στο 6^ο ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από το 1^ο και το 2^ο, $p = 0,001$ και $p = 0,033$ αντίστοιχα). Η αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HHb) αυξήθηκε με κάθε διάστημα, ενώ παράλληλα αυξήθηκε ο ρυθμός επανοξυγόνωσης ($p < 0,001$). Η μέγιστη και μέση ισχύς μειώθηκαν σε κάθε επαναλαμβανόμενο κομμάτι άσκησης, όμως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου δε διέφερε σημαντικά μεταξύ τους, δείχνοντας ότι πιθανώς η πτώση της απόδοσης δεν επηρεάστηκε από την υψηλή καρδιοαναπνευστική λειτουργία και την αυξημένη αποξυγόνωση (Buchheit et al., 2012).

Μελέτη σύγκρινε την οξυγόνωση σε πρωτόκολλο διαλειμματικής άσκησης σε κυκλοεργόμετρο και δαπεδοεργόμετρο σε 12 άνδρες με καθιστική ζωή (Kriel et al., 2018). Η άσκηση αποτελούταν από 4 μέγιστα διαστήματα άσκησης των 30s με 2 min ανάπαυση ενδιάμεσα. Υπήρχε σημαντικά μεγαλύτερη τιμή στην HHb στον αριστερό και δεξή έξω πλατύ μυ κατά την ποδηλάτηση ($p = 0,001$, $p = 0,002$ αντιστοίχως), το οποίο συνοδεύτηκε με σημαντικά υψηλότερη πρόσληψη οξυγόνου και ΚΣ (καρδιακή συχνότητα). Επίσης στον αριστερό έσω πλατύ βρέθηκε σημαντικά υψηλότερη αύξηση της HHb μεταξύ του 1^{ου} και 3^{ου} διαστήματος ($p = 0,006$). Δεν υπήρχε καμία άλλη σημαντική διαφορά μεταξύ των προσπαθειών, με τους ερευνητές να καταλήγουν ότι ακόμα και μία επανάληψη ήταν αρκετό για να προκαλέσει μέγιστη χρήση οξυγόνου στους μυς (ίσως λόγω της μεγάλης αποκατάστασης δεν αυξήθηκαν οι ανάγκες μετά), και πως σε καθιστικού τρόπου ζωής άτομα η έντονη ποδηλάτηση επιφέρει υψηλότερο στρες (Kriel et al., 2018).

Οι παράγοντες μυϊκής οξυγόνωσης σε 2 διαφορετικά πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης και ένα συνεχόμενης έντασης συγκρίθηκαν σε μελέτη που συμμετείχαν 12 άνδρες (Zafeiridis et al., 2015). Σε διάστημα 2 εβδομάδων εκτέλεσαν 3 διαφορετικά πρωτόκολλα: α) μέγιστης έντασης άσκηση με χρόνο άσκησης/αποκατάστασης 30/30s για 9 sets, β) ίδιας έντασης με αναλογία 2/2 min και γ) συνεχούς έντασης άσκηση μέχρι εξάντλησης (διήρκεσε κατά μέσο όρο 29,4 min). Η μέτρηση NIRS στον έξω πλατύ έδειξε και στις 3 περιπτώσεις αύξηση της ΔHHb (διαφορά με πριν την άσκηση), με παράλληλη μείωση της O₂Hb και του TSI (δείκτη κορεσμού σε οξυγόνο). Τα αποτελέσματα δεν ανέδειξαν κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των 3 συνθηκών. Φάνηκε ότι και από τα 3 πρωτόκολλα άσκησης προκλήθηκε η ίδια δυσαναλογία μεταξύ παροχής και χρήσης του οξυγόνου από τους μυς λόγω τοπικής υποξίας κατά την άσκηση (Zafeiridis et al., 2015).

Μία ακόμα μελέτη σε HIIT εξέτασε της διαφορές στην οξυγόνωση με βάση το διαφορετικό είδος αποκατάστασης ανάμεσα σε διαστήματα έντονης άσκησης (Kriel, Kerherve, Askew, & Solomon, 2016). Δώδεκα εθελοντές εκτέλεσαν 2 διαφορετικά πρωτόκολλα άσκησης σε κυκλοεργόμετρο: 1) 4x30s διαστήματα με 2 λεπτά παθητική αποκατάσταση, 2) 4x30s διαστήματα με 2 λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης χαμηλής έντασης. Στη HIIT με την ενεργητική αποκατάσταση υπήρχε σημαντικά μεγαλύτερη τιμή της HHb στον έξω πλατύ στο 2^ο, 3^ο και 4^ο διάστημα σε σχέση με την παθητική ($p=0,017$ και $p=0,035$ στα άλλα δύο), όμως η μέση ισχύς ήταν σημαντικά μικρότερη ($p<0,001$). Δεν υπήρχαν διαφορές στην πρόσληψη οξυγόνου και την ΚΣ μεταξύ των δύο συνθηκών. Επίσης μετρήθηκε η οξυγόνωση στο

γαστροκνήμιο και στο μέτωπο (ένδειξη εγκεφαλικής οξυγόνωσης) και διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των σημείων, δείχνοντας την άνιση κατανομή του οξυγόνου κατά την άσκηση. Σύμφωνα με τους ερευνητές η μεγαλύτερη αύξηση της αποξυγόνωσης κατά την άσκηση με ενεργητική αποκατάσταση μπορεί να σχετίζεται με μεγαλύτερη μείωση της μηχανικής ισχύος κατά την έντονη άσκηση (Kriel et al., 2016).

Παρόμοια αποτελέσματα, συγκρίνοντας τα δύο είδη αποκατάστασης ανέδειξε και άλλη έρευνα, στην οποία συμμετείχαν 10 αθλητές (Buchheit et al., 2009). Οι εθελοντές χωρίστηκαν σε δύο ομάδες και εκτέλεσαν ένα πρωτόκολλο μέγιστης έντασης άσκησης που αποτελούταν από 6 προσπάθειες των 4s με 21s παθητικής ή ενεργητικής (χαλαρό τρέξιμο) αποκατάστασης. Η τιμή της HHb ήταν σημαντικά μεγαλύτερη μετά την 1^η προσπάθεια στην ενεργητική αποκατάσταση σε σχέση με την παθητική ($p=0,002$) ενώ η μέση ισχύς αντίστοιχα ήταν μικρότερη. Και στις δύο περιπτώσεις η μέγιστη τιμή της HHb αυξήθηκε σημαντικά μεταξύ των προσπαθειών ($p<0,001$). Παρόλα αυτά η ΔHHb (διαφορά μέγιστης και ελάχιστης τιμής σε κάθε προσπάθεια) δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των 6 σειρών ($p=0,47$) δείχνοντας ότι ο ρυθμός αποξυγόνωσης ήταν σταθερός. Μπορεί να υποθεθεί μια πιθανή σχέση μεταξύ της μεγαλύτερης αποξυγόνωσης και της μειωμένης απόδοσης που παρατηρήθηκε στην ενεργητική αποκατάσταση (Buchheit et al., 2009).

Τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της προπόνησης HIIT στην οξυγόνωση των μυών εξέτασαν οι B. Jones, Hamilton, and Cooper (2015). Για τους σκοπούς της έρευνας κλήθηκαν 25 αθλήτριες

χόκει υψηλού επιπέδου, 13 από τις οποίες εκτελούσαν από μία συνεδρία προπόνησης HIIT κάθε εβδομάδα για 6 εβδομάδες (οι υπόλοιπες 12 αποτελούσαν ομάδα ελέγχου). Η προπόνηση αποτελούνταν από διαστήματα μέγιστης έντασης των 60s σε κυκλοεργόμετρο με 75s ενεργητικής αποκατάστασης (10 σειρές στις 4 πρώτες συνεδρίες και 12 στις 2 τελευταίες). Δοκιμασία 5x30s μέγιστης έντασης ποδηλασίας πραγματοποιήθηκε πριν και μετά την παρέμβαση για να εξεταστούν οι αλλαγές. Μόνο στην πειραματική ομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές αλλαγές στην οξυγόνωση του έξω πλατέως με τη διαφορά πριν-μετά την άσκηση $\Delta(\text{HHb}+\text{HMb})$ να αυξάνεται σημαντικά μετά τη δοκιμασία, όπως και η $\Delta(\text{HbO}_2+\text{MBO}_2)$ αλλά και η διαφορά στον TSI (tissue saturation index). Παράλληλα η ομάδα παρέμβασης βελτίωσε σημαντικά την απόδοση στη δοκιμασία. Η αύξηση των συγκεντρώσεων των HHb και HMb αλλά και στη μείωση του κορεσμού μετά από επαναλαμβανόμενη άσκηση μέγιστης έντασης δείχνει ότι με μόλις 6 συνεδρίες προπόνησης HIIT βελτιώθηκε η ικανότητα των μυών των αθλητριών για άντληση οξυγόνου κατά τη μέγιστη άσκηση (B. Jones et al., 2015).

Σε αυξημένης έντασης και διάρκειας άσκηση (όπως επαναλαμβανόμενα διαστήματα μέγιστης άσκησης) η τιμή των αποξυγονωμένων Hb και Mb αυξάνεται με παράλληλη μείωση των οξυγονωμένων μορφών τους. Η αύξηση της αποξυγόνωσης οφείλεται πιθανώς σε αδυναμία κάλυψης των αναγκών του μυ. Παράλληλα, συχνά υποστηρίζεται ότι αυτή η αύξηση μπορεί να σχετίζεται με την κόπωση που επέρχεται σε υψηλής έντασης άσκηση, ειδικά όταν αυτή αποτελείται από

επαναλαμβανόμενα διάστημα με μικρή ανάπαυση.

2.5.6. Εγκεφαλική οξυγόνωση κατά την άσκηση

Οι έρευνες που έχουν εξετάσει την εγκεφαλική οξυγόνωση κατά την άσκηση είναι αρκετά λίγες, σε σχέση με όσες έχουν μελετήσει τη μυϊκή οξυγόνωση. Επίσης είναι ασαφές το εάν οι παράγοντες της εγκεφαλικής οξυγόνωσης έχουν σχέση με την απόδοση.

Μελέτη διερεύνησε την εγκεφαλική οξυγόνωση σε 10 υψηλού επιπέδου αθλητές πολεμικών τεχνών σε πρωτόκολλο διαλειμματικής άσκησης, υπό δύο διαφορετικές συνθήκες: νορμοξίας και τεχνητής υποξίας (Woorons et al., 2019). Η άσκηση αποτελούνταν από 2 σειρές των 8 μέγιστων προσπάθειών διάρκειας 6s με 15s και 3 λεπτά παθητικής αποκατάστασης ανάμεσα στις προσπάθειες και τις σειρές αντίστοιχα. Η τιμή της HHb (και της ολικής tHb) αυξήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια της άσκησης και στις 2 συνθήκες, όχι όμως και η O_2Hb . Η διαφορά στην αύξηση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στις συνθήκες υποξίας ($p=0,04$). Παρόλα αυτά, η απόδοση και ο δείκτης κόπωσης δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ των δύο συνθηκών. Οι ερευνητές απέδωσαν τη διατήρηση της απόδοσης παρά τη μείωση της εγκεφαλικής οξυγόνωσης (πιθανή αιτία κεντρικής κόπωσης) σε αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου που παρατηρήθηκε στα διαλείμματα κατά την υποξία (Woorons et al., 2019).

Στην έρευνα των Santos-Concejero et al. (2017) μελετήθηκε η εγκεφαλική οξυγόνωση με NIRS σε 15 Κενυάτες δρομείς σε πρωτόκολλο διαλειμματικής άσκησης μέχρι εξάντλησης. Η άσκηση

πραγματοποιήθηκε σε δαπεδοεργόμετρο και αποτελούταν από διαστήματα τρεξίματος υψηλής ταχύτητας για 1 km με 30s ανάπαυσης μέχρι εξάντλησης. Κατά μέσο όρο οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν $5,5 \pm 1,2$ διαστήματα με μέγιστο τα 7. Κατά τη διάρκεια των διαστημάτων άσκησης η οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μειωνόταν σημαντικά ($p=0,01$, $ES=4,59$) ενώ η αποξυγονωμένη παρουσίαζε αύξηση ($p<0,001$). Επίσης, βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της πτώσης της εγκεφαλικής οξυγόνωσης και της ταχύτητας στη δοκιμασία εξάντλησης ($r=-0,61$, $p=0,017$), κάτι που δείχνει τον πιθανό της ρόλο στην κόπωση (Santos-Concejero et al., 2017).

Μελέτη συνέκρινε 2 διαφορετικά πρωτόκολλα ποδηλάτησης, ένα διαλειμματικής έντασης και ένα συνεχές σε 15 εθελοντές ως προς τους παράγοντες εγκεφαλικής οξυγόνωσης και την κόπωση (Monroe et al., 2016). Το ένα πρωτόκολλο άσκησης αποτελούταν από 4 μέγιστης έντασης προσπάθειες 30s με 4 λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης και το άλλο από 18 λεπτά συνεχούς άσκησης ίδιου συνολικού έργου με της άσκησης ΗΠΤ. Η τιμή της O_2Hb αυξήθηκε σημαντικά περισσότερο στις 4 προσπάθειες σε σχέση με τη συνεχόμενη άσκηση ($p=0,001$), η οποία αύξηση ήταν και γραμμική. Αντίστοιχη πορεία είχε και η τιμή της HHb , με γραμμική αύξηση ανάμεσα στις προσπάθειες ($p=0,003$), ενώ στη συνεχή άσκηση δεν παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση. Παράλληλα υπήρξε σημαντική γραμμική πτώση της απόδοσης μεταξύ των προσπαθειών ($p=0,001$), που όμως δε βρέθηκε να σχετίζεται με τις αλλαγές στη μέση O_2Hb και HHb . Όμως η μέγιστη οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη φάνηκε να έχει σχέση με την κόπωση, εξηγώντας το 46% της πτώσης της απόδοσης ($p<0,001$) και το 35% στην

αύξηση του δείκτη κόπωσης ($p=0,005$). Η εγκεφαλική όπως και η μυϊκή οξυγόνωση επηρεάζεται από τη μέγιστη άσκηση, ενώ μπορεί να διαδραματίζει και κάποιο ρόλο στην κόπωση κατά την άσκηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τους σκοπούς της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τρία πρωτόκολλα άσκησης. Το ένα πρωτόκολλο άσκησης περιλάμβανε HIIT άσκηση σε κυκλοεργόμετρο, ενώ τα άλλα δύο πρωτόκολλα περιλάμβαναν ομόκεντρη ή έκκεντρη άσκηση σε ισοκινητικό δυναμόμετρο. Οι εθελοντές κλήθηκαν με τυχαία σειρά να εκτελέσουν τα τρία πρωτόκολλα σε τρεις διαφορετικές ημέρες. Τη μία ημέρα εκτέλεσαν το πρωτόκολλο στο κυκλοεργόμετρο, ενώ τις άλλες δύο εκτέλεσαν τα δύο πρωτόκολλα στο ισοκινητικό δυναμόμετρο.

3.1. Όργανα Μέτρησης

Το πρωτόκολλο της διαλειμματικής ισοκινητικής άσκησης πραγματοποιήθηκαν σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (Biodex System 4 Pro, Shirley, NY). Το πρωτόκολλο διαλειμματικής άσκησης ποδηλάτησης έγιναν σε κυκλοεργόμετρο (Monark 894E Peak Bike Monark, Sweden). Η μυϊκή οξυγόνωση στον έξω πλατύ μηριαίο, καθώς και η εγκεφαλική οξυγόνωση και στα δύο πρωτόκολλα άσκησης, μετρήθηκαν με συσκευή εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS Oxymon Mk III, Artinis Medical Systems, Elst, Netherlands).

3.2. Εθελοντές

Δώδεκα ($n=12$) δοκιμαζόμενοι εθελοντικά συμμετείχαν στην έρευνα. Όλοι ήταν ελεύθερα ασκούμενοι, μη καπνιστές και δεν έπασχαν από κάποιο μυοσκελετικό τραυματισμό ή οποιοδήποτε νόσημα που να τους αποτρέπει από το να εκτελέσουν υψηλής έντασης άσκηση. Ζητήθηκε από τους εθελοντές να ανακαλέσουν αν είχαν ακολουθήσει κάποιο είδος

οργανωμένης αερόβιας προπόνησης ή άσκησης αντιστάσεων τους τελευταίους τρεις μήνες πριν τη συμμετοχή στη μελέτη (π.χ. ποδόσφαιρο, αγωνίσματα στίβου). Εθελοντές που συμμετείχαν σε τέτοια αγωνίσματα απορρίφθηκαν. Επίσης δόθηκε η οδηγία να μην έχουν εκτελέσει οποιαδήποτε μορφής έντονη άσκηση για τουλάχιστον δύο εικοσιτετράωρα πριν την εκτέλεση του πειράματος και να απέχουν από τη λήψη τροφής και καφεϊνούχων ροφημάτων για τουλάχιστον δύο ώρες πριν.

Κάθε εθελοντής πριν εκτελέσει το πείραμα υπέγραψε ειδικό έντυπο συγκατάθεσης (παρατίθεται στο παράρτημα). Σε αυτό αναγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες του πρωτοκόλλου της άσκησης και των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, ο σκοπός και η σημασία της μελέτης καθώς και οι πιθανοί κίνδυνοι. Το έντυπο επικυρώθηκε αρχικά από την επιτροπή βιοηθικής του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Αριθμός πρωτοκόλλου 1099/13-2-2019). Οποιοσδήποτε εθελοντής ένιωθε αίσθημα αδυναμίας ή κάποιο πρόβλημα που τον εμπόδιζε να συνεχίσει την άσκηση θα έπρεπε να ενημερώσει και να σταματήσει επί τόπου, ενώ σε περίπτωση τραυματισμού θα εξεταζόταν άμεσα από γιατρό.

3.3. Διαδικασίες

Οι εθελοντές κλήθηκαν στο εργαστήριο τέσσερις φορές. Στην πρώτη πραγματοποιήθηκαν οι σωματομετρικές μετρήσεις καθώς και μια συνεδρία εξοικείωσης των τριών πρωτοκόλλων άσκησης, ενώ στις υπόλοιπες τρεις τα τρία πρωτόκολλα άσκησης με τυχαία σειρά για κάθε εθελοντή. Όλες οι συνεδρίες άσκησης πραγματοποιήθηκαν σε παρόμοια ώρα και με διαφορά τουλάχιστον τριών

ημερών μεταξύ τους. Πριν από κάθε πρωτόκολλο πραγματοποιήθηκε προθέρμανση 8 λεπτών σε ποδήλατο (894E speed bike, Monark, Stockholm).

3.3.1. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά και εξοικείωση

Κατά τη λήψη των σωματομετρικών μετρήσεων οι εθελοντές ήταν ξυπόλητοι και ελαφρώς ντυμένοι. Το σωματικό βάρος μετρήθηκε 0,1 kg και η σύσταση σώματος αναλύθηκε με τη μέθοδο της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) με τη συσκευή (Tanita MC-780MA S, Tanita Corporation of American Inc., Arlington Heights, IL). Το ύψος μετρήθηκε και στρογγυλοποιήθηκε στο κοντινότερο 1 cm (SECA 206, Seca Corporation, Birmingham). Επίσης λήφθηκε δερματοπτυχή με δερματοπτυχόμετρο (Harpenden, John Bull, St. Albans, England) στην περιοχή του έξω πλατύ μυός για τον προσδιορισμό του πάχους του υποδόριου λίπους στο σημείο που θα τοποθετούνταν η συσκευή NIRS και στα δύο άκρα. Η συνεδρία εξοικείωσης ποδηλάτησης αποτελούνταν από προθέρμανση 15 λεπτών, ακολουθούμενο από 3 σειρές υψηλής έντασης των 4s στο κυκλοεργόμετρο (894E speed bike, Monark, Stockholm). Η εξοικείωση με την ισοκινητική άσκηση έγινε σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (Biodex, System 4 Pro, Shirley, NY) και αποτελούνταν από 5 επαναλήψεις χαμηλής έντασης ακολουθούμενες από 3 επαναλήψεις υψηλής έντασης ομόκεντρης και έκκεντρης σύσπασης.

3.3.2. Διαλειμματική άσκηση στο κυκλοεργόμετρο

Το πρωτόκολλο πραγματοποιήθηκε σε κυκλοεργόμετρο (894E speed bike, Monark, Stockholm). Η τοποθέτηση κάθε εθελοντή στο ποδήλατο έγινε ως εξής: Ο εθελοντής

τοποθετήθηκε σε καθιστή θέση στη σέλα του ποδηλάτου με το γόνατο του άκρου που βρίσκεται στο κατώτερο πετάλι να βρίσκεται σχεδόν σε πλήρη έκταση (περίπου 15°). Τα πέλματα του εθελοντή δέθηκαν στα πετάλια με ειδικούς ιμάντες. Η άσκηση αποτελούνταν από 7 σειρές των 7s μέγιστης έντασης άσκησης, ακολουθούμενα από 15s παθητικής ανάπαυσης, έχοντας την ίδια διάρκεια άσκησης/ανάπαυσης με την ισοκινητική άσκηση. Η αντίσταση τοποθετήθηκε στο κυκλοεργόμετρο για κάθε εθελοντή ήταν 0,075 kg/kg σωματικού βάρους (Monroe et al., 2016). Η αντίσταση ενεργοποιούνταν κάθε φορά με την πτώση του προστιθέμενου βάρους όταν η ταχύτητα ποδηλάτησης έφτανε τις 100 rpm. Ο εθελοντής δεχόταν εμψύχωση από την ερευνητική ομάδα με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης. Τα αποτελέσματα της ισχύος εμφανίζονταν μέσω του λογισμικού του κυκλοεργόμετρου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή σε Watts. Κατά την αποκατάσταση ο εθελοντής παρέμενε τελείως ακινητοποιημένος στο κυκλοεργόμετρο με σκοπό να μην επηρεαστούν οι τιμές της οξυγόνωσης λόγω κίνησης.

3.3.3. Διαλειμματική άσκηση ομόκεντρων και έκκεντρων μυϊκών συσπάσεων στο ισοκινητικό δυναμόμετρο

Ο κάθε εθελοντής εκτέλεσε με τυχαία επιλογή την ομόκεντρη και την έκκεντρη άσκηση με διαφορετικό άκρο. Η τοποθέτηση κάθε δοκιμαζόμενου στο ισοκινητικό δυναμόμετρο έγινε ως εξής: Ο εθελοντής από την καθιστή θέση (γωνία ισχίου περίπου 120°) σταθεροποιήθηκε με ειδικούς ιμάντες γύρω από τη λεκάνη, στους ώμους καθώς και στο μηρό του μέλους που

εκτελούσε την άσκηση. Ο μοχλός στον οποίο εφαρμόζεται η ροπή τοποθετήθηκε και δέθηκε με ιμάντα ακριβώς επάνω από την ποδοκνημική άρθρωση. Ο άξονας περιστροφής του δυναμόμετρου ευθυγραμμίστηκε με τον άξονα περιστροφής του γονάτου με τη νοητή γραμμή που περνάει από τον έξω κόνδυλο του μηριαίου οστού όταν το γόνατο βρίσκεται σε κάμψη 90°. Το εύρος κίνησης οριοθετήθηκε από τις 100° έως τις 20° (πλήρης έκταση του γονάτου στις 0°). Βαρυτική διόρθωση της επίδρασης του βάρους του συμμετέχοντος άκρου στην μετρούμενη ροπή έγινε στις 30°.

Η γωνιακή ταχύτητα για όλη τη διάρκεια της άσκησης και στα δύο είδη άσκησης ήταν 60°/s. Αρχικά ο κάθε εθελοντής πραγματοποίησε 5 πλήρεις και χαμηλής έντασης ομόκεντρες ή έκκεντρες επαναλήψεις (ανάλογα το πρωτόκολλο) έκτασης του γονάτου. Μετά από 1 λεπτό ανάπαυσης πραγματοποίησε με τον ίδιο τρόπο άλλες 5 επαναλήψεις, εκ των οποίων οι 2 ήταν χαμηλής έντασης και οι υπόλοιπες 3 με προοδευτικά αυξανόμενη ένταση μέχρι τη μέγιστη (Deli et al., 2011). Μετά από 2 λεπτά ανάπαυσης πραγματοποιήθηκε η άσκηση, η οποία αποτελούταν από 7 σειρές των 5 μέγιστων ομόκεντρων ή έκκεντρων επαναλήψεων με 15s παθητικής αποκατάστασης ανάμεσά τους. Κατά τη διάρκεια του διαλείμματος ο δοκιμαζόμενος παρέμενε εντελώς ακίνητος και ήρεμος. Παράλληλα, ο εθελοντής δεχόταν εμψύχωση από την ερευνητική ομάδα με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας. Το ισοκινητικό δυναμόμετρο εμφάνιζε τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο μέσω του λογισμικού του μηχανήματος.

3.3.4. Μέτρηση μυϊκής και εγκεφαλικής οξυγόνωσης με NIRS

Η οξυγόνωση του μυός και του εγκεφάλου μετρήθηκε με συσκευή εγγύς υπέρυθρου φασματοσκοπίας (NIRS) σε δύο μήκη κύματος (760 and 850 nm) (Artinis Medical System, PortaMon/PortaLite, Zetten, The Netherlands). Η εγκυρότητα και αξιοπιστία της συσκευής για μέτρηση της οξυγόνωσης στον έξω πλατύ μυ φαίνεται να είναι υψηλή (La Mantia, Neidert, & Kluess, 2018), όπως και για την εκτίμηση της εγκεφαλικής οξυγόνωσης (Pereira et al., 2007). Για τη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης ο πομπός της συσκευής τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ του άκρου που θα χρησιμοποιούσε ο κάθε δοκιμαζόμενος σε κάθε ένα από τα δύο πρωτόκολλα άσκησης στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και στο δεξί άκρο κατά την άσκηση στο κυκλοεργόμετρο, στο κατώτερο τρίτο του μυός παράλληλα με τον κύριο άξονα του μηρού. Πιο συγκεκριμένα περίπου 12 cm πάνω από την επιγονατίδα και 5 cm από το μέσο το ποδιού. Η συσκευή καλύφθηκε με ελαστική διαφανή μεμβράνη για την αποφυγή επαφής με ιδρώτα ή οποιοδήποτε άλλο υγρό και στη συνέχεια με ειδικό βαμβάκερο μαύρο πανί, ώστε το φως να μη παρεμβάλλεται στις μετρήσεις. Η περιοχή όπου τοποθετήθηκε ξυρίστηκε και καθαρίστηκε με αλκοολούχο μάκτρο. Οι μετρήσεις της συσκευής NIRS δεν επηρεάστηκαν από το λιπώδη ιστό, καθώς οι δερματοπτυχές του υποδόριου λίπους στο δεξί και στο άκρο ήταν $4,49 \pm 0,54$ και $4,68 \pm 0,50$ mm αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες από αυτές που φαίνεται ότι μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα (Van Beekvelt, Colier, Wevers, & Van Engelen, 2001). Για τη μέτρηση της εγκεφαλικής οξυγόνωσης η συσκευή καλύφθηκε με τον ίδιο τρόπο

και τοποθετήθηκε στη δεξιά πλευρά του μετώπου του δοκιμαζόμενου. Η ακριβής θέση ήταν πάνω από τον αριστερό μετωπιαίο λοβό του εγκεφάλου, περίπου 2 cm πάνω από το φρύδι. Οι συσκευές σταθεροποιήθηκαν σε σταθερή θέση με τη χρήση ειδικού επιδέσμου.

Η συσκευή αποτελούταν από 3 διαφορετικούς πομπούς με απόσταση 30, 35 και 40 mm από το δέκτη ο καθένας. Η απόσταση διείσδυσης της ακτινοβολίας κάθε πομπού αντιστοιχεί ακριβώς στο μισό της απόστασής του από το δέκτη (15, 17,5 και 20 mm αντίστοιχα) (Ferrari, Mottola, & Quaresima, 2004). Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με συχνότητα 10 Hz και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τριών αισθητήρων για τις αναλύσεις. Υπολογίσθηκαν οι ακόλουθες τιμές: οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (ΔO_2Hb), αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (ΔHHb) και το άθροισμα ΔO_2Hb και ΔHHb (ΔtHb). Επίσης υπολογίστηκε από το λογισμικό ο ποσοστιαίος δείκτης κορεσμού του ιστού σε οξυγόνο ($TSI = O_2Hb / tHb * 100$). Οι τιμές στη συγκέντρωση των αιμοσφαιρινών και το δείκτη TSI υπολογίσθηκαν ως διαφορές (Δ) με βάση τις τιμές ηρεμίας που καταγράφηκαν στα τελευταία 30s μιας πεντάλεπτης περιόδου ανάπαυσης πριν το πρωτόκολλο άσκησης. Σε αυτήν τοποθετήθηκε περιμηρίδα (240mm Hg) στο άνω μέρος του μηρού για να σταθεροποιηθούν οι τιμές στα κατώτερα αρχικά επίπεδα ηρεμίας. Οι τιμές αυτές θεωρήθηκαν ως αρχικές τιμές στα 0 μM και οι τιμές στις αναλύσεις παρουσιάζονται ως διαφορές από αυτές.

3.3.5. Μέτρηση αντιλαμβανόμενης κόπωσης

Πριν την έναρξη κάθε πρωτοκόλλου άσκησης, μετά την 4^η και την τελευταία σειρά αξιολογήθηκε ο δείκτης

αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE) μέσω της κλίμακας Borg (Monroe et al., 2016).

3.4. Στατιστική Ανάλυση

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος G*Power (ver. 3.1) για την εκτίμηση του αριθμού του δείγματος, για στατιστική ανάλυση 2-way ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στο χρόνο και για στατιστική ισχύ -0,8. Με βάση τα αποτελέσματα αρχικής πιλοτικής μέτρησης ο συνολικός αριθμός συμμετεχόντων θα μπορούσε να είναι $n=6$. Για την επίτευξη μεγαλύτερης στατιστικής ισχύος, το δείγμα της έρευνας επιλέχθηκε να είναι $n=12$. Η κανονική κατανομή του δείγματος ελέγχθηκε με τον έλεγχο Shapiro-Wilks και δεν βρέθηκε σημαντική παραβίαση της κανονικότητας ($p>0,05$). Σε καμία από τις παραμέτρους δεν παρουσιάστηκε παραβίαση του κανόνα της σφαιρικότητας. Η αξιολόγηση της απόδοσης και της αλλαγής των παραγόντων της οξυγόνωσης του μυός και του εγκεφάλου στα τρία πρωτόκολλα άσκησης κατά τη διάρκεια των 7 σειρών πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ανάλυσης διακύμανσης (2-way ANOVA) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον χρόνο [3 (πρωτόκολλα) x 7 (σειρές) ή 3 (πρωτόκολλα) x 3 (σειρές) στην περίπτωση της κλίμακας Borg]. Σε όλες περιπτώσεις βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις ανά ζεύγη μέσω του ελέγχου Sidak. Ανάλυση συσχέτισης πραγματοποιήθηκε μεταξύ της μέγιστης απόδοσης κάθε σειράς και της αντίστοιχης οξυγόνωσης κατά τη διάρκεια των 7 σειρών της παρέμβασης. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσος όρος (mean) $\pm$ τυπικό σφάλμα του μέσου (SEM) και το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $\alpha=0,05$.

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, IL).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά

Στον πίνακα 4.1. φαίνονται τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των 12 εθελοντών (ηλικία, βάρος, ύψος, δείκτης μάζας σώματος) καθώς και το ποσοστό λίπους που εκτιμήθηκε από τη μέθοδο BIA.

Πίνακας 4.1. *Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των 12 δοκιμαζομένων (μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση)*

Ηλικία (έτη)	26,4 $\pm$ 1,0
Μάζα (kg)	78,4 $\pm$ 2,1
Ύψος (m)	1,76 $\pm$ 0,1
ΔΜΣ	25,4 $\pm$ 0,5
% λίπους	16,7 $\pm$ 0,7

4.2. Συνολικό έργο

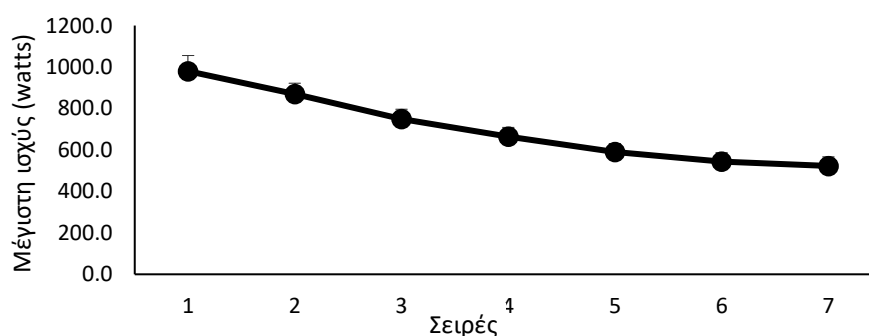
Το συνολικό έργο που παρήχθη κατά τη διάρκεια της άσκησης στην ποδηλάτηση ήταν 28,57 $\pm$ 1,6 kJ. Αντίστοιχα στην ομόκεντρη ήταν 1,26 $\pm$ 0,05 kJ και στην έκκεντρη 1,55 $\pm$ 0,4 kJ. Η έκκεντρη και η ομόκεντρη βρέθηκαν να διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά ($p = 0,023$)

4.3. Απόδοση

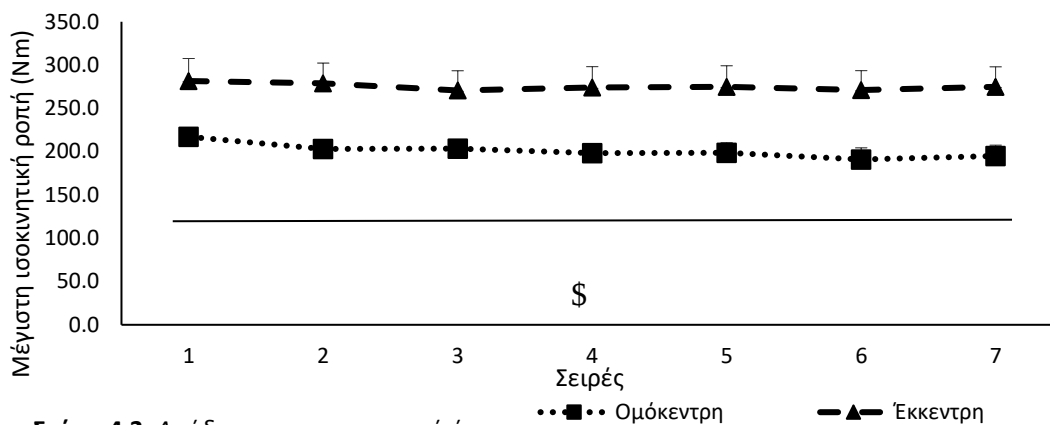
Στα σχήματα 4.1. και 4.2. φαίνεται η απόδοση για την ποδηλάτηση (μέγιστη ισχύς) και για τα δύο ισοκινητικά πρωτόκολλα (μέγιστη ροπή) κατά τη διάρκεια της άσκησης. Σε όλες τις σειρές υπήρχε σημαντική διαφορά στη μέγιστη ροπή μεταξύ έκκεντρης και ομόκεντρης.

4.4. Κόπωση

Στο Σχήμα 4.3. φαίνεται η πορεία της κόπωσης εκφρασμένης σε ποσοστά επί της απόδοσης της αρχικής σειράς και για τα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική κόπωση κατά την ποδηλάτηση ($p < 0,001$), με όλες τις σειρές από τη 3^η μέχρι την 7^η να διαφέρουν σημαντικά από την πρώτη ($p < 0,001 - p = 0,002$). Στην ομόκεντρη άσκηση υπήρχε οριακά σημαντική κόπωση ($p = 0,048$), με τη 2^η ($p = 0,017$) και την 4^η σειρά να διαφέρουν σημαντικά από την 1^η. Δεν υπήρχε σημαντική κόπωση στην έκκεντρη άσκηση ($p = 0,740$). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p = 0,001$), της σειράς ($p = 0,001$) καθώς και της αλληλεπίδρασής τους ($p = 0,001$). Υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ ποδηλάτησης και ομόκεντρης ($p = 0,001$) και ποδηλάτησης και έκκεντρης ($p = 0,001$) σε όλες τις σειρές μεταξύ 2-7, αλλά όχι μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων στο ισοκινητικό δυναμόμετρο ($p = 0,233$).

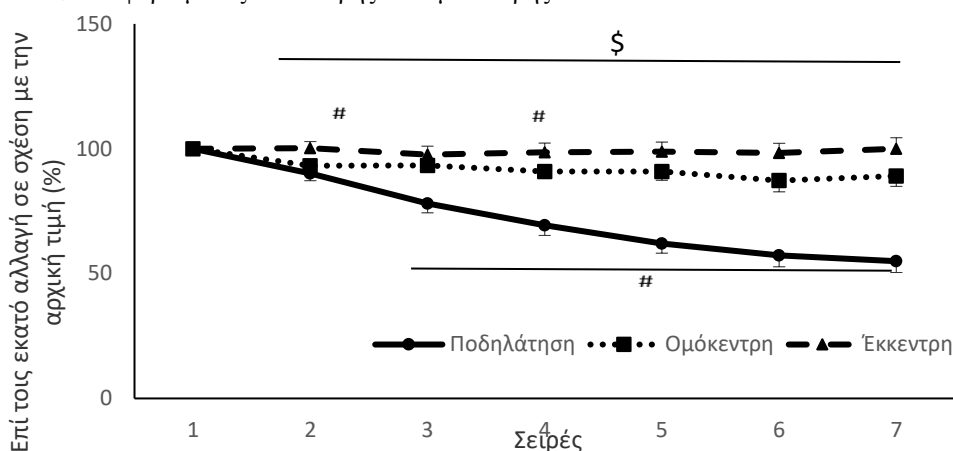


Σχήμα 4.1. Απόδοση στην ποδηλάτηση



Σχήμα 4.2. Απόδοση στην ισοκινητική άσκηση

\$: Διαφορά μεταξύ έκκεντρης και ομόκεντρης



Σχήμα 4.3. Η κόπωση εκφρασμένη ως ποσοστό σε σχέση με την πρώτη σειρά άσκησης για τα 3 είδη άσκησης

#: Διαφορά με αρχική τιμή ($p < 0,05$); \$: Διαφορά μεταξύ ποδηλάτησης και των...

4.5. Παράγοντες οξυγόνωσης

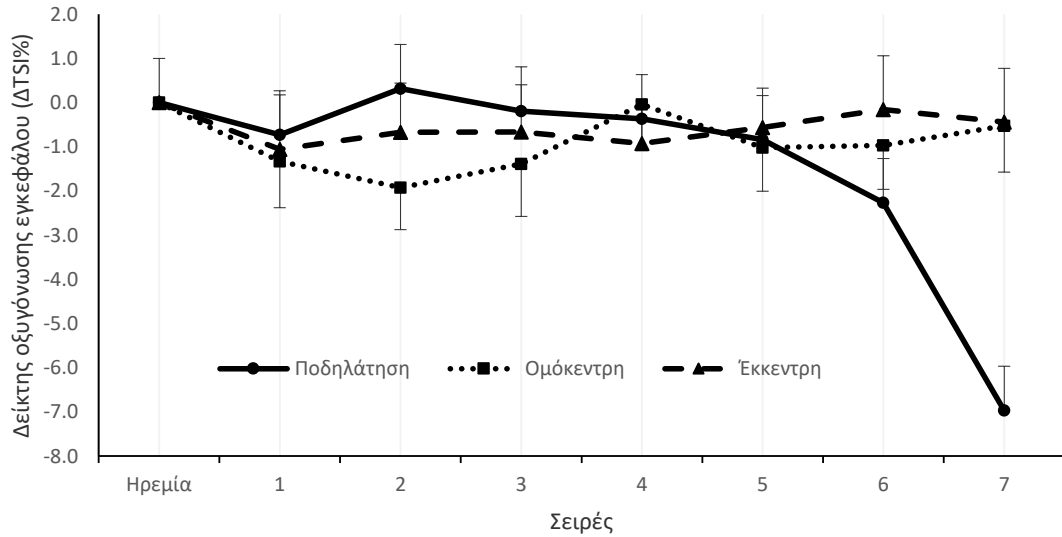
4.5.1. Δείκτης οξυγόνωσης εγκεφάλου

Στο Σχήμα 4.4. φαίνεται η πορεία του δείκτη οξυγόνωσης εγκεφάλου ($\Delta TSI\%$) στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη σημαντικές διαφορές της διακύμανσης του ΔTSI και για τα 3 πρωτόκολλα: ποδηλάτηση ($p=0,236$), ομόκεντρη ($p=0,340$) και έκκεντρη ($p=0,228$). Δεν υπήρξε σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,785$), της σειράς ($p=0,29$) καθώς και της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,22$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων ανά ζεύγη ($p=1,000$).

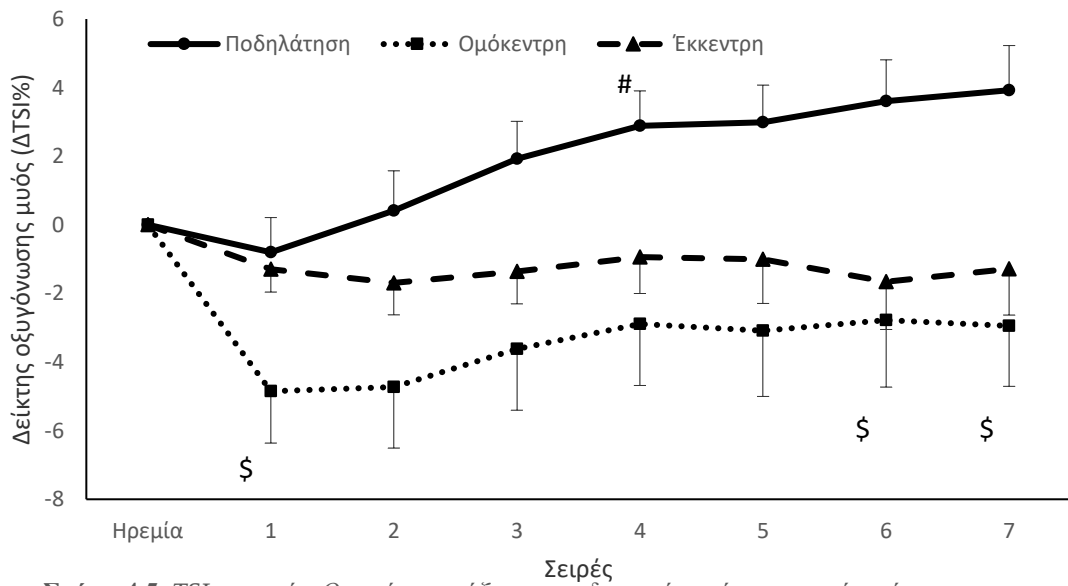
4.5.2. Δείκτης οξυγόνωσης μυός

Στο Σχήμα 4.5. φαίνεται η πορεία του μυϊκού δείκτη οξυγόνωσης ($\Delta TSI\%$) στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές της διακύμανσης του ΔTSI στην ποδηλάτηση ($p=0,004$), αλλά όχι στην ομόκεντρη ($p=0,053$) και έκκεντρη ($p=0,583$). Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,01$), της σειράς ($p=0,007$) καθώς και της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,012$). Υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων ποδηλάτησης-ομόκεντρης ($p=0,008$), με την 1^η, 6^η και 7^η σειρά να διαφέρουν σημαντικά

($p=0,33$, $p=0,23$, $p=0,19$), αλλά όχι μεταξύ ποδηλάτησης-έκκεντρης και ομόκεντρης-έκκεντρης ($p=0,174$ και $p=0,638$).



Σχήμα 4.4. TSI του εγκεφάλου. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.



Σχήμα 4.5. TSI του μύος. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.

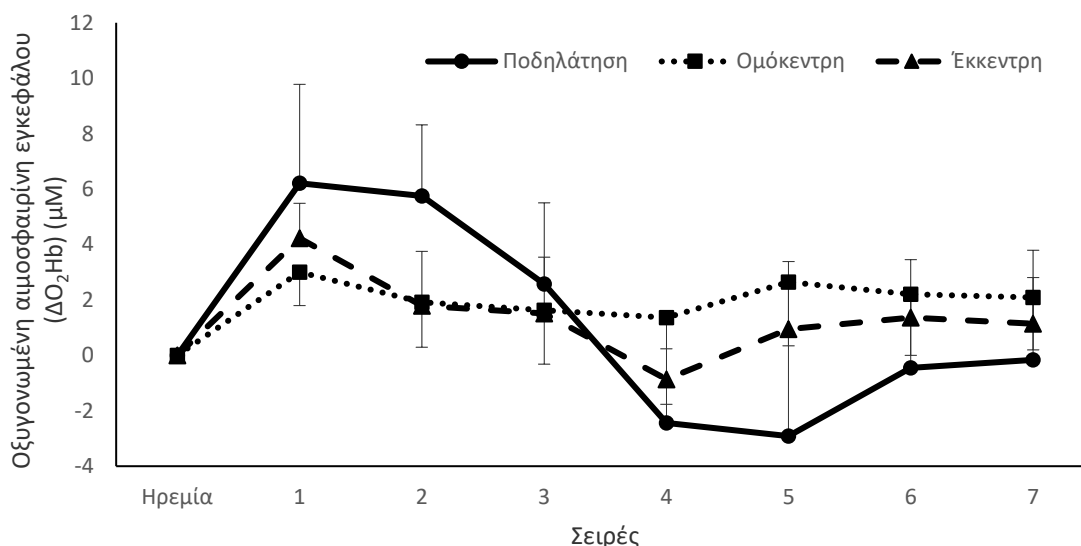
#: Διαφορά με αρχική τιμή ($p<0,05$); \$: Διαφορά μεταξύ ποδηλάτησης-ομόκεντρης ($p<0,05$)

4.5.3. Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη

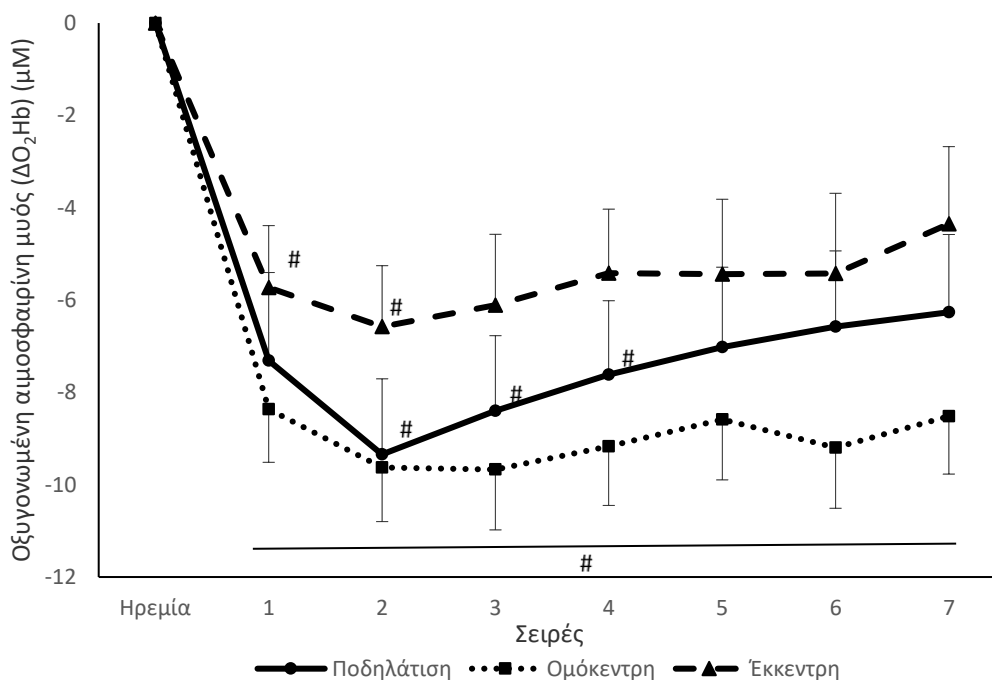
εγκεφάλου Στο Σχήμα 4.6. φαίνεται η πορεία της εγκεφαλικής ΔΟ₂Hb στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές της διακύμανσης της ΔΟ₂Hb στην ποδηλάτηση ($p=0,015$), αλλά όχι στην ομόκεντρη ($p=0,495$) και έκκεντρη ($p=0,212$). Επίσης φάνηκε σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,044$), της σειράς ($p=0,003$), αλλά όχι της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,129$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων όταν συγκρίθηκαν ανά ζεύγη ($p=1$).

4.5.4. Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη

μυός Στο Σχήμα 4.7. φαίνεται η πορεία της μυϊκής ΔΟ₂Hb στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές της διακύμανσης της ΔΟ₂Hb και στα τρία πρωτόκολλα: Στην ποδηλάτηση ($p=0,001$), με τις σειρές 2,3 και 4 να διαφέρουν από την ηρεμία ($p=0,004$, $p=0,009$, $p=0,018$ αντίστοιχα). Στην ομόκεντρη ($p=0,001$) με όλες τις σειρές να διαφέρουν από την ηρεμία ($p=0,001$). Στην έκκεντρη ($p=0,003$), όπου οι σειρές 1 και 2 διέφεραν από την αρχική κατάσταση ($p=0,04$ και $p=0,013$ αντίστοιχα). Βρέθηκε μη σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,245$), σημαντική επίδραση της σειράς ($p=0,001$), αλλά όχι της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,415$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων όταν συγκρίθηκαν ανά ζεύγη: ποδηλάτηση-ομόκεντρη και ποδηλάτηση-έκκεντρη ($p=1$), και ομόκεντρη-έκκεντρη ($p=0,291$).



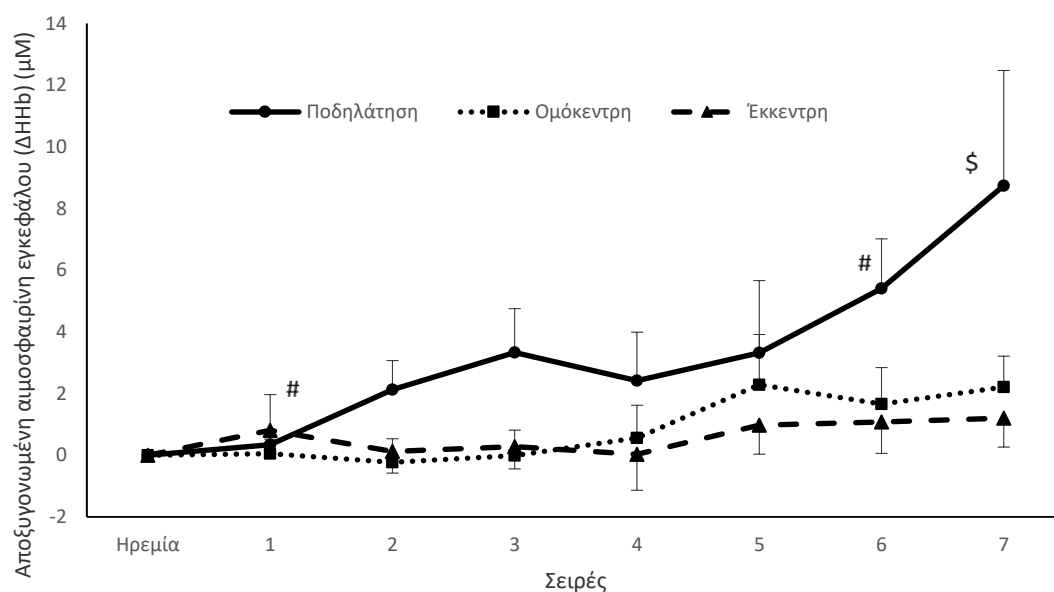
Σχήμα 4.6. ΔΟ₂Hb του εγκεφάλου. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.



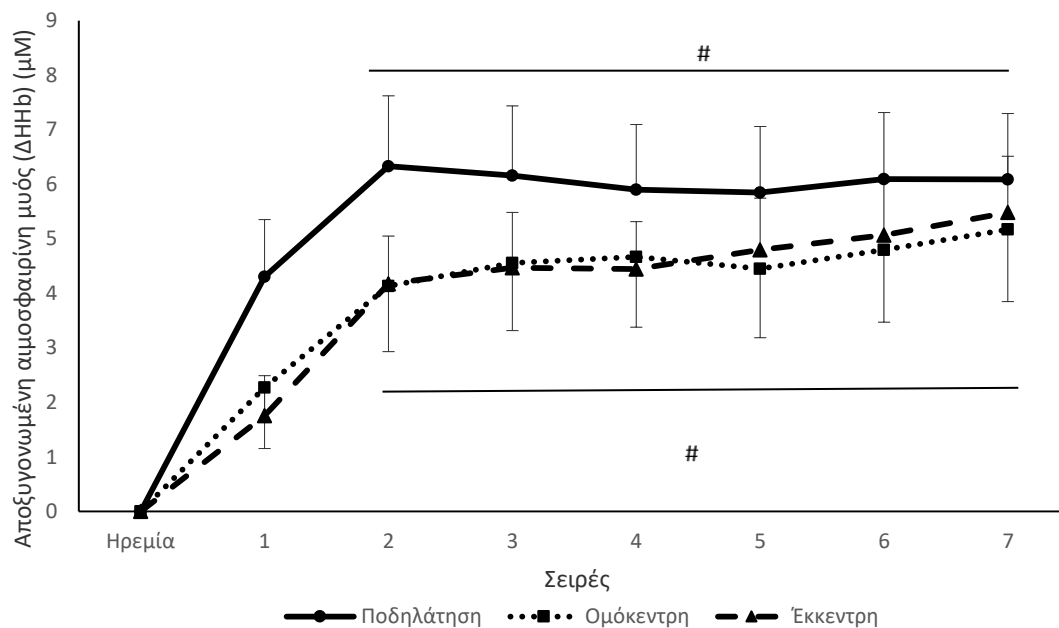
Σχήμα 4.7. ΔO₂Hb του μυός. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.
#: Διαφορά με αρχική τιμή ($p < 0,05$)

4.5.5. Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου Στο Σχήμα 4.8. φαίνεται η πορεία της εγκεφαλικής ΔHHb στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές της διακύμανσης της ΔHHb στην ποδηλάτιση ($p=0,027$), με την 1^η και 6^η σειρά να διαφέρουν σημαντικά με την ηρεμία ($p=0,01$), αλλά όχι στην ομόκεντρη ($p=0,077$) και έκκεντρη ($p=0,803$). Υπήρξε μη σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,166$), αλλά σημαντική επίδραση της σειράς ($p=0,001$), όχι όμως της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,051$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων όταν συγκρίθηκαν ανά ζεύγη: ποδηλάτιση-ομόκεντρη ($p=0,360$), ποδηλάτιση-έκκεντρη ($p=0,260$) και ομόκεντρη-έκκεντρη ($p=1$).

4.5.6. Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μυός Στο Σχήμα 4.9. φαίνεται η πορεία της μυϊκής ΔHHb στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές διαφορές της διακύμανσης της ΔHHb και στα τρία πρωτόκολλα: Στην ποδηλάτιση ($p=0,001$), με τις σειρές 2-7 να διαφέρουν από την ηρεμία ($p=0,011-0,016$). Στην ομόκεντρη ($p=0,001$), με τις σειρές 2-7 να διαφέρουν από το 1^η ($p=0,001-0,002$) αλλά όχι από την ηρεμία. Στην έκκεντρη ($p=0,001$), όπου οι σειρές 2-7 διέφεραν από την ηρεμία ($p=0,008-0,032$). Δεν υπήρξε σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,547$), υπήρξε σημαντική επίδραση της σειράς ($p=0,001$), αλλά όχι της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,469$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων όταν συγκρίθηκαν ανά ζεύγη ($p=1$).



Σχήμα 4.8. ΔHHb του εγκεφάλου. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.
#: Διαφορά με αρχική τιμή ($p < 0,05$); \$: Διαφορά μεταξύ ποδηλάτησης και των υπολοίπων πρωτοκόλλων ($p < 0,05$)



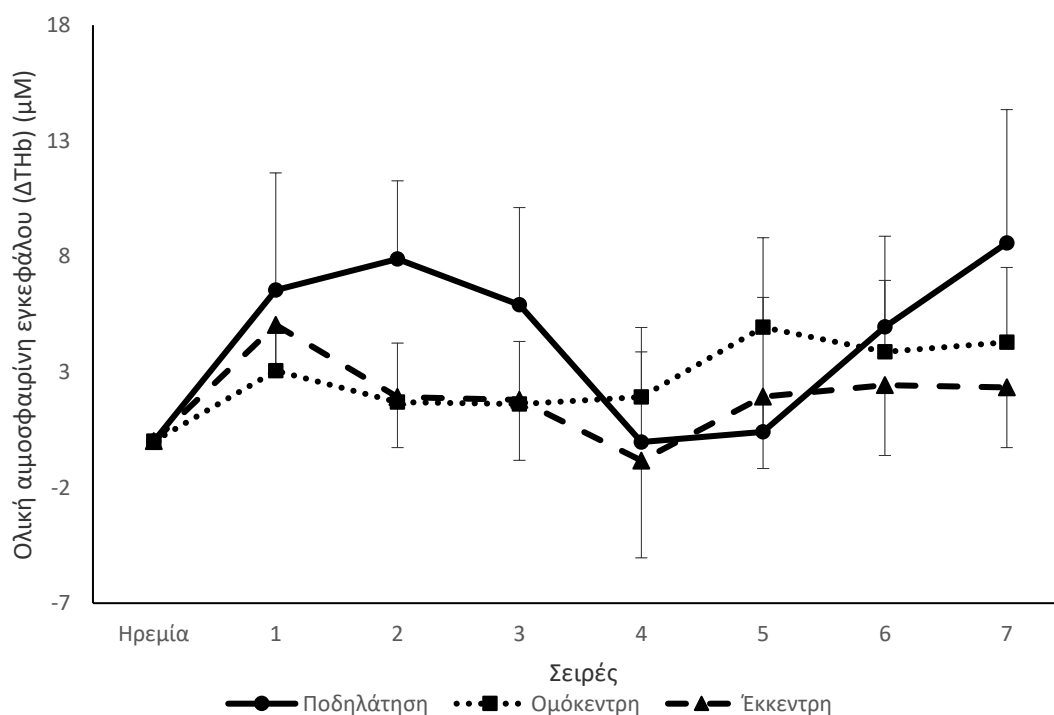
Σχήμα 4.9. ΔHHb του μυός. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.
#: Διαφορά με αρχική τιμή ($p < 0,05$)

4.5.7. Ολική αιμοσφαιρίνη εγκεφάλου

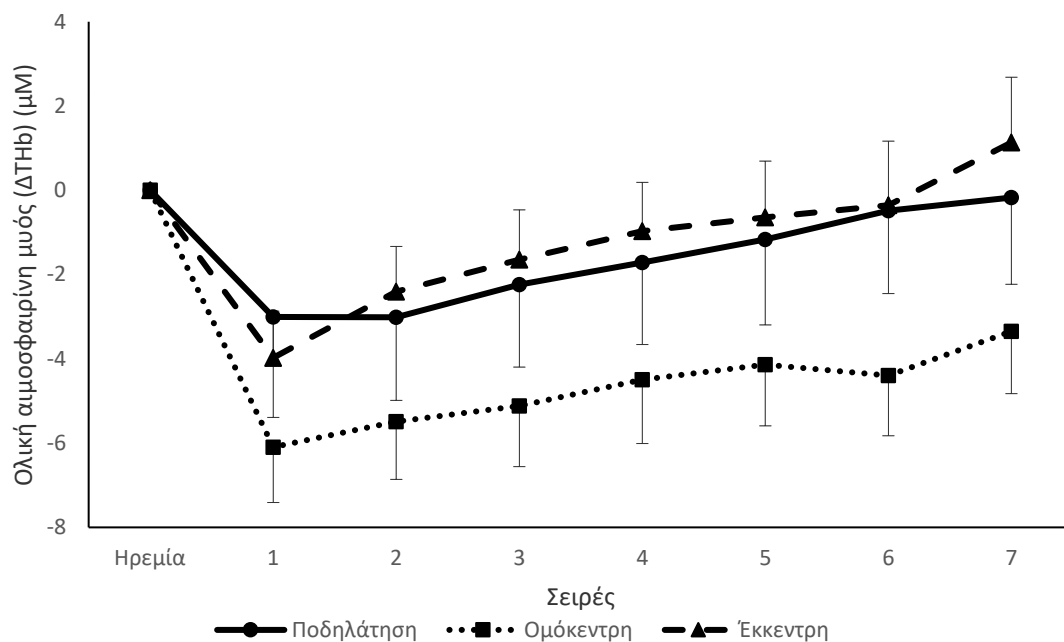
Στο Σχήμα 4.10. φαίνεται η πορεία της εγκεφαλικής ΔtHb στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη σημαντικές διαφορές της διακύμανσης της ΔHb και στα τρία πρωτόκολλα: ποδηλάτηση ($p=0,132$), ομόκεντρη ($p=0,332$) και έκκεντρη ($p=0,323$). Βρέθηκε μη σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,828$), αλλά σημαντική επίδραση της σειράς ($p=0,037$), όχι όμως της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,407$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων όταν συγκρίθηκαν ανά ζεύγη: ποδηλάτηση-ομόκεντρη ($p=0,1$), ποδηλάτηση-έκκεντρη ($p=0,1$) και ομόκεντρη-έκκεντρη ($p=1$).

4.5.8. Ολική αιμοσφαιρίνη μυός Στο

Σχήμα 4.11. φαίνεται η πορεία της μυϊκής ΔtHb στα 3 πρωτόκολλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη σημαντικές διαφορές της διακύμανσης της ΔHb στην ποδηλάτηση ($p=0,189$), αλλά σημαντικές διαφορές στην ομόκεντρη ($p=0,001$), με το 1^ο σετ να διαφέρει σημαντικά από την ηρεμία ($p=0,023$), και την έκκεντρη ($p=0,015$). Δεν υπήρχε σημαντική επίδραση στην απόδοση του είδους άσκησης ($p=0,238$), αλλά ήταν σημαντική η επίδραση της σειράς ($p=0,001$), όχι όμως της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,410$). Δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων όταν συγκρίθηκαν ανά ζεύγη: ποδηλάτηση-ομόκεντρη ($p=0,518$), ποδηλάτηση-έκκεντρη ($p=0,1$) και ομόκεντρη-έκκεντρη ($p=0,367$).



Σχήμα 4.10. ΔtHb εγκεφάλου. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.

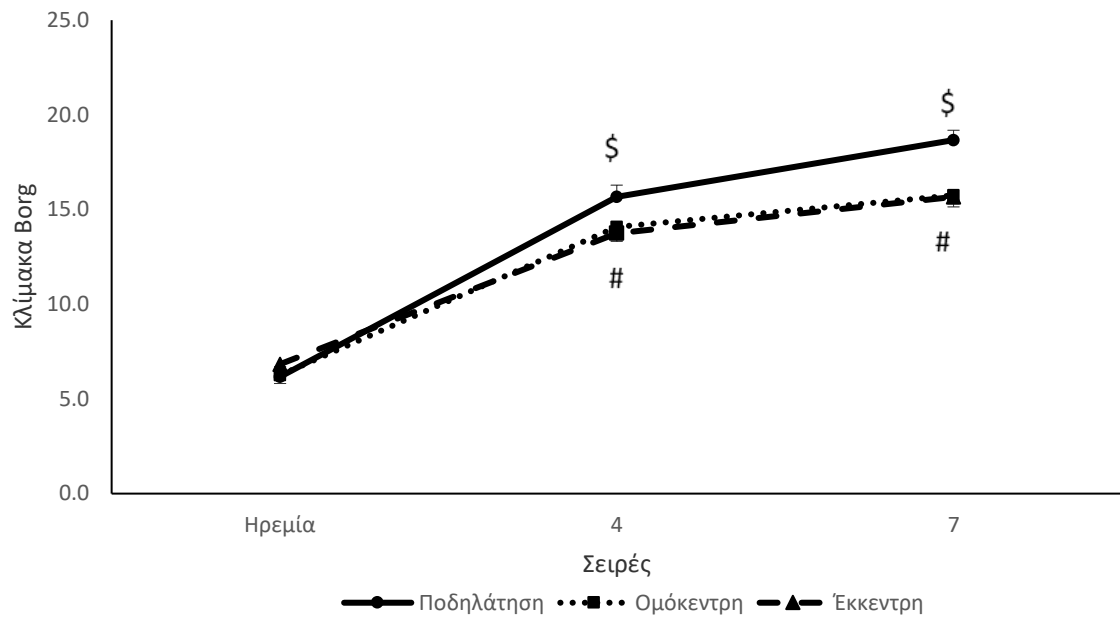


Σχήμα 4.11. ΔTHb του μυός. Οι τιμές εκφράζονται ως διαφορές από την αρχική τιμή για κάθε πρωτόκολλο άσκησης.

4.6. Κλίμακα Borg

Στο Σχήμα 4.12 φαίνεται η πορεία του δείκτη κόπωσης με την κλίμακα Borg για τα τρία πρωτόκολλα άσκησης σε 3 χρονικές στιγμές: στην αρχή, μετά την 4^η και 7^η σειρά. Στην ποδηλάτηση οι 3 διαδοχικές τιμές ήταν: $6,2 \pm 0,1$, $15,7 \pm 0,6$ και $18,7 \pm 0,5$. Στην ομόκεντρη: $6,3 \pm 0,1$, $14,1 \pm 0,4$ και $15,8 \pm 0,4$. Στην έκκεντρη: $6,8 \pm 0,4$, $13,8 \pm 0,7$ και $15,7 \pm 0,6$. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη σημαντικές διαφορές στην αύξηση της κλίμακας Borg και στα 3 πρωτόκολλα ($p=0,001$). Επίσης, υπήρξε σημαντική επίδραση στην κλίμακα Borg του είδους άσκησης ($p=0,008$), της σειράς ($p=0,001$), αλλά και της αλληλεπίδρασής τους ($p=0,001$). Υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της ποδηλάτησης και των άλλων δύο πρωτοκόλλων: ποδηλάτηση-ομόκεντρη ($p=0,018$), ποδηλάτηση-έκκεντρη ($p=0,024$). Δεν υπήρχαν όμως διαφορές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων στο ισοκινητικό δυναμόμετρο ($p=0,1$).

Οι συσχετίσεις μεταξύ των παραγόντων μυϊκής οξυγόνωσης και της απόδοσης για κάθε πρωτόκολλο έδειξαν: Στην ποδηλάτηση υψηλή αρνητική συσχέτιση της απόδοσης με την tHb ($r=-0,960$, $p=0,001$). Στην ομόκεντρη υψηλή αρνητική συσχέτιση της απόδοσης με την HHb ($r=-0,929$, $p=0,003$) και την THb ($r=-0,834$, $p=0,02$). Στην έκκεντρη δε βρέθηκε κάποια στατιστικά σημαντική συσχέτιση, αν και η αρνητική συσχέτιση με την HHb ήταν οριακά μη σημαντική ($r=-0,738$, $p=0,058$). Στην ποδηλάτηση επίσης βρέθηκε σημαντική θετική συσχέτιση της απόδοσης με την O₂Hb ($r=0,856$, $p=0,012$) και αρνητική συσχέτιση της απόδοσης με την HHb ($r=-0,822$, $p=0,023$).



Σχήμα 4.12. Δείκτης αντιλαμβανόμενης κόπωσης (κλίμακα Borg) στην αρχή, μετά την 4η σειρά και στο τέλος κάθε πρωτοκόλλου άσκησης.
#: Διαφορά με αρχική τιμή ($p < 0,05$); \$: Διαφορά μεταξύ ποδηλάτησης και των υπολοίπων πρωτοκόλλων ($p < 0,05$)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να εξεταστεί η επίδραση στην εγκεφαλική και μυϊκή οξυγόνωση του έξω πλατέως μυός (και πιθανή συσχέτιση με την απόδοση αυτών των παραμέτρων) τριών διαφορετικών πρωτοκόλλων άσκησης: HIIT με τη μορφή ποδηλάτησης, και ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση υψηλής έντασης σε ισοκινητικό δυναμόμετρο.

Στην ποδηλάτηση παρατηρήθηκε σημαντική πτώση της απόδοσης κατά τη διάρκεια των 7 σειρών άσκησης, κάτι που δεν αποτυπώθηκε στα άλλα δύο πρωτόκολλα. Σε όλα τα είδη άσκησης φάνηκε να αυξάνεται σε σχέση με την ηρεμία η μυϊκή αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και να μειώνεται η οξυγονωμένη, ενώ ο TSI επηρεάστηκε μόνο στην ποδηλάτηση. Οι παράμετροι της εγκεφαλικής οξυγόνωσης δε φάνηκε να επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό σε κανένα από τα πρωτόκολλα ισοκινητικής άσκησης, παρά μόνο στην ποδηλάτηση.

Σε επαναλαμβανόμενες σειρές μέγιστης έντασης άσκησης, όπως σε ένα κλασσικό πρωτόκολλο HIIT είναι γνωστό ότι υπάρχει σημαντική κόπωση λόγω κεντρικών και περιφερειακών παραγόντων. Στην παρούσα μελέτη φάνηκε το ίδιο φαινόμενο στην άσκηση HIIT στο ποδήλατο, όπου υπήρχε 45% πτώση της απόδοσης στην τελευταία σε σχέση με την πρώτη σειρά. Πιθανές διαφορές στη μεθοδολογία, όπως το χρόνο άσκησης και το χρόνο και είδος αποκατάστασης μεταξύ των σειρών, καθώς και στα φυσικά χαρακτηριστικά του δείγματος μπορούν να εξηγήσουν τις διαφορές μεταξύ παρόμοιων πρωτοκόλλων (Buchheit et al., 2012; Kriel et al., 2016; Racinais et al., 2007).

Ενώ στην ποδηλάτηση υπήρξε σημαντική πτώση της απόδοσης, κάτι τέτοιο δεν φάνηκε να ισχύει στην έκκεντρη και ομόκεντρη ισοκινητική άσκηση. Η διαφορά αυτή αποτυπώθηκε και στο δείκτη υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης, καθώς στην ποδηλάτηση ήταν σημαντικά μεγαλύτερος (κατά περίπου 3 μονάδες) στο τέλος της άσκησης από τα άλλα δύο πρωτόκολλα. Δεν υπήρξε σημαντική διαφορά στον δείκτη υποκειμενικής κόπωσης μεταξύ της έκκεντρης και της ομόκεντρης ισοκινητικής άσκησης. Ενώ δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στην πτώση της απόδοσης μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων στο ισοκινητικό μηχάνημα, φαίνεται να υπάρχει μια οριακά σημαντική μεταβολή στην ομόκεντρη (π.χ., $p=0,048$). Αυτό αποτυπώθηκε μόνο στη 2^η και 4^η σειρά, οι οποίες διέφεραν σημαντικά από την πρώτη.

Είναι πιθανό ότι ο αριθμός των σειρών στα δύο πρωτόκολλα άσκησης στο ισοκινητικό μηχάνημα να ήταν σχετικά μικρός για να προκληθεί μείωση της απόδοσης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με βάση το ότι πραγματοποιήθηκε άσκηση απομόνωσης μίας ομάδας μυών και ενός μόνο είδους συστολής και αποτυπώνεται και στην τεράστια διαφορά στην παραγωγή συνολικού έργου μεταξύ των τριών πρωτοκόλλων (στην ποδηλάτηση παρήχθη σχεδόν 20 φορές περισσότερο έναντι των ισοκινητικών ασκήσεων). Αντίθετα, στο ποδήλατο υπάρχει συμμετοχή πολλών περισσότερων μυών ταυτόχρονα, οι οποίοι εκτελούν και ομόκεντρη και έκκεντρη σύσπαση. Επιπλέον, φαίνεται ότι στην έκκεντρη δεν εμφανίστηκε σημαντική κόπωση, με βάση την απουσία σημαντικής μείωσης της απόδοσης σε κάποια από τις σειρές. Αυτό ίσως να συμβαίνει λόγω του ότι η παραγωγή δύναμης είναι

μεγαλύτερη κατά την έκκεντρη μυϊκή σύσπαση, το μεταβολικό κόστος λιγότερο και ο μυς επιστρατεύει λιγότερες μυϊκές ίνες, κάνοντας την "οικονομικότερο" τρόπο άσκησης (Denis, Bringard, & Perrey, 2011; Gonzalez-Izal, Lusa Cadore, & Izquierdo, 2014). Η διαφορά στην κόπωση που επιφέρει η έκκεντρη σε σχέση με την ομόκεντρη έχει φανεί και σε μελέτη όπου οι εθελοντές εκτέλεσαν ισοκινητικές ομόκεντρες και έκκεντρες συσπάσεις στο 60% της μέγιστης εθελούσιας σύσπασης στις 60 °/s. Για να επιτευχθούν τα ίδια επίπεδα κόπωσης, οι εθελοντές εκτέλεσαν στην έκκεντρη 40% περισσότερες επαναλήψεις (αδημοσίευτα αποτελέσματα).

Ο δείκτης εγκεφαλικής οξυγόνωσης (TSI) δε διαφοροποιήθηκε σημαντικά κατά τη διάρκεια της άσκησης και στα τρία πρωτόκολλα. Η εγκεφαλική οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μεταβλήθηκε σημαντικά μόνο στην ποδηλάτηση, όπως και η αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη. Συγκεκριμένα υπήρχε μια σημαντική αύξηση στην αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη στις 2 τελευταίες σειρές, ενώ η οξυγονωμένη άρχισε να πέφτει μετά την 4^η σειρά μετά από μία μικρή αρχική αύξηση. Η αύξηση της εγκεφαλικής HHb έρχεται σε συμφωνία με μελέτες αντίστοιχων πρωτοκόλλων HIIT διαφορετικών χρόνων άσκησης/αποκατάστασης (Monroe et al., 2016; Santos-Concejero et al., 2017; Woornos et al., 2019), ενώ η O₂Hb έχει φανεί άλλοτε να αυξάνεται όπως στη μελέτη των Monroe et al. (2016) που όμως είχαν χρησιμοποιήσει 4 λεπτά διάλλειμα, και άλλοτε να μειώνεται όπως στο τέλος (Santos-Concejero et al., 2017). Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό με την παρατηρούμενη πτώση της απόδοσης στην ποδηλάτηση μπορεί να δείχνουν και μία ένδειξη κεντρικής κόπωσης που συνοδεύεται

από αύξηση της αποξυγόνωσης του εγκεφάλου.

Στις παραμέτρους της μυϊκής οξυγόνωσης φάνηκε να υπάρχει σημαντική μεταβολή στον TSI μόνο στην ποδηλάτηση και όχι στην ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε αύξηση του TSI κατά τη διάρκεια της άσκησης με την τελευταία σειρά να διαφέρει κατά 3,9% από την αρχική. Άλλες έρευνες έχουν δείξει πτώση του TSI σε παρόμοια πρωτόκολλα (Buchheit et al., 2012; Zafeiridis et al., 2015). Οι παρατηρούμενες διαφορές στις επιδράσεις μεταξύ ερευνών μπορεί να οφείλονται σε διαφορετικό χρόνο άσκησης και αποκατάστασης των διαφορετικών πρωτοκόλλων.

Η άνοδος του TSI σε αυτή την έρευνα μπορεί να εξηγηθεί αν παρατηρηθεί η πορεία της οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (καθώς ουσιαστικά εκφράζει το λόγο O₂Hb/tHb. Η O₂Hb παρότι αρχικά μειώνεται (και συνολικά βρίσκεται σε χαμηλότερα από της ηρεμίας επίπεδα), παρουσιάζει μια τάση αύξησης στις τελευταίες σειρές. Αντίθετα η HHb μετά από αρχική αύξηση διατηρείται σταθερή κάτι που οδηγεί στην αύξηση του αριθμητικού κλάσματος O₂Hb/tHb. Αντίστοιχη αύξηση (3%) είχε παρατηρηθεί στον TSI και στη μελέτη των Buchheit et al. (2012). Οι ερευνητές πρότειναν πως παρότι η παροχή οξυγόνου αυξάνεται από μία χρονική στιγμή και μετά, η άντληση οξυγόνου δεν μπορεί να αυξηθεί το ίδιο λόγω της μικρότερης ικανότητας μυϊκής σύσπασης λόγω κόπωσης. Στα δύο πρωτόκολλα άσκησης στο ισοκινητικό δυναμόμετρο πιθανό να μην ήταν αρκετός ο χρόνος ή το είδος της άσκησης για να προξενήσει κάποιες μεταβολές στον TSI.

Η οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μειώθηκε σημαντικά και στα τρία πρωτόκολλα, με ταυτόχρονη αύξηση της αποξυγονωμένης. Παρόλα αυτά, και στα τρία πρωτόκολλα φάνηκε μια σχετική σταθεροποίηση των δύο αυτών παραμέτρων από την 3^η σειρά (με την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη να παρουσιάζει μια ανοδική τάση). Τα τρία πρωτόκολλα δεν διέφεραν μεταξύ τους ως προς τις μεταβολές στις παραμέτρους αυτούς. Δηλαδή προξένησαν και τα τρία παρόμοιες μεταβολές στη μυϊκή οξυγόνωση κατά τη διάρκεια της άσκησης. Το ίδιο έχει φανεί και σε μελέτες με διάφορα πρωτόκολλα υψηλής έντασης άσκησης με διάφορα είδη αποκατάστασης, με παράλληλη πτώση της απόδοσης κατά τη διάρκεια της άσκησης (Buchheit et al., 2012; Buchheit et al., 2009; Kriel et al., 2018; Kriel et al., 2016; Racinais et al., 2007; Zafeiridis et al., 2015). Μικρές διαφορές στο πόσο γρήγορα έγιναν αυτές οι αυξομειώσεις μπορεί και πάλι να οφείλονται σε διαφορετικό είδος άσκησης, καθώς και αναλογία χρόνου άσκησης/αποκατάστασης.

Η αρχική μείωση στην οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη μπορεί να εξηγηθεί από αρχική καθυστέρηση του οργανισμού να παρέχει οξυγόνο κατά την ένταση άσκησης. Η ταυτόχρονη αύξηση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης δείχνει την αρχική αναεροβίωση που παρατηρείται στο μυ (Bangsbo, Krstrup, Gonzalez-Alonso, Boushel, & Saltin, 2000). Καθώς επαναλαμβάνονται τα διαστήματα άσκησης και αποκατάστασης και με την πρόσληψη οξυγόνου να αυξάνεται (όπως έχει φανεί σε παρόμοια πρωτόκολλα) η παροχή οξυγόνου διατηρείται σταθερή ή και τείνει να αυξάνεται. Η διατήρηση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης μετά από αρχική αύξηση μπορεί να δείχνει την προσαρμογή των εργαζόμενων

μυών στο να διατηρούν την ικανότητα κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη μέγιστη άσκηση (Buchheit et al., 2012; Racinais et al., 2007).

Η ολική αιμοσφαιρίνη είχε σημαντική αλλαγή στην ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση, αλλά όχι στην ποδηλάτηση. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικό ρυθμό αυξομείωσης των δύο αιμοσφαιρινών σε σχέση με τα άλλα δύο πρωτόκολλα, καθώς αποτελεί άθροισμά τους.

Στην ποδηλάτηση η απόδοση εμφάνισε πολύ υψηλή αρνητική συσχέτιση με τη μυϊκή ολική αιμοσφαιρίνη. Ίσως η παρατηρούμενη κόπωση να έχει κάποια σχέση με τις αυξομειώσεις σε οξυγονωμένη και αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη, που αντικατοπτρίζονται συνολικά στην ολική. Αντίστοιχες αυξομειώσεις στις O_2Hb και HHb με παράλληλη πτώση της απόδοσης και πιθανή τους σχέση έχουν εμφανιστεί και σε άλλες μελέτες (Kriel et al., 2018; Kriel et al., 2016; Zafeiridis et al., 2015). Στην ομόκεντρη υπήρξε υψηλά σημαντική συσχέτιση τόσο με την αποξυγονωμένη όσο και με την ολική αιμοσφαιρίνη. Πιθανώς και εδώ η οριακά σημαντική πτώση της απόδοσης να συνδέεται με την αλλαγή των παραμέτρων αυτών. Στην έκκεντρη ενώ εμφανίστηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης και της HHb , αυτή ήταν οριακά μη σημαντική. Πιθανά, εάν παρατηρούταν και στην έκκεντρη η ίδια πτώση της απόδοσης να ήταν πιο ξεκάθαρη η συσχέτιση, όπως στα υπόλοιπα πρωτόκολλα.

Περιορισμοί της έρευνας

Στην παρούσα έρευνα η πρόβλεψη μιας σειράς περιορισμών θα μπορούσε να δώσει περισσότερες πληροφορίες και να εμπλουτίσει τη συζήτηση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση της

καρδιακής συχνότητας κατά τη διάρκεια και των τριών δοκιμασιών που θα μπορούσε να εξηγήσει κάποιες από τις διαφορές στην κόπωση αλλά και στις παραμέτρους οξυγόνωση. Επίσης η μεγάλη διαφορά στη συνολική παραγωγή έργου μεταξύ του πρωτοκόλλου ποδηλάτησης και των ισοκινητικών πρωτοκόλλων, καθιστά πολύ δύσκολη τη άμεση σύγκριση μεταξύ τους. Τέλος, η απουσία μέτρησης EMG θα μπορούσε να δώσει περισσότερες πληροφορίες για την ενεργοποίηση των μυών, που με τη σειρά τους θα μπορούσαν να εξειγήσουν τις αλλαγές στην απόδοση και στην οξυγόνωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, η ΗΠΤ είναι ένα είδος άσκησης με πολλά οφέλη στην υγεία και την απόδοση (Batacan et al., 2017; Burgomaster et al., 2005; Gibala & McGee, 2008; Gillen & Gibala, 2014; Hazell et al., 2010). Η υψηλής έντασης διαλειμματική άσκηση μπορεί να εκτελεστεί και με τη μορφή ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης απομόνωσης σε ισοκινητικό μηχάνημα με αρκετά οφέλη (Margaritelis et al., 2020; Paschalis et al., 2011; Theodorou et al., 2011). Στην παρούσα μελέτη φάνηκε ότι αυτά τα δύο πρωτόκολλα προκάλεσαν αλλαγή σε παραμέτρους μυϊκής οξυγόνωσης, ενώ η επίδραση στην απόδοση δεν ήταν η ίδια με ένα κλασσικό πρωτόκολλο ΗΠΤ με μορφή ποδηλάτησης. Τα ισοκινητικά πρωτόκολλα άσκησης προκάλεσαν αντίστοιχες τοπικές μεταβολές, αλλά ίσως λόγω της φύσης τους (μυϊκή απομόνωση και ένα είδος σύσπασης), δεν ήταν αρκετές για να προκαλέσουν κεντρικές μεταβολές. Πιθανώς ο όγκος της άσκησης να μην ήταν αρκετός και να χρειάζεται παραπάνω χρόνος τέτοιας μορφής άσκησης (π.χ. παραπάνω επαναλήψεις ανά σειρά) για να εμφανιστούν παρόμοια αποτελέσματα με ένα είδος άσκησης που συμμετέχει μεγαλύτερο μέρος του σώματος, όπως η ποδηλάτηση. Θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω πρωτόκολλα που θα επιφέρουν την ίδια κόπωση (ή θα παραχθεί το ίδιο έργο) για την διερεύνηση των διαφορών μεταξύ ισοκινητικής άσκησης και τυπικής ΗΠΤ (όπως η ποδηλάτηση) αλλά και των διαφορών μεταξύ έκκεντρης και ομόκεντρης σύσπασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88(1), 287-332.
doi:10.1152/physrev.00015.2007
- Balsom, P. D., Gaitanos, G. C., Ekblom, B., & Sjodin, B. (1994). Reduced oxygen availability during high intensity intermittent exercise impairs performance. *Acta Physiol Scand*, 152(3), 279-285.
doi:10.1111/j.1748-1716.1994.tb09807.x
- Bangsbo, J., Krustrup, P., Gonzalez-Alonso, J., Boushel, R., & Saltin, B. (2000). Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 279(3), R899-906.
doi:10.1152/ajpregu.2000.279.3.R899
- Batacan, R. B., Jr., Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Br J Sports Med*, 51(6), 494-503. doi:10.1136/bjsports-2015-095841
- Bayati, M., Farzad, B., Gharakhanlou, R., & Agha-Alinejad, H. (2011). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training. *J Sports Sci Med*, 10(3), 571-576.
- Bennell, K., Wajswelner, H., Lew, P., Schall-Riauour, A., Leslie, S., Plant, D., & Cirone, J. (1998). Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br J Sports Med*, 32(4), 309-314.
- Billat, L. V. (2001a). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*, 31(1), 13-31.
doi:10.2165/00007256-200131010-00002
- Billat, L. V. (2001b). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports Med*, 31(2), 75-90.
doi:10.2165/00007256-200131020-00001
- Bogdanis, G. C. (2012). Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Front Physiol*, 3, 142.
doi:10.3389/fphys.2012.00142
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*

- (1985), 80(3), 876-884.
doi:10.1152/jappl.1996.80.3.876
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K., & Boobis, L. H. (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand*, 163(3), 261-272.
doi:10.1046/j.1365-201x.1998.00378.x
- Boone, J., Barstow, T. J., Celie, B., Prieur, F., & Bourgois, J. (2015). The impact of pedal rate on muscle oxygenation, muscle activation and whole-body VO(2) during ramp exercise in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*, 115(1), 57-70.
doi:10.1007/s00421-014-2991-x
- Bosco, C., Mognoni, P., & Luhtanen, P. (1983). Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 51(3), 357-364.
- Brown, S. R., Brughelli, M., Griffiths, P. C., & Cronin, J. B. (2014). Lower-extremity isokinetic strength profiling in professional rugby league and rugby union. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(2), 358-361.
doi:10.1123/ijsp.2013-0129
- Buchheit, M., Abbiss, C. R., Peiffer, J. J., & Laursen, P. B. (2012). Performance and physiological responses during a sprint interval training session: relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics. *Eur J Appl Physiol*, 112(2), 767-779.
doi:10.1007/s00421-011-2021-1
- Buchheit, M., Cormie, P., Abbiss, C. R., Ahmaidi, S., Nosaka, K. K., & Laursen, P. B. (2009). Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. *Int J Sports Med*, 30(6), 418-425.
doi:10.1055/s-0028-1105933
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J., & Gibala, M. J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol (1985)*, 100(6), 2041-2047.
doi:10.1152/japplphysiol.01220.2005
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol*, 586(1), 151-160.
doi:10.1113/jphysiol.2007.142109
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 98(6), 1985-1990.
doi:10.1152/japplphysiol.01095.2004
- Camici, C. L., Housh, T. J., Weir, J. P., Zuniga, J. M., Hendrix, C. R., Mielke, M., . . . Schmidt, R. J. (2010). Influences of body-size variables on age-related increases in isokinetic peak

- torque in young wrestlers. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2358-2365.
doi:10.1519/JSC.0b013e3181af2a2
- Chance, B., Nioka, S., Kent, J., McCully, K., Fountain, M., Greenfeld, R., & Holtom, G. (1988). Time-resolved spectroscopy of hemoglobin and myoglobin in resting and ischemic muscle. *Anal Biochem*, 174(2), 698-707.
- Chin, L. M., Kowalchuk, J. M., Barstow, T. J., Kondo, N., Amano, T., Shiojiri, T., & Koga, S. (2011). The relationship between muscle deoxygenation and activation in different muscles of the quadriceps during cycle ramp exercise. *J Appl Physiol* (1985), 111(5), 1259-1265.
doi:10.1152/japplphysiol.01216.2010
- Colliander, E. B., Dudley, G. A., & Tesch, P. A. (1988). Skeletal muscle fiber type composition and performance during repeated bouts of maximal, concentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58(1-2), 81-86.
- Cramer, J. T., Jenkins, N. D. M., Mustad, V. A., & Weir, J. P. (2017). Isokinetic Dynamometry in Healthy Versus Sarcopenic and Malnourished Elderly: Beyond Simple Measurements of Muscle Strength. *J Appl Gerontol*, 36(6), 709-732.
doi:10.1177/0733464815584669
- De Blasi, R. A., Ferrari, M., Natali, A., Conti, G., Mega, A., & Gasparetto, A. (1994). Noninvasive measurement of forearm blood flow and oxygen consumption by near-infrared spectroscopy. *J Appl Physiol* (1985), 76(3), 1388-1393.
doi:10.1152/jappl.1994.76.3.1388
- Decarlo, M. S., Shelbourne, K. D., McCarroll, J. R., & Rettig, A. C. (1992). Traditional versus Accelerated Rehabilitation following ACL Reconstruction: A One-Year Follow-Up. *J Orthop Sports Phys Ther*, 15(6), 309-316.
doi:10.2519/jospt.1992.15.6.309
- Del Valle, A., & Thomas, C. K. (2005). Firing rates of motor units during strong dynamic contractions. *Muscle Nerve*, 32(3), 316-325.
doi:10.1002/mus.20371
- Deli, C. K., Paschalis, V., Theodorou, A. A., Nikolaidis, M. G., Jamurtas, A. Z., & Koutedakis, Y. (2011). Isokinetic knee joint evaluation in track and field events. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2528-2536.
doi:10.1519/JSC.0b013e3182023a7a
- Denis, R., Bringard, A., & Perrey, S. (2011). Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *J Electromyogr Kinesiol*, 21(2), 276-282.
doi:10.1016/j.jelekin.2010.12.006
- Dipla, K., Triantafyllou, A., Grigoriadou, I., Kintiraki, E., Triantafyllou, G. A., Poullos, P., . . . Goulis, D. G. (2017). Impairments in microvascular function and skeletal muscle oxygenation in women with gestational diabetes mellitus:

- links to cardiovascular disease risk factors. *Diabetologia*, 60(1), 192-201. doi:10.1007/s00125-016-4129-7
- Dupont, G., Millet, G. P., Guinhouya, C., & Berthoin, S. (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol*, 95(1), 27-34. doi:10.1007/s00421-005-1382-8
- Ebid, A. A., Omar, M. T., & Abd El Baky, A. M. (2012). Effect of 12-week isokinetic training on muscle strength in adult with healed thermal burn. *Burns*, 38(1), 61-68. doi:10.1016/j.burns.2011.05.007
- Ellenbecker, T. S., & Davies, G. J. (2000). The application of isokinetics in testing and rehabilitation of the shoulder complex. *J Athl Train*, 35(3), 338-350.
- Fang, Y., Siemionow, V., Sahgal, V., Xiong, F., & Yue, G. H. (2004). Distinct brain activation patterns for human maximal voluntary eccentric and concentric muscle actions. *Brain Res*, 1023(2), 200-212. doi:10.1016/j.brainres.2004.07.035
- Farzad, B., Gharakhanlou, R., Agha-Alinejad, H., Curby, D. G., Bayati, M., Bahraminejad, M., & Maestu, J. (2011). Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2392-2399. doi:10.1519/JSC.0b013e3181fb4a33
- Feiereisen, P., Vaillant, M., Eischen, D., & Delagardelle, C. (2010). Isokinetic versus one-repetition maximum strength assessment in chronic heart failure. *Med Sci Sports Exerc*, 42(12), 2156-2163. doi:10.1249/MSS.0b013e3181e3e2cb
- Ferrari, M., Mottola, L., & Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Can J Appl Physiol*, 29(4), 463-487. doi:10.1139/h04-031
- Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 369(1955), 4577-4590. doi:10.1098/rsta.2011.0230
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage*, 63(2), 921-935. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.03.049
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev*, 74(1), 49-94. doi:10.1152/physrev.1994.74.1.49
- Fousekis, K., Tsepis, E., & Vagenas, G. (2010). Multivariate isokinetic strength asymmetries of the knee and ankle in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, 50(4), 465-474.
- Gentil, P., Del Vecchio, F. B., Paoli, A., Schoenfeld, B. J., & Bottaro, M. (2017). Isokinetic Dynamometry and 1RM Tests

- Produce Conflicting Results for Assessing Alterations in Muscle Strength. *J Hum Kinet*, 56, 19-27. doi:10.1515/hukin-2017-0019
- Genuario, S. E., & Dolgener, F. A. (1980). The relationship of isokinetic torque at two speeds to the vertical jump. *Res Q Exerc Sport*, 51(4), 593-598. doi:10.1080/02701367.1980.10609319
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., . . . Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*, 575(Pt 3), 901-911. doi:10.1113/jphysiol.2006.112094
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*, 36(2), 58-63. doi:10.1097/JES.0b013e318168ec1f
- Gillen, J. B., & Gibala, M. J. (2014). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Appl Physiol Nutr Metab*, 39(3), 409-412. doi:10.1139/apnm-2013-0187
- Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K., & Cureton, K. J. (2014). Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 44(2), 269-279. doi:10.1007/s40279-013-0115-0
- Gonzalez-Izal, M., Lusa Cadore, E., & Izquierdo, M. (2014). Muscle conduction velocity, surface electromyography variables, and echo intensity during concentric and eccentric fatigue. *Muscle Nerve*, 49(3), 389-397. doi:10.1002/mus.23926
- Grabiner, M. D., & Owings, T. M. (2002). EMG differences between concentric and eccentric maximum voluntary contractions are evident prior to movement onset. *Exp Brain Res*, 145(4), 505-511. doi:10.1007/s00221-002-1129-2
- Grassi, B., & Quaresima, V. (2016). Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. *J Biomed Opt*, 21(9), 091313. doi:10.1117/1.JBO.21.9.091313
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiol Scand*, 178(2), 165-173. doi:10.1046/j.1365-201X.2003.01121.x
- Haseler, L. J., Hogan, M. C., & Richardson, R. S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *J Appl Physiol* (1985), 86(6), 2013-2018. doi:10.1152/jappl.1999.86.6.2013
- Hazell, T. J., Macpherson, R. E., Gravelle, B. M., & Lemon, P. W. (2010). 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic

- performance. *Eur J Appl Physiol*, 110(1), 153-160. doi:10.1007/s00421-010-1474-y
- Hinson, M. N., Smith, W. C., & Funk, S. (1979). Isokinetics: a clarification. *Res Q*, 50(1), 30-35.
- Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Spiering, B. A., . . . Chance, B. (2003). Effect of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Med Sci Sports Exerc*, 35(11), 1929-1934. doi:10.1249/01.MSS.0000093613.30362.DF
- Johansen, L., & Quistorff, B. (2003). 31P-MRS characterization of sprint and endurance trained athletes. *Int J Sports Med*, 24(3), 183-189. doi:10.1055/s-2003-39085
- Jones, B., Hamilton, D. K., & Cooper, C. E. (2015). Muscle oxygen changes following Sprint Interval Cycling training in elite field hockey players. *PLoS One*, 10(3), e0120338. doi:10.1371/journal.pone.0120338
- Jones, P. A., & Bampouras, T. M. (2010). A comparison of isokinetic and functional methods of assessing bilateral strength imbalance. *J Strength Cond Res*, 24(6), 1553-1558. doi:10.1519/JSC.0b013e3181dc4392
- Jones, S., Chiesa, S. T., Chaturvedi, N., & Hughes, A. D. (2016). Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Artery Res*, 16, 25-33. doi:10.1016/j.artres.2016.09.001
- Juel, C. (2008). Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta Physiol (Oxf)*, 193(1), 17-24. doi:10.1111/j.1748-1716.2008.01840.x
- Kell, R. T., Farag, M., & Bhambhani, Y. (2004). Reliability of erector spinae oxygenation and blood volume responses using near-infrared spectroscopy in healthy males. *Eur J Appl Physiol*, 91(5-6), 499-507. doi:10.1007/s00421-003-1014-0
- Kellis, S., Kellis, E., Manou, V., & Gerodimos, V. (2000). Prediction of knee extensor and flexor isokinetic strength in young male soccer players. *J Orthop Sports Phys Ther*, 30(11), 693-701. doi:10.2519/jospt.2000.30.11.693
- Kim, J., Lee, N., Trilk, J., Kim, E. J., Kim, S. Y., Lee, M., & Cho, H. C. (2011). Effects of sprint interval training on elite Judoists. *Int J Sports Med*, 32(12), 929-934. doi:10.1055/s-0031-1283183
- Knapik, J. J., Bauman, C. L., Jones, B. H., Harris, J. M., & Vaughan, L. (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med*, 19(1), 76-81. doi:10.1177/036354659101900113
- Knutti, D., & Kralli, A. (2001). PGC-1, a versatile coactivator. *Trends Endocrinol Metab*, 12(8), 360-365.
- Koga, S., Poole, D. C., Ferreira, L. F., Whipp, B. J., Kondo, N., Saitoh,

- T., . . . Barstow, T. J. (2007). Spatial heterogeneity of quadriceps muscle deoxygenation kinetics during cycle exercise. *J Appl Physiol* (1985), 103(6), 2049-2056. doi:10.1152/jappphysiol.00627.2007
- Koga, S., Rossiter, H. B., Heinonen, I., Musch, T. I., & Poole, D. C. (2014). Dynamic heterogeneity of exercising muscle blood flow and O₂ utilization. *Med Sci Sports Exerc*, 46(5), 860-876. doi:10.1249/MSS.0000000000000178
- Kriel, Y., Askew, C. D., & Solomon, C. (2018). The effect of running versus cycling high-intensity intermittent exercise on local tissue oxygenation and perceived enjoyment in 18-30-year-old sedentary men. *PeerJ*, 6, e5026. doi:10.7717/peerj.5026
- Kriel, Y., Kerherve, H. A., Askew, C. D., & Solomon, C. (2016). The Effect of Active versus Passive Recovery Periods during High Intensity Intermittent Exercise on Local Tissue Oxygenation in 18 - 30 Year Old Sedentary Men. *PLoS One*, 11(9), e0163733. doi:10.1371/journal.pone.0163733
- Mancini, D. M., Bolinger, L., Li, H., Kendrick, K., Chance, B., & Wilson, J. R. (1994). Validation of near-infrared spectroscopy in humans. *J Appl Physiol* (1985), 77(6), 2740-2747. doi:10.1152/jappphysiol.1994.77.6.2740
- Margaritelis, N. V., Theodorou, A. A., Chatzinikolaou, P. N., Kyparos, A., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2020). Eccentric exercise per se does not affect muscle damage biomarkers: early and late phase adaptations. *Eur J Appl Physiol*. doi:10.1007/s00421-020-04528-w
- McKenna, M. J., Bangsbo, J., & Renaud, J. M. (2008). Muscle K⁺, Na⁺, and Cl disturbances and Na⁺-K⁺ pump inactivation: implications for fatigue. *J Appl Physiol* (1985), 104(1), 288-295. doi:10.1152/jappphysiol.01037.2007
- Monroe, D. C., Gist, N. H., Freese, E. C., O'Connor, P. J., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2016). Effects of Sprint Interval Cycling on Fatigue, Energy, and Cerebral Oxygenation. *Med Sci Sports Exerc*, 48(4), 615-624. doi:10.1249/MSS.0000000000000809
- Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Rationale and Clinical Techniques for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Among Female Athletes. *J Athl Train*, 39(4), 352-364.
- Newton, R. U., Gerber, A., Nimphius, S., Shim, J. K., Doan, B. K., Robertson, M., . . . Kraemer, W. J. (2006). Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *J Strength Cond Res*, 20(4), 971-977. doi:10.1519/R-5050501x.1
- O'Malley, E., Richter, C., King, E., Strike, S., Moran, K., Franklyn-Miller, A., & Moran, R. (2018). Countermovement Jump and Isokinetic Dynamometry as Measures of Rehabilitation Status After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl*

- Train*, 53(7), 687-695.
doi:10.4085/1062-6050-480-16
- Orchard, J., Marsden, J., Lord, S., & Garlick, D. (1997). Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med*, 25(1), 81-85.
doi:10.1177/036354659702500116
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Theodorou, A. A., Panayiotou, G., Fatouros, I. G., Koutedakis, Y., & Jamurtas, A. Z. (2011). A weekly bout of eccentric exercise is sufficient to induce health-promoting effects. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1), 64-73.
doi:10.1249/MSS.0b013e3181e91d90
- Pereira, M. I., Gomes, P. S., & Bhambhani, Y. N. (2007). A brief review of the use of near infrared spectroscopy with particular interest in resistance exercise. *Sports Med*, 37(7), 615-624.
doi:10.2165/00007256-200737070-00005
- Perry-Rana, S. R., Housh, T. J., Johnson, G. O., Bull, A. J., Berning, J. M., & Cramer, J. T. (2002). MMG and EMG responses during fatiguing isokinetic muscle contractions at different velocities. *Muscle Nerve*, 26(3), 367-373.
doi:10.1002/mus.10214
- Perry-Rana, S. R., Housh, T. J., Johnson, G. O., Bull, A. J., & Cramer, J. T. (2003). MMG and EMG responses during 25 maximal, eccentric, isokinetic muscle actions. *Med Sci Sports Exerc*, 35(12), 2048-2054.
doi:10.1249/01.MSS.0000099090.73560.77
- Piantadosi, C. A. (2007). Early development of near-infrared spectroscopy at Duke University. *J Biomed Opt*, 12(6), 062102. doi:10.1117/1.2804925
- Racinais, S., Bishop, D., Denis, R., Lattier, G., Mendez-Villaneuva, A., & Perrey, S. (2007). Muscle deoxygenation and neural drive to the muscle during repeated sprint cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 39(2), 268-274.
doi:10.1249/01.mss.0000251775.46460.cb
- Rezaei, M., Ebrahimi, I., Vassaghi-Gharamaleki, B., Pirali, M., Mortaza, N., Malmir, K., . . . A, A. J. (2014). Isokinetic dynamometry of the knee extensors and flexors in Iranian healthy males and females. *Med J Islam Repub Iran*, 28, 108.
- Santos-Concejero, J., Billaut, F., Grobler, L., Oliván, J., Noakes, T. D., & Tucker, R. (2017). Brain oxygenation declines in elite Kenyan runners during a maximal interval training session. *Eur J Appl Physiol*, 117(5), 1017-1024.
doi:10.1007/s00421-017-3590-4
- Sekiguchi, H., Kohno, Y., Hirano, T., Akai, M., Nakajima, Y., & Nakazawa, K. (2007). Modulation of corticospinal excitability during lengthening and shortening contractions in the first dorsal interosseus muscle of humans. *Exp Brain Res*, 178(3), 374-384.
doi:10.1007/s00221-006-0743-9
- Spires, J., Lai, N., Zhou, H., & Saidel, G. M. (2011). Hemoglobin and myoglobin contributions to skeletal muscle oxygenation in response to exercise. *Adv Exp*

- Med Biol*, 701, 347-352. doi:10.1007/978-1-4419-7756-4_47
- Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* (1985), 100(4), 1150-1157. doi:10.1152/jappphysiol.00741.2005
- Taylor, J. D., & Fletcher, J. P. (2013). Correlation between the 8-repetition maximum test and isokinetic dynamometry in the measurement of muscle strength of the knee extensors: A concurrent validity study. *Physiother Theory Pract*, 29(4), 335-341. doi:10.3109/09593985.2012.727529
- Theodorou, A. A., Nikolaidis, M. G., Paschalis, V., Koutsias, S., Panayiotou, G., Fatouros, I. G., . . . Jamurtas, A. Z. (2011). No effect of antioxidant supplementation on muscle performance and blood redox status adaptations to eccentric training. *Am J Clin Nutr*, 93(6), 1373-1383. doi:10.3945/ajcn.110.009266
- Thistle, H. G., Hislop, H. J., Moffroid, M., & Lowman, E. W. (1967). Isokinetic contraction: a new concept of resistive exercise. *Arch Phys Med Rehabil*, 48(6), 279-282.
- Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2002). The relationships between aerobic fitness, power maintenance and oxygen consumption during intense intermittent exercise. *J Sci Med Sport*, 5(3), 194-203.
- Van Beekvelt, M. C., Colier, W. N., Wevers, R. A., & Van Engelen, B. G. (2001). Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O₂ consumption and blood flow in skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985), 90(2), 511-519. doi:10.1152/jappl.2001.90.2.511
- Wassenaar, E. B., & Van den Brand, J. G. (2005). Reliability of near-infrared spectroscopy in people with dark skin pigmentation. *J Clin Monit Comput*, 19(3), 195-199. doi:10.1007/s10877-005-1655-0
- Westing, S. H., Seger, J. Y., & Thorstensson, A. (1990). Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man. *Acta Physiol Scand*, 140(1), 17-22. doi:10.1111/j.1748-1716.1990.tb08971.x
- Woorons, X., Dupuy, O., Mucci, P., Millet, G. P., & Pichon, A. (2019). Cerebral and Muscle Oxygenation during Repeated Shuttle Run Sprints with Hypoventilation. *Int J Sports Med*. doi:10.1055/a-0836-9011
- Zafeiridis, A., Kounoupis, A., Dipla, K., Kyparos, A., Nikolaidis, M. G., Smilios, I., & Vrabas, I. S. (2015). Oxygen Delivery and Muscle Deoxygenation during Continuous, Long- and Short-Interval Exercise. *Int J Sports Med*, 36(11), 872-880. doi:10.1055/s-0035-1554634
- Zakas, A. (2006). Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two

sides. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(1), 28-35.

Zorgati, H., Collomp, K., Boone, J., Guimard, A., Buttelli, O., Mucci, P., . . . Prieur, F. (2015). Effect of pedaling cadence on muscle oxygenation during high-intensity cycling until exhaustion: a comparison between untrained subjects and triathletes. *Eur J Appl Physiol*, 115(12), 2681-2689. doi:10.1007/s00421-015-3235-4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Έντυπο συγκατάθεσης δοκιμαζομένου

Ενημέρωση δοκιμαζόμενων και δήλωση συγκατάθεσης συμμετοχής σε έρευνα.

Σκοπός της έρευνας είναι η αξιολόγηση παραμέτρων της μυϊκής οξυγόνωσης των εκτεινόντων της άρθρωσης του γόνατος κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης υψηλής έντασης με τη χρήση ισοκινητικού δυναμόμετρου. Κατά τη διάρκεια της έρευνας θα πραγματοποιηθούν οι παρακάτω μετρήσεις/αξιολογήσεις:

Ισοκινητική άσκηση μεγάλης έντασης στους πρόσθιους μηριαίους του ενός άκρου

Θα πραγματοποιηθεί διαλειμματική άσκηση μέγιστης έντασης στους εκτεινόντες της άρθρωσης του γόνατος σε δυναμόμετρο CYBEX II+. Η άσκηση θα περιλαμβάνει 20 σειρές των 5 μέγιστων επαναλήψεων σε γωνιακή ταχύτητα 60 °/s με διάλειμμα 30 s μεταξύ των σειρών.

Πιθανές ενοχλήσεις: Μυϊκή κόπωση και επιβάρυνση του καρδιαγγειακού. Σε σπάνιες περιπτώσεις υπάρχει η πιθανότητα λιποθυμίας, στην περίπτωση αυτή υπάρχει ο κατάλληλος εξοπλισμός (εξεταστικό κρεβάτι) ενώ οι δοκιμασίες θα πραγματοποιούνται σε ώρες που θα βρίσκεται γιατρός ή νοσηλεύτης στις εγκαταστάσεις της σχολής. Για τη μείωση των ενοχλήσεων θα πραγματοποιηθεί προθέρμανση (χαμηλής έντασης άσκηση στο κυκλοεργόμετρο για 7 λεπτά και διατάσεις) και αποθεραπεία (διατάσεις).

Είναι σημαντικό να μην αποκρύψετε οποιοδήποτε πληροφορία γνωρίζετε και σχετίζεται τόσο με την τωρινή κατάσταση της υγείας σας όσο και με οποιοδήποτε πρόβλημα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι εμπιστευτικά για χρήση δική σας και της ερευνητικής ομάδας ενώ η δημοσίευση των αποτελεσμάτων θα γίνει

ανώνυμα. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συμμετοχή σας στην έρευνα είναι η εξέταση και η έγγραφη έγκριση από γιατρό παθολόγο ότι μπορείτε να συμμετάσχετε σε άσκηση μέγιστης έντασης χωρίς κίνδυνο για την υγείας σας.

Δηλώνω ότι έχω καταλάβει την διαδικασία των παραπάνω αξιολογήσεων και τους κινδύνους που εμπεριέχονται και επιθυμώ να συμμετάσχω στο ερευνητικό πρόγραμμα. Επίσης κατανοώ το δικαίωμά μου να αποσυρθώ από τις παραπάνω δοκιμασίες όποια στιγμή το θελήσω.

Ημερομηνία/...../ 2019

Όνομα Δοκιμαζόμενου _____ Όνομα Ερευνητή: Παναγιώτης Αθανάσιος Περεντής

Υπογραφή _____

Υπογραφή _____

Όνομα Μάρτυρα _____