



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

**«ΘΕΡΜΟΘΕΡΑΠΕΙΑ: ΤΑΧΥΤΕΡΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΥΣΤΕΡΑ
ΑΠΟ ΜΥΪΚΟ ΜΙΚΡΟ-ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟ;»**

Αθηνά Μαρία Κοτσώνη

**Μεταπτυχιακή Διατριβή
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»**

ΑΘΗΝΑ 2023

© Copyright

Αθηνά Μαρία Κοτσώνη

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντίστασης 41, Δάφνη



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

Της Αθηνάς-Μαρίας Κοτσώνη

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 13/7/2021 για την κρίση και αξιολόγηση της μεταπτυχιακής διατριβής της κ. Αθηνάς-Μαρίας Κοτσώνη με τίτλο: «Θερμοθεραπεία: Ταχύτερη αποκατάσταση ύστερα από μυϊκό μικρο-τραυματισμό;» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Ν. Γελαδά** Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων), **Β. Πασχάλη** Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, **Π. Μποτώνη** Επίκ. Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, εκλήθησαν σήμερα 27/10/2023 ημέρα Παρασκευή και ώρα 14:30 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση στο Αμφιθέατρο Ε. Παυλίνη της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διατριβή.

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

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Ν. Γελαδάς, Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

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

Π. Μποτώνης, Επίκουρος Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου αρχικά την οικογένειά μου, γιατί χωρίς αυτήν δεν θα είχα την δυνατότητα να παρακολουθήσω αυτό το πρόγραμμα σπουδών.

Ένα μεγάλο ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ, λοιπόν, στους γονείς μου, στην αδελφή μου Ελευθερία, αλλά και στους φίλους μου, και πιο συγκεκριμένα στην Αφροδίτη και στον Γιάννη, οι οποίοι υπέμειναν και συμπορεύτηκαν μαζί μου σε αυτό το δύσκολο αλλά πολύτιμο ταξίδι γνώσης, και με όλα όσα αυτό περιείχε (άγχη, δυσκολίες, αγωνίες, ένταση, εξάντληση, προσπάθεια, θυσίες, απογοητεύσεις, χαρές).

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να εκφράσω ένα, ακόμη, μεγάλο ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ στους καθηγητές μου, Ν. Γελαδά, Β. Πασχάλη, Π. Μποτώνη και Μ. Κοσκολού, για την ορθή καθοδήγησή τους, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και τα διδάγματα που μου προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια συνεργασίας μας.

Επίσης, ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ όλους όσους συμμετείχαν στις πειραματικές διαδικασίες, καθώς και την συμφοιτήτριά μου Λία Λουκά για την διαθεσιμότητά της να βοηθήσει σε αυτές.

Για την υποστηρικτικότητά της θα ήθελα να ευχαριστήσω, ακόμη, την γραμματέα του ΠΜΣ Ξ. Κολωνιάρη, καθώς και την σύμβουλο σπουδών Ε. Ρουσάνογλου για την σύντομη αλλά εξαιρετικά πολύτιμη - για μένα - συνεργασία που είχα μαζί της.

Τέλος, δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω και τον συνάδελφό μου Γ. Αναστασίου για την κατανόηση και την υποστήριξη που έδειξε σε αυτή μου την προσπάθεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η έντονη έκκεντρη άσκηση έχει τεκμηριωθεί ότι προκαλεί μυϊκή βλάβη (EIMD), η οποία συνήθως εκδηλώνεται με μείωση του εύρους κίνησης (ROM), μείωση της παραγόμενης μυϊκής δύναμης καθώς και με καθυστερημένη έναρξη μυϊκού πόνου (DOMS) και πρήξιμο. Η κρυοθεραπεία έχει προταθεί ως ένας αποτελεσματικός τρόπος ενίσχυσης της ανάρρωσης μετά το EIMD, αλλά αυτή η προσέγγιση είναι εξαιρετικά αμφιλεγόμενη. Από την άλλη πλευρά, τα πρόσφατα προκαταρκτικά ευρήματα υποδηλώνουν ότι η θερμοθεραπεία μπορεί να είναι μια εναλλακτική παρέμβαση για ταχύτερη ανάρρωση μετά την EIMD. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστεί εάν η θερμοθεραπεία, μέσω εφαρμογής καψαϊκίνης στο δέρμα, θα μπορούσε να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για την επιτάχυνση της αποκατάστασης των σκελετικών μυών μετά από έκκεντρη άσκηση και τη βελτίωση της απόδοσης σε επακόλουθες μυϊκές προσπάθειες.

Είκοσι εννέα υγιείς, σωματικά δραστήριοι νέοι άνδρες (Μάζα σώματος: $76,1 \pm 14,5$, Ανάστημα: $1,7 \pm 0,1$, Σωματικό λίπος: $16,5 \pm 17,1$) υποβλήθηκαν σε έκκεντρη άσκηση αποτελούμενη από 6 σετ X 20 άλματα με ένα πόδι-από υπερυψωμένη πλατφόρμα (ύψος 0,20μ)- με διάλειμμα 2 λεπτών μεταξύ κάθε σετ. Η συνεδρία έκκεντρης άσκησης πραγματοποιήθηκε δύο φορές, μία για το εικονικό φάρμακο (PL) και η άλλη για τη θερμική θεραπεία (HT) χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό τυχαία επιλεγμένο πόδι σε κάθε περίπτωση. Μεταξύ των δύο θεραπειών χρησιμοποιήθηκε ένα διάστημα δύο εβδομάδων. Η θερμική θεραπεία

περιλάμβανε επιθέματα καψαϊκίνης (περιεκτικότητα σε καψαϊκίνη: 0,025%) που τοποθετήθηκαν για 48 ώρες μετά την άσκηση στις ασκούμενες μυϊκές ομάδες (δηλαδή, τετρακέφαλο μηριαίο). Δείκτες μυϊκής βλάβης [δηλ. καθυστερημένος μυϊκός πόνος -DOMS, εύρος κίνησης -ROM και κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)] αξιολογήθηκαν πριν από κάθε έκκεντρη άσκηση και 48 ώρες μετά από θεραπεία είτε με εικονικό φάρμακο είτε με καψαϊκίνη.

Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και αξιολόγηση της οξυγόνωσης των μυών με τη χρήση φασματοσκοπίας εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIRS, vastus lateralis).

Το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης προκάλεσε σημαντικές αλλαγές σε όλους τους δείκτες μυϊκής βλάβης [δηλαδή, DOMS, ROM και SJ] μετά από αμφοτέρους τις συνθήκες ($p < 0,05$). Ωστόσο, το DOMS ήταν χαμηλότερο μετά τη θερμοθεραπεία σε σύγκριση με τη θεραπεία εικονικού φαρμάκου ($p < 0,026$). Δεν καταγράφηκαν διαφορές μεταξύ των πειραματικών συνθηκών όσον αφορά την τοπική μυϊκή αιμοδυναμική, το άλμα και την απόδοση του εύρους κίνησης.

Παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή επιθεμάτων καψαϊκίνης στο δέρμα μετά από έντονη έκκεντρη άσκηση έχει αναλγητική δράση, δεν φαίνεται να βελτιώνει την απόδοση της επόμενης άσκησης. Η αναλγητική επίδραση από την εφαρμογή καψαϊκίνης στο δέρμα μπορεί να οφείλεται στη διέγερση των διαύλων TRPV-1. Η αμετάβλητη απόδοση της άσκησης μετά τη θεραπεία με καψαϊκίνη παραμένει προς επίλυση.

ABSTRACT

Intense eccentric exercise has been documented to induce muscle damage (EIMD), which is typically manifested by a decrease in the range motion (ROM), reduction of produced muscular force as well as by delayed onset of muscle pain (DOMS) and swelling. Cryotherapy has been suggested as an effective mode of enhancing recovery after EIMD but this approach is highly controversial. On the other hand, recent preliminary findings suggest that thermotherapy may be an alternative intervention for faster recovery after EIMD. The purpose of this study was to determine whether thermotherapy, by means of capsaicin application to the skin, could be an effective strategy to accelerate skeletal muscle recovery following eccentric exercise and enhance performance in subsequent muscular efforts.

Twenty-nine healthy, physically active young men underwent eccentric exercise consisted of 6 sets times 20 single-legged drop jumps- from a raised platform (0.20m high) with a 2- minutes break between each set. The eccentric exercise session was performed twice, one for the placebo (PL) and the other for the thermal therapy (HT) using a different randomly selected leg in each occasion. A two weeks interval was used between the two therapies. The thermal therapy included capsaicin patches (capsicum extract 0,025%) placed for 48 h post exercise on the exercised muscle groups (i.e., quadriceps femoris). Muscle damage indices [i.e. DOMS, ROM, and squat jump (SJ)] were assessed before each eccentric exercise and 48 hours after either placebo or capsaicin therapy. At the same time points, assessment of muscle oxygenation was also performed, using near infrared spectroscopy (NIRS; vastus lateralis).

The eccentric exercise protocol induced significant alterations in all muscle

damage indices [i.e., DOMS, ROM and SJ) after both conditions ($p < 0.05$). However, DOMS were lower after the heat therapy compared to placebo therapy ($p < 0.026$). No differences ($p > 0.05$) were recorded between experimental conditions with regard to local muscular hemodynamics, leaping and range of motion abilities.

Despite the fact that the application of capsaicin patches on the skin after intense eccentric exercise has an analgesic effect, it does not appear to improve subsequent exercise performance. The analgesic effect of capsaicin application to the skin might be due to the stimulation of thermo sensitive TRPV-1 channels. The unchanged exercise performance following capsaicin treatment remains to be resolved.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΕΞΕΤΑΣΗΣ	σελ. iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	σελ. iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	σελ. v
ABSTRACT	σελ.vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	σελ. xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	σελ.xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	σελ.xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	σελ.xiv

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της μελέτης	σελ. 4
1.2. Σημαντικότητα της μελέτης	σελ. 5
1.3. Ερευνητικές υποθέσεις	σελ. 5
1.4. Οριοθέτηση της έρευνας	σελ. 5
1.5. Περιορισμοί της έρευνας	σελ. 5
1.6. Λειτουργικοί ορισμοί	σελ. 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Έκκεντρη άσκηση και μυϊκή βλάβη	σελ.11
2.2. Εισαγωγή στην κρυοθεραπεία	σελ.15
2.2.1. Μελέτες για κρυοθεραπεία στην αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη (EIMD)	σελ.16
2.2.1.1. Μελέτες για κρυοθεραπεία με εμβύθιση σε κρύο νερό (CWI) ή κρυοθεραπεία ολόκληρου του σώματος (WBC).	σελ.16
2.2.1.2. Αντιφατικά δεδομένα της έρευνας σχετικά με την κρυοθεραπεία.	σελ.16
2.2.1.3. Μειονεκτήματα κρυοθεραπείας με CWI.	σελ.17
2.2.1.4. Κρυοθεραπεία με εφαρμογή μενθόλης.	σελ.18
2.2.1.5. Κρυοθεραπεία: θετική και διφορούμενη επίδραση της μενθόλης	σελ.18

2.3. Θερμοθεραπεία	σελ.19
2.3.1. Μέθοδοι και τρόποι εφαρμογής της θερμοθεραπείας	σελ.20
2.3.2. Φυσιολογικές αποκρίσεις στη θερμοθεραπεία	σελ.21
2.3.3. Μελέτες για θερμοθεραπεία στην αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη	σελ.23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

Μέθοδος

3.1. Πειραματικές διαδικασίες	σελ.29
3.2. Έγκριση βιοηθικής	σελ.30
3.3. Δοκιμαζόμενοι	σελ.30
3.4. Προκαταρκτικές δοκιμασίες	σελ.31
3.4.1. Προϋποθέσεις	σελ.31
3.4.2. Εξοικείωση	σελ.32
3.5. Πειραματικό πρωτόκολλο	σελ.33
3.6. Όργανα μέτρησης των δεικτών MD	σελ.37
3.6.1. Εκτίμηση του επιπέδου της καθυστερημένης έναρξης μυϊκού πόνου (DOMS)	σελ.37
3.6.2. Προσδιορισμός του εύρους κίνησης (ROM)	σελ.40
3.6.3. Προσδιορισμός της περιφέρειας των μηρών (CIR)	σελ.40
3.6.4. Προσδιορισμός του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ)	σελ.40
3.6.5. Μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης (NIRS)	σελ.42
3.7 Στατιστική ανάλυση	σελ.43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Αποτελέσματα

4.1. Καθυστερημένος μυϊκός πόνος στο ημικάθισμα (DOMS)	σελ.45
4.2. Εύρος κίνησης (ROM)	σελ.46
4.3. Κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)	σελ.47
4.4. Περιφέρεια μηρού (CIR_1 και CIR_2)	σελ.48
4.4.1 Περιφέρεια - στο μέσο τμήμα- του μηρού (CIR_1)	σελ.48
4.4.2 Περιφέρεια του μηρού - 10 εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας - (CIR_2)	σελ.49

4.5 Μεταβλητές εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) σε ηρεμία	σελ.50
(α) Δείκτες της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης στην ηρεμία (TSI %_baseline & TSI fit factor_baseline).	σελ.50
(β) Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη στην ηρεμία (HHb_baseline).	σελ.50
(γ) Οξυγονωμένη (O ₂ Hb_baseline), ολική αιμοσφαιρίνη (tHb_baseline) και διαφορά αποξυγονωμένης από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HbDiff_baseline) στην ηρεμία.	σελ.51
4.6 Μεταβλητές εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) σε ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση και την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση	σελ.53
(α) Δείκτες της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (TSI %_A & TSI fit factor_A) στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση και την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση.	σελ.53
(β) Οξυγονωμένη (O ₂ Hb_A), ολική αιμοσφαιρίνη (tHb_A) και διαφορά αποξυγονωμένης από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HbDiff_A) στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση και την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση.	σελ.53
(γ) Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση (HHb_A).	σελ.58
4.7. Μεταβλητές εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIRS) στην ηρεμία 20 λεπτά μετά την παρέμβαση	σελ.58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Συζήτηση

5.1. Φυσιολογικές επιπτώσεις έκκεντρης άσκησης στην μυϊκή λειτουργικότητα	σελ.59
5.2. Διφορούμενη η αποτελεσματικότητα της κρυοθεραπείας στην αποκατάσταση από EIMD	σελ.61
5.3. Εξέταση θερμοθεραπείας στην αποκατάσταση από EIMD	σελ.62
5.4. Επιδράσεις της θερμοθεραπείας στην EIMD	σελ.64
5.4.1. Φυσιολογικές αποκρίσεις από την εφαρμογή καψαϊκίνης	σελ.64
5.4.2. Θετικές επιδράσεις της θερμότητας στους δείκτες EIMD	σελ.66
5.5. Εν συντομία η περιγραφή του πειραματικού πρωτοκόλλου και οι επιπτώσεις αυτού στους δείκτες της EIMD	σελ.67
5.6. Επίδραση έκκεντρης άσκησης στους δείκτες της EIMD	σελ.68
5.6.1. Επίδραση EIMD στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο (DOMS)	σελ.68

5.6.2. Επίδραση EIMD στο εύρος κίνησης του Π.Α (ROM)	σελ.68
5.6.3. Επίδραση EIMD στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)	σελ.68
5.7. Επίδραση της θεραπευτικής παρέμβασης με καψαϊκίνη στους δείκτες της EIMD	σελ.68
5.7.1. Επίδραση θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο (DOMS)	σελ.68
5.7.2. Επίδραση θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στο εύρος κίνησης του Π.Α (ROM)	σελ.69
5.7.3. Επίδραση θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)	σελ.69
5.8. Συσχετισμός κεντρικής και περιφερικής κόπωσης νευρομυϊκού συστήματος με την πτώση της απόδοσης	σελ.70
5.9. Η αξιολόγηση της απόδοσης (και όχι ο αντιλαμβανόμενος μυϊκός πόνος) ως ο βέλτιστος δείκτης επαρκούς αποκατάστασης	σελ.71
5.10. Ανεπαρκή επίδραση της θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στην αιμοδυναμική (BFm)	σελ.72
5.11. Συμπεράσματα	σελ.72
5.12. Περιορισμοί	σελ.73
5.13. Πρακτικές εφαρμογές	σελ.73
5.14. Προοπτικές	σελ.73

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡ-I Έγκριση βιοηθικής	σελ.106
ΠΑΡ-II Ενημερωτικό έντυπο συγκατάθεσης	σελ.107
ΠΑΡ-III Φύλλο καταγραφής δεδομένων	σελ.111
ΠΑΡ-IV Ερωτηματολόγιο φυσικής κατάστασης	σελ.113

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1. Πειραματικό πρωτόκολλο.

Σχήμα 4.1. Αποτελέσματα στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο στο ημικάθισμα πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.2. Αποτελέσματα του εύρους κίνησης (ROM) πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.3. Αποτελέσματα στην απόδοση στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ) πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.4. Αποτελέσματα των τιμών για την $O_2Hb_baseline$, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.5. Αποτελέσματα των τιμών για την $tHb_baseline$, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.6. Αποτελέσματα των τιμών για την $HbDiff_baseline$, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.7. Αποτελέσματα των τιμών για την $TSI(\%)_A$ (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν την άσκηση), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.8. Αποτελέσματα των τιμών για την $TSI\ fit\ factor_A$ (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν την άσκηση), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.9. Αποτελέσματα των τιμών για την O_2Hb_A , πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.10. Αποτελέσματα των τιμών για την $HbDiff_A$, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.11. Αποτελέσματα των τιμών για την tHb_A , πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Σχήμα 4.12. Αποτελέσματα των τιμών για την HHb_A , πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1. Περιγραφικά χαρακτηριστικά (n=29) δοκιμαζόμενων.

Πίνακας 4.1. Δεδομένα μετρήσεων της περιφέρειας στο μέσο τμήμα του του μηρού (CIR_1), καθώς και 10 εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας (CIR_2) πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα των τιμών αναφοράς της TSI %_baseline, την TSI fit factor_baseline, την O₂Hb_baseline, την HHb_baseline, την tHb_baseline, και την HbDiff_baseline πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα των τιμών για την TSI %_A, την TSI fit factor_A, την O₂Hb_A, την HHb_A, την tHb_A, και την HbDiff_A - αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα των τιμών για την O₂Hb_D, την HHb_D, την tHb_D, και την HbDiff_D (20 λεπτά μετά την τοποθέτηση του έμπλαστρου, που ακολούθησε την EIMD), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.1. Οπτική αναλογική κλίμακα πόνου

Εικόνα 3.2. Προσδιορισμός εύρους κίνησης με γωνιόμετρο

Εικόνα 3.3. Αξιολόγηση κάθετου άλματος από ημικάθισμα με optogait

Εικόνα 3.4. Ποσοτικοποίηση μεταβολών της μυϊκής οξυγόνωσης με τη χρήση εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

EIMD : άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη
MD : μυϊκή βλάβη
DOMS : καθυστερημένος μυϊκός πόνος
MS : μυϊκός πόνος
ROM : εύρος κίνησης
SJ : κάθετο άλμα από ημικάθισμα
CIR : περιφέρεια μηρού
SW : οίδημα
CT : κρυοθεραπεία
CWI : εμβύθιση σε κρύο νερό
HT : θερμοθεραπεία
HWI : εμβύθιση σε ζεστό νερό
CWT : εμβύθιση σε κρύο εναλλασσόμενο με ζεστό νερό
CAP : καψαϊκίνη
TS : θερμική αίσθηση
BFm : αιματική ροή μυός
mVO2 : μυϊκή οξυγόνωση μυός
Hb : αιμοσφαιρίνη
TSI : δείκτης κορεσμού οξυγόνου
O2Hb : οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη
HHb : αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη
tHb : ολική αιμοσφαιρίνη
HbDiff : διαφορά αποξυγονωμένης από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη
mVA : εκούσια ενεργοποίηση μυός
PC : συσταλτικές ιδιότητες μυός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

Πολλοί αθλητές εκτελούν – κατά τη διάρκεια των προπονητικών τους προγραμμάτων – μια ποικιλία έκκεντρων ασκήσεων, προκειμένου να αυξήσουν τη μυϊκή τους δύναμη, την αλτικότητα και γενικά την απόδοσή τους (Elmer, Anderson, Wakeham, Kilgas, Durocher, Lindstedt & LaStayo, 2017; Paschalis, Koutedakis, Baltzopoulos, Mougios, Jamurtas & Theoharis, 2005). Η εκτέλεση, ωστόσο, έντονης, ασυνήθιστης ή έκκεντρης άσκησης οδηγεί σε πρόκληση μυϊκής βλάβης στους ασκούμενους μυς (Allen, 2001; Brown, Day & Donnelly, 1999; Cook, Myers, Kelly & Willems, 2015; Fochi, Damas, Berton, Alvarez, Miquelini, Salvini & Libardi, 2016; Hyldah & Hubal, 2014 ; Kim, Kuang, Song, Gavin & Roseguini, 2019; Paschalis et al., 2005). Την ασκησιογενή βλάβη ακολουθεί μια αλληλουχία φλεγμονωδών αποκρίσεων (Peake, Nosaka & Suzuki, 2005). Οι φυσιολογικές αυτές από- κρίσεις έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην αθλητική απόδοση (Kim, Monroe, Gavin & Roseguini, 2020). Τα κλινικά συμπτώματα της μυϊκής βλάβης είναι – πιο συγκεκριμένα - η μείωση της ικανότητας παραγωγής δύναμης, η εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου, η μείωση του εύρους κίνησης, η αύξηση της συγκέντρωσης της κρεατινικής κινάσης στον ορό αίματος, καθώς και η ένδειξη οιδήματος στην τραυματισμένη περιοχή (Cook et al., 2015; Fochi et al., 2016; Goodall, Thomas, Barwood, Keane, Gonzalez, Gibson & Howatson, 2017; Hedeyatpour & Falla, 2015; Kim et

al., 2019, 2020; Paschalis et al., 2005).

Ωστόσο, η έκκεντρη άσκηση βρίσκει εφαρμογή για μυϊκή υπερτροφία τόσο από ελίτ αθλητές και φυσιολογικά δραστήριους, όσο και από ασθενείς με νευρομυϊκές, καρδιαγγειακές και μεταβολικές ασθένειες (Ellis, Shields, Lim & Dodd, 2015; Franchi, Mitchell, Hoppeler & Narici 2017; Hody, Croisier, Bury, Rogister & Leprince, 2019). Επιπρόσθετα, οι αθλητές αγωνιστικού επιπέδου δεν διαθέτουν επαρκή χρόνο για αποκατάσταση μεταξύ των προπονήσεων ή των αγωνισμάτων. Επομένως, υπάρχει έντονη η ανάγκη για εύρεση της βέλτιστης μεθόδου για ταχύτερη αποκατάσταση και διατήρηση της απόδοσης σε επακόλουθη άσκηση (Broatch, Petersen & Bishop, 2014).

Συνεπώς, πολυάριθμες μελέτες στην αθλητική επιστήμη έχουν εξετάσει ποικίλες στρατηγικές αποκατάστασης από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη, προκειμένου να επιταχύνουν τη διαδικασία αποκατάστασης των σκελετικών μυών, και να ενισχύσουν την απόδοση σε επακόλουθη περίοδο άσκησης. Εν τούτοις, μολονότι συναντώνται μια πληθώρα ερευνών για την ενίσχυση της αποκατάστασης από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη, τα παρόντα επιστημονικά δεδομένα καθιστούν τις υπάρχουσες τεχνικές αποκατάστασης από μυϊκή βλάβη αναποτελεσματικές.

Η κρυοθεραπεία έχει έως τώρα μεγάλη απήχηση καθώς είναι μια στρατηγική, η οποία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο από αθλητές υψηλού επιπέδου, επιδιώκοντας να ελαχιστοποιήσουν την εξουθένωση

και να επιταχύνουν την μετά την άσκηση αποκατάσταση.

Ωστόσο, μεγάλος είναι και ο αριθμός των μελετών, των οποίων τα ευρήματα υποδεικνύουν μειωμένη αποδοτικότητα της κρυοθεραπείας ως μεθόδου για την επιτάχυνση της αποκατάστασης ύστερα από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη (Broatch, Petersen & Bishop, 2018; Drinkwater, 2008; Fuchs, Kouw, Churchward-Venne, Smeets, Senden, Lichtenbelt & Loon, 2020; Ihsan, Watson, Lipski & Abbiss, 2013; White, Rhind & Wells, 2014). Συγκεκριμένα, ο Ihsan και οι συνεργάτες του (2013) σε μελέτη όπου διερεύνησαν τις επιδράσεις της εμβύθισης σε κρύο νερό (CWI) στην αποκατάσταση, διαπίστωσαν ότι η έκθεση του δέρματος στο κρύο μειώνει την αγγειακή διάχυση, και κατ' επέκταση τη μεταβολική δραστηριότητα των ασκούμενων μυών. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή κρύου, έπειτα από μυϊκή βλάβη, στον ασκούμενο μυ επιβραδύνει τις φλεγμονώδεις διεργασίες, και κατά συνέπεια και τη διαδικασία αποκατάστασης. Επιπλέον με ετούτο, στην έρευνα του White και των συνεργατών του (2014), οι οποίοι εξέτασαν τις επιδράσεις διαφορετικών πρωτοκόλλων CWI στη φλεγμονώδη απόκριση και λειτουργικότητα των μυών, υπέδειξαν ότι έπειτα από πρωτόκολλα εμβύθισης σε κρύο νερό μεγάλης διάρκειας επιδεινώνεται η συγκέντρωση κυτταροκινών στην κυκλοφορία. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, ο Drinkwater σε άρθρο του (2008) υποστηρίζει ότι η τοπική εφαρμογή κρύου επιβραδύνει τις ενζυμικές διεργασίες και μειώνει την νευρική αγωγιμότητα, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε μειωμένο ρυθμό

ανάπτυξης της μυϊκής δύναμης. Ακόμη, ο Fuchs και οι συνεργάτες του (2020), σε έρευνά τους για την εμβύθιση σε κρύο νερό ως μεθόδου αποκατάστασης έπειτα από άσκηση με αντιστάσεις (RET), διαπίστωσαν ότι η τεχνική ετούτη μειώνει την πρωτεϊνοσύνθεση, υποδεικνύοντας ότι η μακροχρόνια χρήση αυτής για αποκατάσταση ενδέχεται να επηρεάζει την άλιπη σωματική μάζα. Επίσης, στην ανασκόπηση του Broatch και των συνεργατών του (2018) υπογραμμίζεται ότι η εμβύθιση σε κρύο νερό μειώνει μακροπρόθεσμα τις προσαρμογές της άσκησης.

Επομένως, η έλλειψη επαρκούς αποτελεσματικότητας των ποικίλων παρεμβάσεων που έχουν εξεταστεί έως τώρα για τη μείωση των επιβλαβών συνεπειών από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη έχει οδηγήσει στην περαιτέρω εξέταση της θερμοθεραπείας (HT) στην αποκατάσταση από αυτή. Ως εκ τούτου, ευρήματα πρόσφατων ερευνών έχουν δείξει ότι η θερμοθεραπεία πιθανόν να είναι αποδοτικότερη μέθοδος αποκατάστασης σε σχέση με την κρυοθεραπεία. Πιο συγκεκριμένα, ο Hassan και οι συνεργάτες του (2011) σε μελέτη όπου σύγκριναν πρωτόκολλα εμβύθισης διαφορετικών θερμοκρασιών (HWI: 38°C για 30' vs CWI: 20°C για 30' vs CON) 15 λεπτά έπειτα από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη, έδειξαν ότι η εμβύθιση του ασκούμενου άκρου σε ζεστό νερό μείωσε τους στρεσογόνους δείκτες, με την πτώση των επιπέδων CK και Mb, ενώ η εμβύθιση αυτού σε κρύο νερό οδήγησε σε αύξηση αυτών. Ακόμη, στις μελέτες της Shibaguchi και των συνεργατών της (2016) και της Kojima και των συνεργατών της

(2007), η εφαρμογή θερμότητας έπειτα από πρόκληση μυϊκής βλάβης σε αρουραίους, επιτάχυνε τις φλεγμονώδεις διεργασίες και οδήγησε σε αύξηση του αριθμού των δορυφορικών κυττάρων, ενισχύοντας με τον τρόπο ετούτο την αποκατάσταση αυτής. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, η Tsuboshima και οι συνεργάτες της (2020), υπέδειξαν τις αναλγητικές επιδράσεις της θερμοθεραπείας έναντι της κρυοθεραπείας, σε μελέτη όπου σύγκριναν τις δύο αυτές μεθόδους έπειτα από πρόκληση μυϊκής βλάβης σε αρουραίους. Ωστόσο, παρόλα τα ανωτέρω θετικά επιστημονικά ευρήματα για την εφαρμογή θερμότητας στην αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη, ο Jayaraman και οι συνεργάτες του (2004) διαπίστωσαν ότι η τοπική εφαρμογή θερμότητας από μόνη της δεν ενίσχυσε την αποκατάσταση των ασκούμενων μυών έπειτα από την εκτέλεση άσκησης που προκαλεί μυϊκή βλάβη, αφού δε μείωσε τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο, ούτε την πτώση της μυϊκής δύναμης, ούτε το οίδημα. Ακόμη, στη μελέτη του Vaile και των συνεργατών του (2008), η εμβύθιση σε κρύο (CWI) και σε νερό κρύο εναλλασσόμενο με ζεστό (CWT) φάνηκαν αποτελεσματικότερες για την ανάκτηση ισομετρικής δύναμης και για την μείωση του οιδήματος στην πάσχουσα περιοχή. Αντίθετα, η HWI ήταν αποτελεσματικότερη μόνο στην ανάκαμψη της ισομετρικής δύναμης και μόνο συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου.

Στο σημείο ετούτο, είναι σημαντικό να αναφερθεί, ακόμη, ότι σημαντικός αριθμός μελετών έχουν εξετάσει μια άλλη μορφή θερμικής θεραπείας για τη διαχείριση χρόνιων πόνων, αλλά και σοβαρών παθήσεων.

Αυτή αφορά στην τοπική εφαρμογή καψαϊκίνης στο δέρμα. Οι μέθοδοι εφαρμογής αυτής της μορφής θερμοθεραπείας μπορεί να γίνει είτε με απαλοιφή γέλης είτε με τοποθέτηση έμπλαστρου με καψαϊκίνη στην πάσχουσα περιοχή. Αυτό δημιουργεί αρχικά δυσφορία, πόνο, αίσθηση καύσου, ερύθημα ή κνησμό στο σημείο εφαρμογής (Basith, Hong & Choi, 2016; Fattori, Hohmann, Rossaneis, Pinho-Ribeiro & Verri, 2016; Johnson, 2007). Έπειτα, ωστόσο, η καψαϊκίνη μέσω της αλληλεπίδρασής της με φυσιολογικούς μηχανισμούς, οδηγεί σε αγγειακές, μεταβολικές και νευρωνικές αλλαγές (Akhtar et al., 2017), ασκώντας αναλγητική και αντιφλεγμονώδη δράση (Basith et al., 2016).

Συγκεκριμένα, η εφαρμογή καψαϊκίνης στο δέρμα, ως μια μορφή θερμοθεραπείας, συντελεί στην αύξηση της διαπερατότητας του δέρματος (Johnson, 2007). Το γεγονός ετούτο οδηγεί σε αύξηση της εισροής Ca^{2+} , σε αυξημένη έκφραση συνθετάσης ενδοθηλιακού νιτρικού οξειδίου (eNOS), καθώς και πρωτεϊνών UCP2, οι οποίες δρουν ως αντιοξειδωτικές (Akhtar et al., 2017). Η ενίσχυση, λοιπόν, αντιφλεγμονωδών παραγόντων καθιστά την αντιφλεγμονώδη δράση της καψαϊκίνης. Επιπλέον με ετούτο, η καψαϊκίνη αυξάνει το μεταβολισμό (Basith et al., 2016; Johnson, 2007). Αυτό συνεπάγεται την αύξηση των φλεγμονωδών διεργασιών, συμβάλλοντας πιθανόν στην ταχύτερη επούλωση της ασηκσιογενούς βλάβης. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, λόγω της αυξημένης εισροής Ca^{2+} ενεργοποιούνται πρωτεϊνικά ένζυμα (όπως η καλσινευρίνη), και αναστέλλονται οι

πρωτεΐνες Piezo. Οι τελευταίες αποκρίνονται στο μηχανικό τέντωμα. Η διαδικασία ετούτη οδηγεί σε εκφυλισμό επιδερμικών αισθητηριακών νευρικών ινών. Τα παραπάνω συμβάντα οδηγούν σε αναστολή της λειτουργίας του καναλιού δυναμικού παροδικού υποδοχέα TRPV1 (Akhtar et al., 2017; Fattori et al., 2016; Johnson, 2007). Ο υποδοχέας βανιλοειδούς είναι μορφοτροπέας πόνου. Αυτό σημαίνει ότι η καψαϊκίνη δρα ως αγωνιστής σε αυτόν, οδηγώντας στην απευαισθητοποίησή του (Knotkova, Pappagallo & Szallasi, 2008; Wong & Gavva, 2009). Το γεγονός ετούτο, συνεπάγεται ανακούφιση από τον πόνο. Συνεπώς, και σύμφωνα με μελέτες, η καψαϊκίνη, εκτός από αντιφλεγμονώδη, έχει και αναλγητική δράση (Basith et al., 2016; Fattori et al., 2016; Johnson, 2007).

Ως εκ τούτου, λοιπόν, και σύμφωνα με τον Fattori και τους συνεργάτες του (2016), η καψαϊκίνη επιφέρει μεγαλύτερου βαθμού αναλγησία σε φλεγμονώδη συνθήκη από αυτή που θα είχε χωρίς την ύπαρξη φλεγμονής. Από τα ανωτέρω στοιχεία φαίνεται, επομένως, ότι η τοπική εφαρμογή καψαϊκίνης στο δέρμα, αμέσως μετά την εκτέλεση EIMD, μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερη αποκατάσταση της ασκησιογενούς βλάβης.

Συνεπώς, η θερμοθεραπεία παρουσιάζει, όπως περιγράφεται παραπάνω, πολλά πλεονεκτήματα. Εν τούτοις, απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου, για την επίτευξη τόσο ταχύτερης αποκατάστασης ύστερα από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη, όσο και

ενίσχυσης της επακόλουθης απόδοσης.

Πολύ σημαντικό είναι να αναφερθεί, ακόμη, ότι πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις κατά τη χρήση της HT σε ασθενείς με σκλήρυνση κατά πλάκας, κακή κυκλοφορία, τραυματισμούς ωτιαίου μυελού, σακχαρώδη διαβήτη και ρευματοειδή αρθρίτιδα, όπου η θερμότητα μπορεί να προκαλέσει πρόοδο της νόσου, εγκαύματα, λοιμώξεις του δέρματος, ουρογεννητικών, και πνευμονικών συστημάτων, καθώς και αυξημένη φλεγμονή (Halvorson, 1990; Malanga, Yan & Stark, 2015; Nadler, Weingand & Kruse, 2004). Ειδικότερα στην περίπτωση εφαρμογής καψαϊκίνης, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή (Johnson, 2007).

Πάραυτα, τα διαφορούμενα και ελλιπή επιστημονικά δεδομένα δημιουργούν, συνεπώς, την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη για την εύρεση της βέλτιστης στρατηγικής τόσο για την ενίσχυση της αποκατάστασης όσο και της απόδοσης σε επακόλουθη άσκηση.

1.1. Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να προσδιοριστεί εάν η θερμοθεραπεία είναι αποτελεσματική στρατηγική για την επιτάχυνση της αποκατάστασης των σκελετικών μυών, έπειτα από ασκησιογενή βλάβη, και για την ενίσχυση της απόδοσης σε επακόλουθη άσκηση. Επιπρόσθετος κύριος σκοπός ήταν να εξεταστεί η επίδραση της καψαϊκίνης στους δείκτες ασκησιογενούς βλάβης των ασκούμενων μυών.

1.2. Σημαντικότητα της μελέτης

Από τα μέχρι τώρα ερευνητικά αποτελέσματα είναι αμφισβητήσιμη η θετική επίδραση της κρυοθεραπείας στην ενίσχυση της αποκατάστασης, μετά από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη, καθώς και της επακόλουθης απόδοσης. Από την άλλη πλευρά, πρόσφατα προκαταρκτικά ευρήματα δείχνουν ότι η θερμοθεραπεία είναι πιθανόν αποτελεσματική μέθοδος αποκατάστασης. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη για επιπλέον εξέταση της μεθόδου αυτής με κάποιον ευκολοπρόσφορο τρόπο. Η τοπική εφαρμογή καψαϊκίνης στην προκληθείσα ασκησιογενή βλάβη αποτελεί πιθανή εναλλακτική λύση, καθώς η ουσία αυτή διεγείρει τους αισθητήρες θερμότητας του δέρματος. Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω μελέτη για τον προσδιορισμό της βέλτιστης στρατηγικής για την ενίσχυση τόσο της αποκατάστασης όσο και της απόδοσης σε αθλητές υψηλού ή και χαμηλότερου αγωνιστικού επιπέδου.

1.3. Ερευνητικές υποθέσεις

Στην παρούσα μελέτη υποθέσαμε ότι:

1) Η θερμοθεραπεία θα είχε θετικές επιδράσεις στην ενίσχυση της αποκατάστασης έπειτα από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη σε σύγκριση με τη μη εκτέλεση κάποιας μεθόδου αποκατάστασης (εικονική θεραπεία).

2) Η θερμοθεραπεία θα συνέβαλε, ακόμη, στην αναχαίτιση της μειωμένης απόδοσης σε επακόλουθη άσκηση.

1.4. Οριοθέτηση της έρευνας

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, σε φυσιολογικές περιβαλλοντικές συνθήκες (22, 45% RH). Στην έρευνα συμμετείχαν φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, ηλικίας 19 έως 32 ετών.

1.5. Περιορισμοί της έρευνας

Στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων λήφθηκε υπόψη ότι :

1) Στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν άνδρες φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού. Συνεπώς, δεν υπάρχει εικόνα των επιδράσεων σε γυναίκες, αλλά και σε αθλητές υψηλότερου επιπέδου.

2) Τα αποτελέσματα της μελέτης δεν αφορούν νεότερους ή γηραιότερους φυσιολογικά δραστήριους άνδρες. Ενδεχομένως, η πραγματοποίηση της έρευνας σε μεγαλύτερο ηλικιακό εύρος ατόμων θα ισχυροποιούσε τα συγκεκριμένα ερευνητικά αποτελέσματα.

3) Εξαιτίας της φύσης της θεραπείας, με τη χρήση καψαϊκινοειδούς, καθίσταται αδύνατος ο πειραματικός σχεδιασμός να ήταν ανίδεος.

1.6. Λειτουργικοί ορισμοί

Μενθόλη : Η μενθόλη είναι μια ένωση φυτικής προέλευσης (μέντα) που διεγείρει τους ψυχρούς υποδοχείς και, όταν εφαρμόζεται στην επιδερμίδα και σε βλεννογόνες επιφάνειες, ασκεί μια αίσθηση ψύξης. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της απόδοσης όταν η

άσκηση πραγματοποιείται σε ζεστό κλίμα (Flood et al., 2018).

Καψαϊκίνη : Η καψαϊκίνη είναι μια ουσία που περιέχεται στα φυτά της οικογένειας των Solanaceae, του γένους capsicum. Πρόκειται για ιθαγενή φυτά της κεντρικής Αμερικής και είναι γνωστά εδώ και 6000 χρόνια με το όνομα chili. Είναι ένας εξαιρετικά εκλεκτικός αγωνιστής του υποδοχέα βανιλλοειδών τύπου 1 (TRPV 1) ο οποίος αποτελεί ένα σημαντικό μετατροπέα των σημάτων του πόνου και παρουσιάζει υψηλή έκφραση στους αλγοϋποδοχείς. Η έκθεση των αλγοϋποδοχέων σε υψηλές δόσεις καψαϊκίνης οδηγεί σε αναστολή της λειτουργικότητάς τους, με μείωση της πυκνότητας των επιδερμικών νευρικών ινών.

Το δερματικό επίθεμα καψαϊκίνης επιτρέπει την ταχεία εφαρμογή υψηλής δόσης καψαϊκίνης σε υπερδραστήριους υποδοχείς πόνου, προκαλώντας παρατεταμένη αναστολή της λειτουργικότητάς των αλγοϋποδοχέων. Η πυκνότητα των επιδερμικών νευρικών ινών μειώνεται σημαντικά μετά από μία μεμονωμένη εφαρμογή του δερματικού επιθέματος καψαϊκίνης. Ωστόσο τα αποτελέσματα είναι αναστρέψιμα, με πλήρη επαναφορά της πυκνότητας των επιδερμικών νευρικών ινών σε διάστημα από 12 – 24 εβδομάδες μετά από την εφαρμογή.

Γέλη Ψύξης:

Η σύνθεση και ο τρόπος δράσης του συντελεί στην αποτελεσματική

ανακούφιση από πόνους μυών και αρθρώσεων βασιζόμενο στις ευεργετικές ιδιότητες της Κρυοθεραπείας, η οποία είναι γνωστή και ως «Η ψυχρή μέθοδος», δημοφιλή πρακτική για την ανακούφιση από πόνους. Δια της μεθόδου αυτής ενεργοποιούνται οι TRPM8 υποδοχείς, γνωστοί και ως υποδοχείς του κρύου. Οι υποδοχείς αυτοί είναι πρωτεΐνες που υπάρχουν στις νευρικές ίνες που διατρέχουν το δέρμα και άλλες περιοχές του σώματος. Όταν αυτοί οι υποδοχείς ενεργοποιούνται έχουν ως αποτέλεσμα :

Την ανακούφιση από τους πόνους

DOMS (Delayed - Onset - Muscle - Soreness) , Μυαλγίες, πόνο στις αρθρώσεις, Πόνους μέσης, πλάτης, ώμου, αυχένα, γόνατος, γοφών, αγκώνα & αστράγαλου, αρθρίτιδας & τενοντίτιδας, Πόνους από τραυματισμούς κατά τη διάρκεια σπορ και άθλησης, Επώδυνους μύες & συνδέσμους, πόνο από θλάση, διάστρεμμα, τράβηγμα, κάκωση- Την δημιουργία αίσθησης ψύχους στο δέρμα λόγω μείωσης της θερμοκρασίας και της ροής του αίματος στην περιοχή που εφαρμόζεται.

Τα παραπάνω το καθιστούν ιδανικό, επομένως, μετά την έντονη άσκηση.

Η ψυκτική γέλη ουσιαστικά δρα όπως ο πάγος, χωρίς όμως να παρουσιάζει τα δυσάρεστα αποτελέσματά του όπως μούδιασμα, δυσκαμψία, ερεθισμό δέρματος, κίνδυνο

κρυοπαγήματος και δεν απαιτεί ακινησία.

Η δράση του έχει αποδειχθεί σε μία σειρά κλινικών μελετών με αποτέλεσμα να το εμπιστεύονται και να το συνιστούν ορθοπεδικοί, ρευματολόγοι, φυσίατροι, φυσικοθεραπευτές & χειροπράκτες σε όλο τον κόσμο.

Διατίθεται σε 3 μορφές (γέλη, ρολό, σπρέι).

(<http://www.biofreeze.gr/clinicaltrials.php>)

SALONPAS HOT (επίθεμα καψαϊκίνης)

Ποιοτική & Ποσοτική Σύνθεση κάθε έμπλαστρο Salonpas Hot, μεγέθους 13cm x 18cm, περιέχει: capsicum extract 100mg (capsaicin 0,9-1,1%)

Φαρμακοτεχνική μορφή: Έμπλαστρο.

Κλινικά στοιχεία:

Θεραπευτικές ενδείξεις: Ενδείκνυται για την προσωρινή ανακούφιση από ήπιους πόνους των μυών και των αρθρώσεων που οφείλονται σε οσφυαλγία, αρθρίτιδα, μώλωπες και διαστρέμματα.

Δοσολογία & Τρόπος χορήγησης: Για δερματική χρήση.

Ενήλικες και παιδιά άνω των 12 ετών : Εφαρμόστε το έμπλαστρο, αφού απομακρύνετε το προστατευτικό φύλλο, στην πάσχουσα περιοχή του σώματός σας. Το δέρμα πρέπει να είναι υγιές, καθαρό και στεγνό. Το έμπλαστρο πρέπει να παραμείνει τουλάχιστον 4 ώρες και να αφαιρείται μετά την πάροδο 8 ωρών. Υπολείμματα του έμπλαστρου απομακρύνονται με φυτικό έλαιο

ή κρέμα ενυδάτωσης. Πριν την τοποθέτηση νέου εμπλάστρου στην ίδια περιοχή, πρέπει να παρέλθει ένα χρονικό διάστημα ώστε να μην υπάρχει ερύθημα και να έχει επανέλθει το δέρμα στην φυσιολογική όψη. Εφαρμόζονται έμπλαστρα στην πάσχουσα περιοχή μέχρι να υποχωρήσει ο πόνος, αλλά όχι για διάστημα μεγαλύτερο των 2 εβδομάδων. Αν τα συμπτώματα επιμένουν συμβουλευθείτε το γιατρό σας.

Παιδιά μικρότερα των 12 ετών: Η χρήση του προϊόντος αυτού δεν συνιστάται σε παιδιά μικρότερα των 12 ετών, επειδή δεν υπάρχει εμπειρία χρήσης.

Αντενδείξεις: Η χρήση του έμπλαστρου αντενδείκνυται: -σε άτομα με υπερευαισθησία σε καψαϊκινιοειδή ή τα έκδοχα του εμπλάστρου - σε ερεθισμένο δέρμα ή δέρμα που φέρει πληγές, εξανθήματα ή τραύματα.

Ιδιαίτερες προειδοποιήσεις & προφυλάξεις κατά τη χρήση: Να χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες και μόνο για εξωτερική χρήση. Να αποφεύγεται η επαφή του εμπλάστρου κοντά στα μάτια, στους βλεννογόνους, σε εξανθήματα, πληγές ή τραύματα. Άτομα με ευαίσθητο δέρμα πρέπει πρώτα να τοποθετήσουν δοκιμαστικά ένα μικρό κομμάτι του εμπλάστρου στην εσωτερική πλευρά του βραχίονα για να διαπιστώσουν ότι δεν προκαλεί εξάνθημα, έντονη ερυθρότητα ή κνησμό. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται μαζί με θερμαινόμενο επίθεμα ούτε να εφαρμόζεται πρόσθετη θερμότητα. Αν προκληθεί υπερβολικά έντονη θερμότητα να διακοπεί η θεραπεία. Να αποφεύγεται το ξύσιμο στην περιοχή

εφαρμογής του εμπλάστρου για να μην τραυματίζεται το δέρμα. Το έμπλαστρο πρέπει να απομακρύνεται τουλάχιστον 1 ώρα πριν το μπάνιο και να μη χρησιμοποιείται αμέσως μετά το μπάνιο. Εάν τα συμπτώματα επιμένουν ή επιδεινώνονται ή υποχωρούν αλλά επανεμφανίζονται σε λίγες ημέρες ή αν ερεθιστεί το δέρμα σας, πρέπει να διακόψετε τη χρήση του προϊόντος και να συμβουλευθείτε το γιατρό σας. Κρατήστε το έμπλαστρο μακριά από τα παιδιά και φροντίστε να μην έρθει καθόλου σε επαφή με το στόμα. Σε αντίθετη περίπτωση επικοινωνήστε αμέσως με το γιατρό σας.

Αλληλεπιδράσεις με άλλα φάρμακα και άλλες μορφές αλληλεπίδρασης: Προϊόντα που προκαλούν τοπική υπεραιμία ή αναλγησία ή κατά του ερεθισμού μπορεί να δρουν συνεργικά με το έμπλαστρο και δεν πρέπει να εφαρμόζονται στο ίδιο σημείο. Η αλληλεπίδραση με άλλα φάρμακα που εφαρμόζονται στο ίδιο σημείο μπορεί να συμβεί ακόμα και μερικές ώρες μετά την απομάκρυνση του εμπλάστρου.

Κύηση και γαλουχία: Όπως με όλα τα φάρμακα, εάν είστε έγκυος ή θηλάζετε, συμβουλευθείτε το γιατρό σας πριν το χρησιμοποιήσετε, γιατί δεν υπάρχουν στοιχεία από τη χρήση του εμπλάστρου στις περιπτώσεις αυτές.

Επίδραση στην ικανότητα οδήγησης και χειρισμού μηχανημάτων: Δεν έχει αναφερθεί.

Ανεπιθύμητες ενέργειες: Η δραστική ουσία του προϊόντος συνήθως δημιουργεί υπεραιμία με ερύθημα ως μέρος της φυσιολογικής φαρμακολογικής δράσης, που

υποχωρούν κατά κανόνα σε λίγο χρονικό διάστημα μετά την απομάκρυνση του εμπλάστρου. Ερεθισμός του δέρματος, δερματίτιδα πιθανόν να συμβούν, ενώ αντιδράσεις υπερευαισθησίας του δέρματος π.χ. κνίδωση ή δημιουργία φλυκταινών μπορεί να συμβούν σε σπάνιες περιπτώσεις (<1/10000). Επίσης κατά τις πρώτες ημέρες θεραπείας μπορεί να έχετε υπερβολικό αίσθημα καύσου (με ή χωρίς τσούξιμο και κνησμό). Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η θεραπεία πρέπει να διακόπτεται.

Υπερδοσολογία: Είναι πρακτικά απίθανη η υπερδοσολογία, με το έμπλαστρο αυτό.

Φαρμακολογικές Ιδιότητες

Φαρμακοδυναμικές ιδιότητες:
Φαρμακοθεραπευτική ομάδα:
Σκευάσματα καψικού και όμοιοι
θεραπευτικοί παράγοντες ATC Code:
M02ABH καψαϊκίνη είναι το κύριο καυστικό συστατικό των καρπών του φυτού καψικόν (καυτερή πιπεριά). Ο ακριβής μηχανισμός δράσης δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως. Όταν η καψαϊκίνη εφαρμόζεται τοπικά προκαλεί τοπικό ερεθισμό που εκδηλώνεται με συμπτώματα όπως το ερύθημα και το αίσθημα καύσου με ή χωρίς κνησμό. Το γεγονός αυτό γενικά αποδίδεται στη δημιουργία νευρογενούς φλεγμονώδους αντίδρασης, λόγω της απελευθέρωσης της ουσίας P, ενός νευροδιαβιβαστή. Κλινική μελέτη έδειξε, ότι η καψαϊκίνη μπορεί να προκαλέσει ερύθημα και αρχικό αίσθημα θερμότητας, μερικές φορές σε συνδυασμό με κνησμό. Η δεύτερη φάση της δράσης της καψαϊκίνης συνδέεται με την απευαισθητοποίηση των αισθητικών νεύρων του άλγους, η οποία μπορεί να έχει

διάρκεια από ώρες μέχρι εβδομάδες. Η απογύμνωση των νευρώνων από την ουσία P, μετά από επαναλαμβανόμενη χρήση, έχει ως αποτέλεσμα τη μακράς διάρκειας έλλειψη αισθητικότητας στον καύσο και το άλγος.

Φαρμακοκινητικές ιδιότητες: Σε in vitro μελέτες ελέγχου της απελευθέρωσης της δραστικής ουσίας αποδείχτηκε ότι η ποσότητα της καψαϊκίνης που απελευθερώνεται κατά την εφαρμογή του εμπλάστρου για διάρκεια μέχρι 8 ώρες (περίπου το 35% της περιεκτικότητας της καψαϊκίνης) είναι ικανή να φέρει αναλγητικά αποτελέσματα σε κλινικές και προ-κλινικές μελέτες. Στοιχεία από μελέτες σε ζώα δείχνουν συστηματική βιοδιαθεσιμότητα της τοπικά εφαρμόσιμης καψαϊκίνης της τάξεως 27 έως 34%. Ο βαθμός απορρόφησης της καψαϊκίνης διά μέσου του δέρματος είναι σύμφωνος με στοιχεία δημοσιευμένα στη βιβλιογραφία για σκευάσματα που εφαρμόζονται τοπικά. In vitro μελέτες έδειξαν, ότι η καψαϊκίνη απορροφάται μέσω του δέρματος. Ο βαθμός απορρόφησης σε δέρμα ποντικού κυμάνθηκε από 7 μέχρι 11 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$. Η απορροφηθείσα καψαϊκίνη μεταβολίζεται κυρίως στο ήπαρ και αποβάλλεται με τη μορφή μεταβολιτών στα ούρα και κόπρανα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Τις τελευταίες δεκαετίες πλήθος μελετών έχουν εξετάσει διάφορες παρεμβάσεις αποκατάστασης από EIMD, με στόχο να επιταχύνουν τη διαδικασία αποκατάστασης και να ενισχύσουν την απόδοση σε επακόλουθη περίοδο άσκησης. Η κατανόηση των πλεονεκτημάτων κάθε παρέμβασης, όπως έχει προαναφερθεί, απαιτεί γνώση των υποκείμενων επιβλαβών μηχανισμών, των παθοφυσιολογικών διαδικασιών, της αναμενόμενης φυσιολογικής αλλά και ατομικής στην εκάστοτε παρέμβαση απόκρισης (Halvorson, 1990; Heiss, Lutter, Freiwald, Hoppe, Grim, Poettgen & Hotfiel, 2019; Hotfiel, Freiward, Hoppe, Lutter, Forst, Grim & Heiss, 2018). Επιπρόσθετα, οι στρατηγικές αποκατάστασης θα πρέπει να επικεντρώνονται σε διάφορες πτυχές, συμπεριλαμβανομένης τόσο της πρόληψης όσο και της θεραπείας από μυϊκή βλάβη. Συνεπώς, ο σχεδιασμός ενός ιδανικού καθεστώτος αποκατάστασης μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στον αγωνιστικό αθλητισμό (Heiss et al., 2019; Hotfiel et al., 2018). Στο πρώτο κεφάλαιο της ανασκόπησης αυτής γίνεται μία αναφορά των χαρακτηριστικών της έκκεντρης άσκησης, των παραγόντων που επηρεάζουν την εμφάνιση και το μέγεθος της ασκησιογενούς βλάβης, αλλά και των κλινικών συμπτωμάτων αυτής, καθώς της προσπάθειας για την αντιμετώπισή της. Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κρυοθεραπεία ως μέθοδος που βρίσκει όλο και μεγαλύτερη απήχηση στο χώρο του αθλητισμού για την

αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη, αναφέρονται θετικά επιστημονικά ευρήματα, αλλά και μελέτες που καθιστούν ανεπαρκή τη συγκεκριμένη μέθοδο. Για το λόγο ετούτο, θα γίνει λόγος έπειτα για την εξέταση της θερμοθεραπείας ως αποδοτικότερης στρατηγικής για την ταχύτερη αποκατάσταση από EIMD, όπως είναι η έκκεντρη άσκηση.

2.1. Έκκεντρη άσκηση και μυϊκή βλάβη

Η εκτέλεση πλειομετρικών ασκήσεων αποτελεί σημαντικό συστατικό του προπονητικού προγράμματος των αθλητών για την αύξηση της απόδοσή τους (Balnave & Thompson, 1993). Η συγκεκριμένη μορφή άσκησης αποτελείται από ένα γρήγορο κύκλο επιμήκυνσης-βράχυνσης. Κατά την ομόκεντρη φάση παράγεται μέγιστη δύναμη και ταχύτητα, στοιχεία τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την εκρηκτικότητα των αθλητών. Της ομόκεντρης φάσης προηγείται, ωστόσο, η έκκεντρη φάση επιβράδυνσης - κατά την προσγείωση - που τεντώνονται μηχανικά οι άξονες τένοντα και μυών, συνδετικού ιστού, καθώς και οι εγκάρσιες γέφυρες ακτίνης-μυοσίνης. Συνεπώς, η έκκεντρη σύσπαση, κατά την εκτέλεση αυτής της μορφής άσκησης, ενδέχεται να οδηγήσει σε μυϊκή βλάβη (Bridgeman, McGuigan, Gill & Dulson, 2017; Chen et al., 2023; Dias, Weber, Padoin, Andrello, Jussiani & de Paula Ramos, 2021).

Πάραυτα, η έκκεντρη μυϊκή σύσπαση, δηλαδή ο συνδυασμός επιμήκυνσης και υπερφόρτωσης του μυός, είναι αναπόσπαστο μέρος κίνησης. Πολλές από τις καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων αποτελούνται από έκκεντρη δράση, όπως συμβαίνει με το περπάτημα σε

κατηφόρα, το κατέβασμα ενός αλτήρα ή τη φάση προσγείωσης σε ένα άλμα (Douglas, Pearson, Ross & McGuigan, 2017; Paschalis et al., 2005; Vogt & Hoppeler, 2014). Ακόμη, εξαιτίας των κυτταρικών, μηχανικών και νευρικών προσαρμογών στην έκκεντρη άσκηση, καθώς και του ότι παράγει 20%-60% περισσότερη δύναμη με χαμηλότερο ενεργειακό κόστος και μικρότερη καρδιαγγειακή καταπόνηση (Douglas et al., 2017; Hedayatpour & Falla, 2015; Lastayo, Reich, Urquhart, Hoppeler & Lindstedt, 1999), πέρα από τις απλές καθημερινές δραστηριότητες, εφαρμόζεται από υγιή δραστήρια άτομα, ελίτ αθλητές, αλλά και από ασθενείς με νευρομυϊκούς τραυματισμούς και χρόνιες νόσους τόσο για αύξηση της μυϊκής υπερτροφίας όσο και για αποκατάσταση (Brusco et al., 2018; Ellis et al., 2015; Franchi, Reeves & Narici, 2017; Hody et al., 2019; Julian et al., 2019; Suarez-Arrones et al., 2018; Theodorou et al., 2013).

Η έκκεντρη άσκηση δεν είναι, ωστόσο, μόνο μία θεραπευτική παρέμβαση που αυξάνει την υπερτροφία και γενικά τη λειτουργικότητα των μυών (Alkahtani et al., 2020; Balnave & Thompson, 1993; Lepley, Lepley, Onate & Grooms, 2017; Schoenfeld, 2012). Πλήθος μελετών έχουν δείξει ότι μη συνηθισμένη ή παρατεταμένη έκκεντρη άσκηση των σκελετικών μυών μπορεί να προκαλέσει, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μυϊκή βλάβη (Allen, 2001; Brown, Child, Day & Donnelly, 1997; Chen, Chen, Cheng, Chou & Nosaka, 2021; Cook et al., 2015; Fochi et al., 2016; Hyldah et al., 2014; Kim et al., 2019; Newham, Jones & Clarkson, 1987;

Paschalis et al., 2005; Rinard, Clarkson, Smith & Grossman, 2000; Teague & Schwane, 1995). Λόγω διαφοροποιήσεων των μορφολογικών και αρχιτεκτονικών χαρακτηριστικών των μυϊκών ινών, η έκκεντρη άσκηση έχει μη ομοιόμορφη επίδραση στον ασκούμενο μυ. Οι διαφοροποιήσεις αυτές είναι υπεύθυνες για τη μεταβλητότητα της κατανομής του φορτίου, προκαλώντας ανισορροπίες της παραγόμενης μυϊκής δύναμης, κι αυξάνοντας, συνεπώς, τον κίνδυνο πρόκλησης ασκησιογενούς βλάβης (Hedayatpour & Falla, 2012; Jones, Newham, Round & Tolfree, 1986). Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της έκκεντρης σύσπασης, ορισμένα σαρκομέρια είναι ανθεκτικότερα στην επιμήκυνση από άλλα. Έτσι, ανάλογα με την αναλογία μήκους-τάσης, τα λιγότερο ανθεκτικά σαρκομέρια, γίνονται ασθενέστερα έως ότου υπάρξει μικρή ή καθόλου επικάλυψη μεταξύ των μυονημάτων. Σε επαναλαμβανόμενες έκκεντρες συσπάσεις, επιμηκύνονται σταδιακά πρώτα τα αδύναμα κι έπειτα τα ανθεκτικότερα σαρκομέρια. Κατά τη φάση χαλάρωσης των μυών, τα προηγούμενως υπερβολικά τεντωμένα μυονημάτια ενδέχεται να μην επανασυνδεθούν. Το γεγονός ετούτο, συνεπάγεται τη διακοπή των σαρκομέριων. Αυτή η δομική διαταραχή ενδέχεται να εξαπλωθεί σε γειτονικές περιοχές του ασκούμενου μυός, και τελικά μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη στις μεμβράνες του σαρκοπλασματικού δικτύου και των εγκάρσιων σωληνάρων. Ταυτόχρονα, διακόπτεται η σύζευξη διέγερσης-συστολής και τα ιόντα Ca^{2+} κινούνται ελεύθερα στο σαρκόπλασμα, ενεργοποιώντας τις πρωτεολυτικές οδούς για την αποδόμηση και αναδιαμόρφωση των

κατεστραμμένων μυϊκών ινών (Allen, 2001; Kuipers et al., 1994; Peake, Nosaka & Suzuki, 2005; Tee, Bosch & Lambert, 2007).

Παρόλα αυτά, η εμφάνιση και το μέγεθος της ασκησιογενούς βλάβης εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Αρχικά, μεγάλος αριθμός μελετών συμφωνεί ότι ο τύπος της άσκησης, και πιο συγκεκριμένα ο τύπος της μυϊκής δράσης, παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρόκληση μυϊκής βλάβης (Byrne & Eston, 2002; Linnamo, Bottas, & Komi, 2000; MacIntyre, Reid & McKenzie, 1995). Έτσι, η έκκεντρη άσκηση προκαλεί μεγαλύτερη μυϊκή βλάβη συγκριτικά με την ισομετρική, και η οποία προκαλεί μεγαλύτερη σε σχέση με αντίστοιχη ομόκεντρη (Clarkson, Byrnes, McCormick, Turcotte & White, 1986). Επιπροσθέτως, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η φάση κατά την οποία διεκπεραιώνεται η εκτέλεση τέτοιων ασκήσεων κατά τη διάρκεια του ετήσιου προπονητικού πλάνου, το προπονητικό επίπεδο δηλαδή των αθλητών, τη φυσική τους κατάσταση, και ειδικότερα η προηγούμενη εμπειρία εκτέλεσης αυτής της μορφής άσκησης (Cleak & Eston, 1992; Goodall et al., 2017; Hody et al., 2019; Penailillo, Blazeovich & Nosaka, 2015). Επιπλέον, ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει την εμφάνιση και το μέγεθος της ασκησιογενούς βλάβης είναι η ασκούμενη μυϊκή ομάδα (MacIntyre et al., 1995; Ye, Miller, Jeon, Song & West, 2021). Για παράδειγμα, σύμφωνα με τη μελέτη του Πασχάλη και των συνεργατών του (2010), οι μύες των άνω άκρων είναι περισσότερο ευαίσθητοι στην μυϊκή βλάβη συγκριτικά με τους μύες των κάτω άκρων. Επίσης, οι μεταβλητές της προπόνησης μπορούν

να καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό την εμφάνιση μυϊκής βλάβης. Αυτές αφορούν την ένταση της άσκησης (Chapman, Newton, Sacco & Nosaka, 2006; Cheung, Hume & Maxwell, 2003), την ταχύτητα κίνησης, αλλά και το συνολικό όγκο ή τη διάρκεια, καθώς και τη συχνότητα εκτέλεσης της άσκησης (Cleak & Eston, 1992; Uchida, Nosaka, Ugrinowitsch, Yamashita, Martins, Moriscot & Aoki, 2009). Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, μια ακόμη σημαντική προπονητική παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει το μέγεθος της μυϊκής βλάβης είναι το μήκος του μυός στο οποίο εκτελείται η EIMD, αλλά και το συνολικό εύρος κίνησης κατά την εκτέλεση αυτής. Αυτό σημαίνει ότι το μέγεθος της βλάβης του ασκούμενου μυός είναι μεγαλύτερο όταν η άσκηση εκτελείται σε μεγάλο μήκος μυός, και με μεγάλο συνολικό εύρος κίνησης, σε σύγκριση με το εάν η άσκηση εκτελείτο σε μικρότερο μήκος μυός ή με μικρότερο εύρος κίνησης (Attia, Dhahbi, Chaouachi, Padulo, Wong & Chamari, 2017; Baroni, Pompermayer, Cini, Peruzzolo, Radaelli, Brusco & Pinto, 2017; Baumert et al., 2021; Child, Saxton & Donnelly, 1998; Fochi et al., 2016; Miyamoto, Hirata, Miyamoto-Mikami, Yasuda & Kanehisa, 2018; Schoenfeld & Grgic, 2020). Ακόμη, ψυχολογικές μεταβλητές μπορούν να επηρεάσουν την περιγραφή της αίσθησης του πόνου (MacIntyre et al., 1995).

Η μυϊκή βλάβη, λοιπόν, που προκαλείται από άσκηση, εκδηλώνεται με μια σειρά κλινικών συμπτωμάτων. Αυτά είναι η πτώση της ικανότητας παραγωγής μέγιστης εκούσιας συστολής, η εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου, η μείωση του εύρους κίνησης, το

οίδημα, και κατά συνέπεια η παρατεταμένη μείωση της λειτουργικότητας των ασκούμενων μυών (Allen, 2001; Cook et al., 2015; Fochi et al., 2016; Goodall et al., 2017; Hedeyatpour & Falla, 2015; Kim et al., 2019, 2020; Paschalis et al., 2005). Από αυτά άλλα μπορούν να παρατηρηθούν αμέσως μετά την άσκηση, κι άλλα αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου (Cook et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, οι Cleak and Eston (1992) στη μελέτη τους για τα συμπτώματα της έκκεντρης άσκησης, παρατήρησαν ότι η ικανότητα παραγωγής μέγιστης δύναμης εξασθένησε αμέσως μετά το τέλος της άσκησης, και παρέμεινε μειωμένη, ακόμα κι όταν τα υπόλοιπα συμπτώματα της μυϊκής βλάβης είχαν υποχωρήσει. Επιπλέον, σύμφωνα με τα ευρήματα των μελετών της Kim και των συνεργατών της (2019), καθώς και του Yu και των συνεργατών του (2013), διαπιστώθηκε εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου μέσα στο πρώτο 24ωρο από την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης, με ταυτόχρονη μείωση του εύρους κίνησης, ενώ ακολούθησε η εμφάνιση οιδήματος και μυϊκή αδυναμία. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, η έρευνα του Πασχάλη και των συνεργατών του (2005) έδειξε ότι η έναρξη των συμπτωμάτων της MD εμφανίζεται στις 12-24 ώρες μετά την άσκηση, κορυφώνονται μετά από 24-72 ώρες, και εφτά μέρες έπειτα από την εκτέλεση της άσκησης που προκαλεί βλάβη αρχίζουν να υποχωρούν. Τα περισσότερα συμπτώματα, λοιπόν, εξασθενούν μέσα σε λίγες ημέρες, μετά την έκθεση σε επαναλαμβανόμενες μέγιστες έκκεντρες συσπάσεις, ωστόσο, κάποια μπορούν να

παραμείνουν και για αρκετές εβδομάδες (Asp, Daugaard & Richter, 1995). Επιπλέον με τα παραπάνω, τα συμπτώματα της μυϊκής βλάβης, αν και προσωρινά, μπορεί να οδηγήσουν σε έλλειψη προσήλωσης στην προπόνηση, και κατά συνέπεια σε μείωση της αθλητικής απόδοσης, καθώς και των προπονητικών προσαρμογών. (Kim et al., 2020).

Ωστόσο, όταν μια περίοδο άσκησης ακολουθεί δεύτερη περίοδος έκκεντρης άσκησης, οι δείκτες της ασκησιογενούς βλάβης επηρεάζονται λιγότερο σε σύγκριση με την πρώτη περίοδο (π.χ η συγκέντρωση CK είναι σχεδόν δέκα φορές χαμηλότερη συγκριτικά με την πρώτη περίοδο άσκησης). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως “repeated bout effect”. Η επίδραση επαναλαμβανόμενης άσκησης (RBE) συνεπάγεται, λοιπόν, μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της μυϊκής βλάβης από άσκηση (Jeon, Kang & Ye, 2023; Mair et al., 1995; Muanjai, Mickevicius, Kamandulis, Snieckus & Jones, 2019; Vila-Chã, Hassanlouei, Farina & Falla, 2012). Αυτό είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης, διάφορων νευρικών, συνδετικών και κυτταρικών παραγόντων (Gabriel, Kamen & Frost, 2006; Goodall et al., 2017; McHugh, 2003; McHugh, Connolly, Eston & Gleim, 1999; Paschalis et al., 2005). Οι τελευταίοι είναι υπεύθυνοι για την προσαρμοστικότητα των μυών σε επακόλουθες περιόδους άσκησης, και κατά συνέπεια για τη βελτίωση της απόδοσης (Douglas et al., 2017; Mavropalias, Koeda, Barley, Poon, Fisher, Blazeovich & Nosaka, 2020; Nikolaidis, Paschalis, Giakas, Fatouros, Sakellariou, Theodorou & Jamurtas, 2008; Paschalis et al., 2005). Επαναλαμβανόμενες περίοδοι

έκκεντρης άσκησης οδηγούν, λοιπόν, σε μορφολογικές-αρχιτεκτονικές, μηχανικές και νευρικές προσαρμογές. Οι χρόνιες αυτές προσαρμογές, συντελούν, συνεπώς, τόσο στην ελαχιστοποίηση της πτώσης της μυϊκής δύναμης, όσο και στην πρόληψη τραυματισμών σε επακόλουθη έκκεντρη άσκηση. Το γεγονός ετούτο, σημαίνει ότι το RBE έχει προστατευτική επίδραση ενάντια στη μυϊκή βλάβη που προκαλείται από άσκηση (Hody et al., 2019; Jeon et al. 2023; McHugh, 2003; Starbuck & Eston, 2012). Ακόμη, λόγω των προσαρμογών στην έκκεντρη άσκηση, ποικίλα ερευνητικά συμπεράσματα υποδεικνύουν ότι συνδυασμένο πρόγραμμα προπόνησης με έκκεντρη άσκηση προάγει βελτιώσεις στη φυσική κατάσταση, τη μυϊκή δύναμη και την κινητικότητα, καθιστώντας το αποτελεσματική στρατηγική για προπόνηση δύναμης, πρόληψης και αποκατάστασης τραυματισμών και χρόνιων παθήσεων (Ellis et al., 2015; Suarez-Arrones, SaezdeVillarreal, Munez, DiSalvo, Petri, Buccolini & Mendez-Villanueva, 2018; Vogt & Hoppeler, 2014).

Τα πλεονεκτήματα της εκτέλεσης έκκεντρων ασκήσεων σε συνδυασμό με την έλλειψη επάρκειας χρόνου για αποκατάσταση μεταξύ των προπονήσεων ή των αγωνισμάτων των αθλητών υψηλού επιπέδου, έχουν οδηγήσει, όπως ειπώθηκε νωρίτερα, στην εξέταση διαφορετικών στρατηγικών για τη μείωση της ασκησιογενούς βλάβης. Τέτοιες στρατηγικές αφορούν, τη χορήγηση μη στεροειδών αναλγητικών φαρμάκων, συμπληρωμάτων, τη ψυχρή ή θερμική θεραπεία, διατάσεις, τα ενδύματα συμπίεσης, το μασάζ, την ομοιοπαθητική, τη

φυσιοθεραπεία και τη διατροφή (Cheung et al., 2003; Dupuy, Douzi, Theurot, Bosquet & Dugué, 2018; Harty, Cottet, Malloy & Kerksick, 2019; Heiss et al., 2019; Köhne, Ormsbee & McKune, 2016; Rahimi, Shab-Bidar, Mollahosseini & Djafarian, 2017; Rawson, Conti & Miles, 2007; Viitasalo et al., 1995; Xia et al., 2018). Ωστόσο, οι παραπάνω παρεμβάσεις έχουν καταστεί αναποτελεσματικές για το σκοπό αυτό. Αντιθέτως, όσο αναφορά τη φλεγμονώδη διαδικασία, οι προαναφερθείσες θεραπείες, μπορεί και να καθυστερούν τη συνολική αποκατάσταση (Coudreuse, Dupont & Nicol, 2004). Η προσπάθεια, λοιπόν, για εύρεση της βέλτιστης στρατηγικής τόσο για ταχύτερη αποκατάσταση μετά από EIMD, όσο και για ενίσχυση της επακόλουθης απόδοσης συνεχίζεται.

2.2. Εισαγωγή στην κρυοθεραπεία

Η κρυοθεραπεία, είτε με εμβύθιση σε κρύο νερό είτε με εφαρμογή πάγου σε ολόκληρο το σώμα ή μέρος αυτού, χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο από αθλητές υψηλού ή και χαμηλότερου επιπέδου, επιδιώκοντας με αυτόν τον τρόπο να ελαχιστοποιήσουν την εξουθένωση και να επιταχύνουν την μετά την άσκηση αποκατάσταση. Ακόμη, η άμεση αποκατάσταση (ώρες ή μέρες) δίνει τη δυνατότητα στους αθλητές να βελτιώσουν τις αγωνιστικές τους επιδόσεις, να ανεχτούν μεγαλύτερα προπονητικά φορτία ή να ενισχύσουν την προσαρμογή συγκεκριμένου προπονητικού φορτίου (Versey, Halson & Dawson, 2013). Συγκεκριμένα, πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι η εμβύθιση σε κρύο νερό μειώνει τη θερμοκρασία των ιστών και την αιματική ροή,

μειώνοντας τον κίνδυνο υπερθερμίας και τις επιπτώσεις αυτής στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Ακόμη, έχει αποδειχθεί ότι η εμβύθιση σε κρύο νερό μειώνει την καρδιαγγειακή καταπόνηση, απομακρύνει τα συσσωρευμένα μεταβολικά υποπροϊόντα των μυών, μειώνει την ασκησιογενή βλάβη και βελτιώνει τη λειτουργία του αυτόνομου νευρικού συστήματος (Ihsan, Watson & Abbiss, 2016).

2.2.1. Μελέτες για κρυοθεραπεία στην αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη(EIMD)

2.2.1.1. Μελέτες για κρυοθεραπεία με εμβύθιση σε κρύο νερό (CWI)ή κρυοθεραπεία ολόκληρου του σώματος (WBC). Δεν είναι λίγες οι μελέτες που έχουν εξετάσει τις επιδράσεις της κρυοθεραπείας στην αποκατάσταση από EIMD. Συγκεκριμένα, η έρευνα του Furtado και των συνεργατών του (2018) έδειξε ότι η κρυοθεραπεία μπορεί να μειώσει το χρόνο αποκατάστασης των σκελετικών μυών. Η ανασκόπηση, ακόμη, του Banfi και των συνεργατών του (2010) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η κρυοθεραπεία ολόκληρου του σώματος οδηγεί σε μειώσεις προ φλεγμονωδών (IL-2,IL-8) και αυξήσεις αντιφλεγμονωδών (IL-10) κυτταροκινών, αλλά και σε ανακούφιση από το μυϊκό πόνο. Τα ευρήματα ετούτα, συμφωνούν με εκείνα της έρευνας του Nemet και των συνεργατών του (2009), οι οποίοι εξέτασαν την πορεία φλεγμονωδών κυτταροκινών μετά από τοπική εφαρμογή πάγου, συγκριτικά με καμία θεραπεία. Επίσης, τα ευρήματα της μελέτης της De Paula και των συνεργατών της (2018), στην οποία διερευνήσαν τις επιδόσεις εννέα

φυσιολογικά δραστήριων ανδρών σε δοκιμασία χρόνου (TT) 5 χιλιομέτρων έπειτα από 15 λεπτά εμβύθισης σε νερό 15°C, 28°C, και 38°C αντίστοιχα ή παθητικής αποκατάστασης, αφού είχαν εκτελέσει έκκεντρη άσκηση, έδειξαν βέλτιστη απόδοση έπειτα από την εμβύθιση σε νερό 15°C, υποδεικνύοντας βέβαια ότι η ταχύτερη ανάκαμψη της θερμοκρασίας του σώματος μετά την άσκηση ευθύνεται για τη βελτίωση αυτή. Επιπροσθέτως, η συστηματική ανασκόπηση που διεξήγαγε η Rose και οι συνεργάτες της (2017) έδειξε ότι η κρυοθεραπεία ολόκληρου του σώματος όχι μόνο ανακούφισε τους δοκιμαζόμενους από το μυϊκό πόνο, αλλά ενίσχυσε ταυτόχρονα την αποκατάσταση από την ασκησιογενή βλάβη. Στο σημείο ετούτο, αξίζει, ακόμη, να αναφερθούν τα αποτελέσματα της ανασκόπησης του Wilcock και των συνεργατών του (2006), όπου δύο στα επτά άρθρα που εξετάζονται έδειξαν μικρή έως μεγάλη επίδραση της εμβύθισης σε κρύο νερό στην απόδοση του κάθετου άλματος και της ισομετρικής δύναμης, καθώς μείωσε την πτώση αυτών.

2.2.1.2. Αντιφατικά δεδομένα της έρευνας σχετικά με την κρυοθεραπεία. Η τελευταία μελέτη κατέδειξε, ωστόσο, ότι υπάρχουν αντιθετικά αποτελέσματα στην έρευνα σχετικά με την εμβύθιση σε νερό ως στρατηγική αποκατάστασης. Το συμπέρασμα ετούτο, μπορεί να υποστηριχτεί από το γεγονός ότι τα ευρήματα της πλειονότητας των μελετών καταδεικνύουν την αμφισβητήσιμη την αποτελεσματικότητα της εμβύθισης σε κρύο νερό για την αποκατάσταση από EIMD. Πιο συγκεκριμένα, τα

συμπεράσματα της ανασκόπησης του Ihsan και των συνεργατών του (2016) σχετικά με την CWI υποδεικνύουν περιορισμένα οφέλη για την αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη μετά από έκκεντρη άσκηση. Επιπλέον, η συστηματική ανασκόπηση και μεταάνάλυση του Machado και των συνεργατών του (2016) και αυτή του Hohenaueer και των συνεργατών του (2015) – όπου εξετάστηκαν 9 και 36 μελέτες αντίστοιχα – οι οποίες σύγκριναν τις επιδράσεις της εμβύθισης σε κρύο νερό μετά από άσκηση με αυτές της παθητικής αποκατάστασης, αποφάνθηκαν ότι η CWI είναι αποτελεσματικότερη από την τελευταία. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, τα επιστημονικά ευρήματα της μελέτης του Peake και των συνεργατών του (2017) υποδεικνύουν ότι η εμβύθιση σε κρύο νερό δεν υπήρξε αποτελεσματικότερη στρατηγική αποκατάστασης από την ενεργητική για τη μείωση της φλεγμονής ή του κυτταρικού στρες μετά από άσκηση με αντιστάσεις (RET). Επιπλέον, στη μελέτη της Abadaia και των συνεργατών της (2017), οι οποίοι υπέβαλαν τους δοκιμαζόμενους σε κρυοθεραπεία (με CWI ή με WBC), έπειτα από την εκτέλεση έκκεντρης άσκησης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι 24-48 ώρες μετά την CWI υπήρξε καλύτερη αντίληψη ανάκτησης. Με το εύρημα ετούτο, υποδεικνύουν ότι η κρυοθεραπεία δε συνίσταται για οξεία αποκατάσταση, αλλά για μεσοπρόθεσμα οφέλη. Ακόμη, ο Siqueira και οι συνεργάτες του (2018) έδειξαν ότι πολλαπλές εμβυθίσεις σε κρύο νερό παρόλο που μείωσαν το μυϊκή βλάβη, που είχε προκληθεί από έντονη άσκηση, τριάντα φυσιολογικά δραστήριων ατόμων, δεν άλλαξαν

παρά ταύτα τη συστηματική φλεγμονή, ούτε συνέβαλαν στην ενίσχυση της λειτουργικότητας των ασκούμενων μυών.

2.2.1.3. Μειονεκτήματα κρυοθεραπείας με CWI. Ένας μεγάλος αριθμός επιστημονικών ερευνών έχουν δείξει, ωστόσο, και κάποια μειονεκτήματα της κρυοθεραπείας ως στρατηγικής αποκατάστασης. Στη μελέτη των Ihsan και των συνεργατών του (2013), οι οποίοι εξέτασαν την εμβύθιση σε κρύο νερό ως παρέμβαση για την ενίσχυση της αποκατάστασης, έδειξαν ότι η ψύξη μείωσε την αγγειακή διάχυση και τη μεταβολική δραστηριότητα των ασκούμενων μυών. Το γεγονός ετούτο, καθιστά διφορούμενη την αποτελεσματικότητα της κρυοθεραπείας για την αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη, διότι επιβραδύνει τις φλεγμονώδεις αποκρίσεις, αλλά αυτό σημαίνει ότι καθυστερεί τη διαδικασία αποκατάστασης. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τη μελέτη του White και των συνεργατών του (2014), οι οποίοι διερεύνησαν τις επιδράσεις ποικίλων πρωτοκόλλων εμβύθισης σε κρύο νερό στη φλεγμονώδη απόκριση και λειτουργικότητα των μυών, έδειξαν ότι πρωτόκολλα CWI υπερβολικής διάρκειας ενδέχεται μετά την άσκηση να επιδεινώσουν τη συγκέντρωση κυτταροκινών στην κυκλοφορία. Επιπλέον αρνητικές επιπτώσεις περιφερειακής ψύξης αναφέρονται σε άρθρο του Drinkwater (2008) και οι οποίες είναι η επιβράδυνση τόσο ενζυμικών διεργασιών όσο και της νευρικής αγωγιμότητας, που συνεπάγονται μείωση στο ρυθμό ανάπτυξης της μυϊκής δύναμης. Για το λόγο ετούτο, σύμφωνα με τους

παραπάνω ερευνητές η κρυοθεραπεία δε συνίσταται για δυναμικές συσπάσεις και ιδιοδεκτικές ασκήσεις. Πολύ σημαντικό, ακόμη, εύρημα ήταν αυτό της μελέτης του Fuchs και των συνεργατών του (2020), ότι η αποκατάσταση με εμβύθιση σε κρύο νερό μετά από άσκηση με αντιστάσεις οδηγεί σε μείωση της πρωτεϊνοσύνθεσης. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η μακροχρόνια χρήση της κρυοθεραπείας ως τακτικής αποκατάστασης, μετά από έντονη άσκηση, ενδέχεται να επηρεάσει την άλιπη σωματική μάζα. Επίσης, ένα σημαντικό συμπέρασμα της ανασκόπησης του Broatch και των συνεργατών του (2018) ήταν ότι η κρυοθεραπεία μεταβάλλει την κυτταρική σηματοδότηση, μειώνοντας μακροπρόθεσμα τις προσαρμογές της προπόνησης.

2.2.1.4. Κρυοθεραπεία με εφαρμογή μενθόλης. Καθώς, όμως, η επιτάχυνση της αποκατάστασης και η διατήρηση της απόδοσης σε επόμενες προπονήσεις ή αγωνίσματα αποτελεί πρόκληση και κύριο μέλημα τόσο για αθλητές όσο και για σύγχρονους ερευνητές έχουν πραγματοποιηθεί πολλές, ακόμη, μελέτες για την εύρεση της βέλτιστης μεθόδου αποκατάστασης. Όπως λοιπόν, και σύμφωνα με τον Botoni και τους συνεργάτες του (2017), η εμβύθιση σε κρύο νερό διεγείρει θερμοευαίσθητους υποδοχείς στο δέρμα, προκαλώντας θερμικές αποκρίσεις' έτσι και η μενθόλη διεγείρει τα TRP'S του δέρματος, βελτιώνοντας τη θερμική αίσθηση (Akehi & Long, 2013; Eccles, 1994; Patel, Ishiuiji & Yosipovitch, 2007; Stevens & Best, 2017), οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο και αυτή σε

περιφερειακή αγγειοσυστολή και θερμογένεση (Botoni et al., 2017; Green, 1986; Kim et al., 2018). Σύμφωνα με την ανασκόπηση του Stevens and Best (2017), πολλές είναι οι έρευνες που έχουν εξετάσει την εφαρμογή - εσωτερική κι εξωτερική - της μενθόλης ως βοήθημα βελτίωσης της απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της αντοχής, της ταχύτητας, της δύναμης και του εύρους κίνησης των αρθρώσεων' αλλά και μελέτες που έχουν διερευνήσει την εφαρμογή αυτής για την ενίσχυση της αποκατάστασης. Συγκεκριμένα, η μενθόλη διεγείρει τους δερματικούς αισθητήρες- υποδοχείς TRPM8, βελτιώνοντας τη θερμική αίσθηση (TS) και τη θερμική άνεση (TC)' ενώ αναστέλλει τη διέγερση του TRPA1, ο οποίος λειτουργεί ως ανιχνευτής πόνου. Αυτό σημαίνει ότι η μενθόλη λειτουργεί όχι μόνο ως εργονομικό βοήθημα στην άσκηση, αλλά και ως αναλγητικό ενισχύοντας την αποκατάσταση (Galeotti, Mannelli, Mazzanti, Bartolini & Ghelardini, 2002; Stevens & Best, 2017).

2.2.1.5. Κρυοθεραπεία: θετική και διαφορούμενη επίδραση της μενθόλης. Το γεγονός αυτό έρχεται σε συμφωνία με ευρήματα της μελέτης του Johar και των συνεργατών του (2012), οι οποίοι, αφού υπέβαλαν τους δοκιμαζόμενους της μελέτης σε άσκηση που προκάλεσε καθυστερημένο μυϊκό πόνο, σύγκριναν τις επιδράσεις της τοπικής εφαρμογής πάγου με αυτές της τοπικής εφαρμογής γέλης που περιείχε 3,5% μενθόλη' και διαπίστωσαν ότι το τοπικό αναλγητικό με μενθόλη μείωσε, σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τον πάγο, το μυϊκό πόνο κι επέτρεψε

έπειτα την παραγωγή μεγαλύτερων τετανικών δυνάμεων. Επιπλέον με ετούτο, ο Torp και οι συνεργάτες του (2011) σε μελέτη όπου σύγκριναν τις επιδράσεις τοπικής εφαρμογής γέλης με 3,5% μενθόλη με τις αντίστοιχες τοπικής εφαρμογής πάγου σε δεκαεπτά υγιείς ενήλικες στην αιματική ροή και στη μυϊκή δύναμη έδειξαν ότι η πρώτη βοήθησε έπειτα στην αύξηση της μυϊκής δύναμης, σε αντίθεση με τον πάγο όπου μετά την απομάκρυνσή του η μυϊκή δύναμη μειώθηκε. Ακόμη, ο Gillis και οι συνεργάτες του (2020) σε έρευνα όπου αξιολόγησαν την επίδραση της μενθόλης στην αποκατάσταση σε σαράντα επτά υγιείς άνδρες υπέδειξε ότι η τοπική εφαρμογή γέλης με μενθόλη (4%) μπορεί να βοηθήσει στην ανάκτηση της μυϊκής δύναμης έπειτα από EIMD, καθώς η παρέμβαση αυτή - συγκριτικά με τις άλλες - συνέβαλε σε μικρότερη πτώση του ύψους άλματος των δοκιμαζομένων.

Στην προαναφερθείσα μελέτη του Gillis και των συνεργατών του (2020), παρατηρήθηκε, ωστόσο, μεγαλύτερη μείωση του μυϊκού πόνου των συμμετεχόντων στην έρευνα στη συνθήκη εικονικού σκευάσματος. Το γεγονός ετούτο δείχνει ότι η εφαρμογή κάποιου σκευάσματος από μόνο του θα μπορούσε να έχει μερική επίδραση στην αντίληψη για το μυϊκό πόνο. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω ευρήματα, όταν ο Akehi and Long (2013) εξέτασαν τις επιδράσεις τοπικού αναλγητικού με μενθόλη στο εύρος κίνησης του γοφού, στην αίσθηση πίεσης και στη θερμοκρασία δέρματος δεν εμφάνισαν κάποιο όφελος αυτού.

Απ' όλα τα παραπάνω, καθίσταται φανερό ότι η αποτελεσματικότητα

της κρυοθεραπείας, είτε με εμφύθιση σε κρύο νερό, είτε με κρυοθεραπεία ολόκληρου του σώματος, είτε με τοπική εφαρμογή πάγου, είτε με εφαρμογή γέλης με μενθόλη, στην ενίσχυση της αποκατάστασης και στη διατήρηση της απόδοσης σε επακόλουθη άσκηση, είναι διαφορετική. Για το λόγο ετούτο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την εύρεση αποδοτικότερης στρατηγικής για τη μείωση των επιβλαβών επιπτώσεων της ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης, ώστε να καταστεί δυνατή η επιτάχυνση της διαδικασίας αποκατάστασης, και άρα η ταχύτερη ανάκτηση των επιπέδων απόδοσης.

2.3. Θερμοθεραπεία

Μέχρι σήμερα στρατηγικές αποκατάστασης από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη - όπως η θερμική θεραπεία, τα ενδύματα συμπίεσης, η ομοιοπαθητική, το μασάζ, και οι διατροφικές παρεμβάσεις - έχουν εξεταστεί επίσης ως μέσα να μετριάσουν τις επιβλαβείς συνέπειες αυτής (Mayer, Mooney, Matheson, Erasala, Verna, Udermann & Leggett, 2006; Kim et al., 2020). Η θερμοθεραπεία, ωστόσο, ως στρατηγική αποκατάστασης από μυϊκή βλάβη έχει εξεταστεί σε μικρότερο βαθμό, παρέχοντας έτσι λίγα μόνο, αλλά ενδιαφέροντα επιστημονικά δεδομένα.

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύεται η θερμοθεραπεία, οι μέθοδοι και οι τρόποι χρήσης της. Επεξηγούνται, ακόμη, οι φυσιολογικές αποκρίσεις σε αυτή, και παρατίθενται τα ευρήματα των μέχρι στιγμής μελετών που έχουν εξετάσει την αποτελεσματικότητα και τα πλεονεκτήματα της HT ως μεθόδου αποκατάστασης. Επιπροσθέτως, αναφέρονται αξιόλογα ερευνητικά

πορίσματα που καθιστούν την τοπική εφαρμογή καψαϊκίνης ως μία καλή εναλλακτική μορφή θερμοθεραπείας ύστερα από EIMD.

Η θερμοθεραπεία είναι η εφαρμογή θερμότητας στο σώμα, που προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών. Διάφορες μορφές θερμοθεραπείας χρησιμοποιούνται στην κλινική πρακτική για τη διαχείριση χρόνιων μυοσκελετικών παθήσεων που σχετίζονται με πόνο, αυξημένη δυσκαμψία και μειωμένο εύρος κίνησης (Giombini, Giovannini, Cesare, Pacetti, Ichinoseki-Sekine, Shiraishi & Maffulli, 2007; Heiss et al., 2019; Kimetal., 2020; Malanga et al., 2015). Τα τελευταία χρόνια στην αθλητική επιστήμη έχουν διεξαχθεί μελέτες για τις επιπτώσεις της HT σε απόκριση στην άσκηση, σε μυϊκούς τραυματισμούς, έπειτα από ακινητοποίηση, καθώς και τις επιδράσεις αυτής πριν (Saga, Katamoto & Naito, 2008), κατά τη διάρκεια, και μετά από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη (Hotfiel et al., 2018; Kimetal., 2019, 2020; Kuligowski, Lephart, Giannantonio & Blanc, 1998; Mayer et al., 2006; McGorm, Roberts, Coombes & Peake, 2018; Petrofsky, Berk, Bains, Khowailed, Lee & Laymon, 2017; Vardiman, Moodie, Siedlik, Kudrna, Graham & Gallagher, 2015).

2.3.1. Μέθοδοι και τρόποι εφαρμογής της θερμοθεραπείας

Η εφαρμογή θερμότητας μπορεί να γίνει επιφανειακά ή εν τω βάθυ (Kim et al., 2020; Petrofsky et al., 2015). Αυτό εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες που αφορούν τόσο τη μορφή εφαρμογής της θερμότητας (Lolhman et al., 2011; Malanga et al., 2015; McGorm et al., 2018; Petrofsky et al., 2015), όσο και την ένταση

αυτής, αλλά και τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται (McGorm et al., 2018; Petrofsky et al., 2015).

Μέχρι σήμερα, πλήθος μελετών έχουν εξετάσει τις επιπτώσεις της θερμοθεραπείας χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή θερμότητας σε ολόκληρο το σώμα, μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας, σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά την εκτέλεση άσκησης, περιβαλλοντικό θάλαμο ή σάουνα, ενώ συγκεκριμένα μέρη του σώματος είναι δυνατό να θερμανθούν χρησιμοποιώντας φύλλα ατμού ή θερμότητας, ή βυθίζοντας τα σε ζεστό νερό. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή θερμότητας μπορεί να γίνει πιο τοπικά σε συγκεκριμένες μυϊκές ομάδες με διαθερμία μικροκυμάτων (McGorm et al., 2018).

Συνεπώς, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται κάθε φορά για την εφαρμογή της θερμότητας επηρεάζει ανάλογα τα αποτελέσματα της θεραπείας, διότι διαφέρει κατά κύριο λόγο ως προς την ικανότητα διείσδυσης στο βαθύ ιστό (Petrofsky et al., 2015). Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει, όπως προαναφέρθηκε, περιβαλλοντικό θάλαμο, σάουνα, διαθερμία μικροκυμάτων, σεντόνια παραγωγής θερμότητας ή ατμού, θερμικά στρώματα, θερμικές κουβέρτες, μπουκάλια ζεστού νερού, θερμοφόρα, ηλεκτρικά θερμαινόμενα μαξιλάρια, θερμικά περιτυλίγματα, θερμαινόμενες πέτρες, θερμαινόμενα πακέτα με κόκκους, ζεστές πετσέτες, ζεστά λουτρά, λαμπτήρες ατμού και υπέρυθρης θερμότητας κ.ο.κ (Cernych, Baranauskienė, Vitkauskienė, Satas & Brazaitis, 2019; Kim et al., 2020; Malanga et al., 2015; McGorm et al., 2018; Petrofsky et al., 2015).

Ακόμη, η ένταση εφαρμογής της θερμότητας αποτελεί καθοριστικό για την έκβαση της θεραπείας παράγοντα (Kuligowski et al., 1998; McGorm et al., 2018). Η ένταση ρυθμίζεται από το μέγεθος της θερμοκρασίας (Cheng et al., 2017; Petrofsky et al., 2017; Versey et al., 2013), τη διάρκεια έκθεσης σε αυτή, καθώς και από το μέσο που χρησιμοποιείται (Giombini et al., 2007; Kuligowski et al., 1998; Malanga et al., 2015; Petrofsky et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, το μέγεθος της θερμοκρασίας που επιλέγεται, επηρεάζει τις βασικές εξισώσεις ροής της θερμότητας. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο απότομη είναι η κλίση τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή θερμότητας. Αυτό, βέβαια, εξαρτάται και από το ποσοστό υποδόριου λίπους, το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και κατά την επιλογή της διάρκειας έκθεσης, αλλά και του μέσου εφαρμογής θερμότητας. Αυτό σημαίνει ότι αν το υποδόριο λίπος είναι παχύ, τότε θα χρειαστεί πιθανόν μεγαλύτερος χρόνος έκθεσης ή αποτελεσματικότερο μέσο, προκειμένου να διαπεράσει η θερμότητα στο βαθύ ιστό (Kuligowski et al., 1998; Malanga et al., 2015; Petrofsky et al., 2015).

Στο σημείο ετούτο, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι μελέτες που έχουν εξετάσει το είδος του μέσου εφαρμογής της θερμότητας, έχουν διαπιστώσει ότι η υγρή θερμότητα είναι αποτελεσματικότερη της ξηρής, αλλά ενέχει μεγαλύτερο κίνδυνο πρόκλησης εγκαύματος. Ωστόσο, όλες οι μέθοδοι έχουν αυτό τον κίνδυνο για αυτό συνίσταται και ιδιαίτερη προσοχή (Lohman, Bains, Lohman, DeLeon & Petrofsky, 2011; Malanga et al., 2015).

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που έχει εξεταστεί σε έρευνες για τη θερμότητα είναι ο χρόνος εφαρμογής της - πριν, κατά τη διάρκεια της άσκησης, και μετά την εκτέλεση αυτής - (McGorm et al., 2018; Vardiman et al., 2015).

Από όλα τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι διαθέσιμες μελέτες αφορούν ποικίλα πρωτόκολλα άσκησης, χρόνου εφαρμογής, είδους και μεγέθους της θερμικής θεραπείας, γεγονός που δημιουργεί σύγχυση στη βιβλιογραφία (Hotfiel et al., 2019; Malanga et al., 2015; Petrofsky et al., 2015). Για το λόγο ετούτο, καθίσταται αναγκαία η περαιτέρω μελέτη της θερμοθεραπείας ως μεθόδου αποκατάστασης από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη.

Τέλος, είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι εξαιτίας της φύσης της θεραπείας καθίσταται αδύνατος ο πειραματικός σχεδιασμός να είναι ανίδεος (Kim et al., 2019; Malanga et al., 2015; Tsuboshima et al., 2020).

2.3.2. Φυσιολογικές αποκρίσεις στη θερμοθεραπεία

Η τοπική εφαρμογή θερμότητας επιφέρει μια σειρά φυσιολογικών αποκρίσεων που φαίνεται ότι βοηθούν στην αύξηση της λειτουργικότητας των σκελετικών μυών (Machle & Hatch, 1947; Malanga et al., 2015; Mayer et al., 2006; McGorm et al., 2018; Nadler et al., 2004; Petrofsky et al., 2015). Αρχικά, με την εφαρμογή θερμότητας αυξάνεται η απελευθέρωση της ουσίας P, πεπτιδίο το οποίο σχετίζεται με το γονίδιο της καλσιτονίνης. Το τελευταίο προκαλεί

αύξηση της διαπερατότητας καλίου στο αγγειακό περιβάλλον, αυξάνοντας έτσι την αιματική ροή (Song, 1984). Αυτό διαρκεί, ωστόσο, μερικά μόνο λεπτά. Η παρατεταμένη απόκριση στην αύξηση της θερμοκρασίας στο δέρμα διαμεσολαβείται από το προσωρινό δυναμικό υποδοχέα Ca^{+} με τάση βαλινοειδούς -4 (TRPV4) των αγγειακών ενδοθηλιακών κυττάρων. Πάνω από τη θερμοκρασία 35°C , αυτά τα κύτταρα προκαλούν εκθετική αύξηση της εισροής Ca^{+} στο ενδοθηλιακό σύστημα από το διάμεσο χώρο. Το Ca^{+} , με τη σειρά του, ενεργοποιεί την παραγωγή συνθετάσης του ενζύμου νιτρικού ενδοθηλιακού οξειδίου (eNOS), το οποίο αποτελεί ένα ισχυρό αγγειοδιασταλτικό, αυξάνοντας έτσι περαιτέρω την αγγειακή διαπερατότητα (Giombini et al., 2007; Green, Carter, Fitzsimons, Cable, Thijssen & Naylor, 2010; Hesketh, Shepherd, Strauss, Low, Cooper, Wagenmakers, Cocks, 2019; Lohman et al., 2011; Naylor, Carter, FitzSimons, Cable, Thijssen & Green, 2011).

Επιπροσθέτως, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας των ιστών, εκτός από την εκθετική αύξηση ιόντων Ca^{+} , επέρχεται και αύξηση της απελευθέρωσης ATP από τα ερυθροκύτταρα, γεγονός που συμβάλλει και αυτό στη βελτίωση της μικροαγγειακής λειτουργίας, καθώς οδηγεί τόσο σε αγγειογένεση όσο και σε ρύθμιση έκφρασης γονιδίων όπως του ενδοφλεβικού αυξητικού παράγοντα (VEGF) και της αγγειοπιετίνης -1 και -2 (Fuchs, Smeets, Senden, Zorenc, Goessens, van MarkenLichtenbelt & van Loon, 2020; Heiss et al., 2019; Kalsi, Chiesa, Trangmar, Ali, Lotlikar & Gonzalez-Alonso, 2017; Nakagawa,

Hiraga, Mizumura, Hori, K., Ozaki & Koeda, 2018; Kim et al., 2020; Kuhlenhoelter et al., 2016).

Η αύξηση της αιματικής ροής αυξάνει, ακόμη, το μεταβολισμό του αίματος και των ιστών (Malanga et al., 2015; Petrofsky et al., 2015). Συγκεκριμένα, για κάθε 3 βαθμούς αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, ο μεταβολισμός διπλασιάζεται (Petrofsky et al., 2017). Το γεγονός αυτού σημαίνει ότι αυξάνεται ο ρυθμός βιοχημικών διεργασιών (Cheng et al., 2017), κι επομένως η στρατολόγηση φλεγμονωδών κυττάρων στον τραυματισμένο ιστό (Kim et al., 2019, 2020). Αυτό συνεπάγεται ταχύτερη απομάκρυνση μεταβολιτών και υποπροϊόντων (Kim et al., 2020; Versey et al., 2013), η οποία αναστέλλει αγγειοδραστικές ενώσεις (βραδυκίνη, ισταμίνη) μέσω διαύλων Ca^{+} και καναλιών TRPV1, TRPV4 στους αισθητήριους νευρώνες, ανακουφίζοντας από το μυϊκό πόνο, και οδηγώντας τον τραυματισμένο ιστό σε ταχύτερη επούλωση (Chiesa et al., 2015; Lohman et al., 2011; Malanga et al., 2015; Petrofsky et al., 2015, 2017).

Ταυτόχρονα με τις διαδικασίες αυτές ενισχύεται ο ενεργειακός κύκλος. Η αύξηση της φωσφορυλίωσης Akt οδηγεί σε αύξηση της σηματοδότησης του μονοπατιού mTOR (Kakigi et al., 2011; Koshinaka, Kawamoto, Abe, Toshinai, Nakazato & Roseguini, 2013; Yoshihara, Naito, Kagigi, Ichinoseki-Sekine, Ogura, Sugiura & Katamoto, 2013). Κατά συνέπεια, τόσο η αυξημένη μεταφορά O_2 και θρεπτικών συστατικών, όσο και η αυξημένη σηματοδότηση του mTOR οδηγούν σε αύξηση της ανασύνθεσης του γλυκογόνου (Hanya & Katz,

2018; Koshinaka et al., 2013; Slivka, Tucker, Cuddy, Hailes & Ruby, 2012), αλλά καθώς φαίνεται και της πρωτεϊνοσύνθεσης (Fuchs et al., 2020; Goto et al., 2003; Kakigi et al., 2011; Kim et al., 2020; Malanga et al., 2015; McGorm et al., 2018; Selsby, Rother, Tsuda, Pracash, Quindry & Dodd, 2007).

Ακόμη, η αυξημένη εισροή ενδοκυτταρικού Ca^{+} και απελευθέρωσης ATP λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας ιστών, οδηγεί σε αύξηση τόσο του AMPK όσο και του PGC-1 α . Οι αυξήσεις οδηγούν κι αυτές με τη σειρά τους σε μιτοχονδριακή βιογένεση και βελτιωμένη μιτοχονδριακή λειτουργία (Hafen, Preece, Sorensen, Hancock & Hyldahl, 2018; Kim et al., 2020; Ohira et al., 2017; Touchberry, Gupta, Bomhoff, Graham, Geiger & Gallagher, 2012). Επιπλέον, η αυξημένη θερμοκρασία ιστών οδηγεί σε αυξημένη έκφραση των πρωτεϊνών θερμικού σοκ (HSP'S). Η τελευταία ευθύνεται για την αυξημένη σύνθεση μυϊκών πρωτεϊνών (Goto et al., 2003; Kim et al., 2019; Ogura, Naito, Tsurukawa, Ichinoseki-Sekine, Saga, Sugiyura & Katamoto, 2007; Selsby et al., 2007; Shibaguchi et al., 2016).

Επομένως, όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι η υπεραιμική απόκριση στην θερμοθεραπεία αυξάνει τη διάχυση στους ιστούς, οδηγώντας έτσι σε μια ακολουθία φυσιολογικών αποκρίσεων. Την ενισχυμένη παροχή υποστρωμάτων, την επιτάχυνση της απομάκρυνσης των μεταβολικών υποπροϊόντων κι άλλων ουσιών που ευαισθητοποιούν τους αισθητήριους υποδοχείς των μυών, την αύξηση της μεταφοράς φλεγμονωδών αλλά απαραίτητων για την αναγέννηση του τραυματισμένου ιστού κυττάρων,

καθώς και την αύξηση της τάσης διάτμησης των αγγειακών τοιχωμάτων, αμβλύνοντας με τον τρόπο αυτό τις επιζήμιες συνέπειες της μυϊκής βλάβης (Kim et al., 2020). Συνεπώς, αυτοί φαίνεται να είναι οι πιθανοί μηχανισμοί μέσω των οποίων η αύξηση της αιματικής ροής που προκαλείται από την εφαρμογή θερμότητας μπορεί να βοηθήσει στην αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη, αυξάνοντας την διατασιμότητα του συνδετικού ιστού και μειώνοντας τον μυϊκό σπασμό, τον πόνο, καθώς και την απώλεια μυϊκής δύναμης (Malanga et al., 2015; Mayer et al., 2006; McGorm et al., 2018; Nadler et al., 2004; Petrofsky et al., 2015).

2.3.3. Μελέτες για θερμοθεραπεία στην αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη

Ένας αριθμός ερευνών που έχουν μελετήσει τη θερμοθεραπεία ως μέθοδο αποκατάστασης από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη, και την έχουν συγκρίνει με άλλες μεθόδους, έχουν διαπιστώσει θετικά αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα, η Kim και οι συνεργάτες της (2019) έδειξαν θετική επίδραση της θερμοθεραπείας στην αποκατάσταση έπειτα από έκκεντρη προπόνηση αντίστασης. Ακόμη, ο Petrofsky και οι συνεργάτες (2015), οι οποίοι σύγκριναν θεραπεία θερμότητας, τοποθετώντας περιτύλιγμα ThermoCare για 8 ώρες, έναντι πάγου για 20 λεπτά, ή ομάδας ελέγχου (CON), αμέσως ή 24 ώρες μετά την πρόκληση ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης, διαπίστωσε ότι η θερμοθεραπεία είχε μικρά πλεονεκτήματα σε σχέση με κρυοθεραπεία, καθώς και οι δύο

μείωσαν τον μυϊκό πόνο σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, με μικρή υπεροχή της κρυοθεραπείας, η διατήρηση, ωστόσο, της μυϊκής δύναμης σε επακόλουθη άσκηση ήταν ανώτερη μετά την θερμοθεραπεία.

Αντίθετα, η μελέτη του Mayer και των συνεργατών του (2006), οι οποίοι αξιολόγησαν συνεχή χαμηλού επιπέδου θεραπεία θερμότητας για πρόληψη και θεραπεία πρώιμης φάσης καθυστερημένου μυϊκού πόνου, με εφαρμογή θερμικού περιτυλίγματος 4 ώρες πριν και 4 ώρες μετά από έκκεντρη άσκηση, έναντι τοποθέτησης ψυχρής συσκευασίας (15-20 λεπτά κάθε 4 ώρες από 18-42 ώρες μετά την άσκηση, και ομάδας ελέγχου (CON), έδειξαν ότι η θερμοθεραπεία παρείχε σημαντικά μεγαλύτερη ανακούφιση από τον πόνο. Δεν αναφέρθηκαν διαφορές, ωστόσο, στη φυσική λειτουργία και κινητικότητα.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, ο Petrofsky και οι συνεργάτες του (2017), οι οποίοι σύγκριναν τις επιδράσεις της θερμοθεραπείας με εφαρμογή θερμικού περιτυλίγματος αμέσως ή 24 ώρες μετά από EIMD και χωρίς θεραπεία, υπέδειξαν ότι η εφαρμογή της πρώτης (HT) αμέσως μετά την ασκησιογενή μυϊκή βλάβη, μείωσε σε σημαντικό βαθμό τον μυϊκό πόνο το επόμενο 24ωρο, μείωσε την πτώση της μυϊκής δύναμης, ενώ αύξησε το εύρος κίνησης, και διατήρησε την αιμοσφαιρίνη (Mb) όμοια με τα προ-άσκησης επίπεδα, σε αντίθεση με την ομάδα ελέγχου.

Αντίθετα με τα παραπάνω, στη μελέτη του Viitasalo και των συνεργατών του (1995), όπου εξέτασαν τις επιπτώσεις της εμβύθισης σε ζεστό νερό (HWI:

36,7°-37,2°C για 20 λεπτά) με υποβρύχιο μασάζ συγκριτικά με καθόλου θεραπεία, διαπίστωσαν ότι η εμβύθιση σε ζεστό νερό εξασθένησε την πτώση της δύναμης κάθετου άλματος, αλλά δε μείωσε τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο, ούτε επηρέασε άλλους δείκτες μυϊκής βλάβης (Mb, CK, γαλακτική αφυδρογονάση).

Στο σημείο ετούτο, είναι σημαντικό να αναφερθούν και τα ευρήματα της μελέτης του Hassan (2011), οι οποίοι σύγκριναν τις επιδράσεις της εμβύθισης σε ζεστό νερό (HWI: 38°C για 30 λεπτά) έναντι εμβύθισης σε κρύο νερό (CWI: 20°C για 30 λεπτά), καθώς και ομάδας ελέγχου, 15 λεπτά μετά από έκκεντρη άσκηση σε 60 προπονημένους νέους. Οι παραπάνω ερευνητές διαπίστωσαν ότι η HWI μείωσε τους δείκτες μυϊκού στρες με τη μείωση των επιπέδων CK και Mb, σε αντίθεση με την CWI, η οποία αύξησε τους στρεσογόνους δείκτες.

Ο Kuligowski και οι συνεργάτες του (1998) στη μελέτη όπου σύγκριναν τις επιδράσεις της θερμοθεραπείας με υδρομασάζ, η εφαρμογή της οποίας διεξήχθη αμέσως μετά από έκκεντρη άσκηση, με ομάδα ελέγχου, έδειξαν ότι η θερμοθεραπεία βοήθησε σε γρηγορότερη αύξηση του εύρους κίνησης των αγκώνων, αλλά δεν είχε σημαντικές επιπτώσεις στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο ούτε στην ανάκτηση της μυϊκής δύναμης.

Εκτός από τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών που έχουν διεξαχθεί σε ανθρώπους, θετικά φαίνεται να είναι και τα ευρήματα των μελετών που έχουν εξετάσει την εφαρμογή θερμότητας έπειτα από

πρόκληση μυϊκής βλάβης ή ακινητιποίηση σε ζώα.

Ειδικότερα, όταν οι Takeuchi και οι συνεργάτες της (2014) προκάλεσαν MD σε αρουραίους πριν τους υποβάλλουν σε θερμοθεραπεία (HT: 42°C για 20 λεπτά), διαπίστωσαν ότι οι φλεγμονώδεις διεργασίες επιταχύνθηκαν, με την ταχύτερη διήθηση μακροφάγων και τον πολλαπλασιασμό δορυφορικών κυττάρων στην περιοχή τραυματισμού, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω ερευνητικά αποτελέσματα, υψηλότερος αριθμός δορυφορικών κυττάρων παρατηρήθηκε και στις μελέτες της Shibaguchi και συνεργατών του (2016) και Kojima και συνεργατών της (2007) και συνεργατών, μετά από εφαρμογή HT έπειτα από πρόκληση μυϊκής βλάβης (είτε με ένεση καρδιοτοξίνης είτε αλατόνευρου) σε αρουραίους, αποδεικνύοντας ότι η θερμοθεραπεία επιταχύνει τις φλεγμονώδεις διαδικασίες, και κατά συνέπεια την αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη.

Ακόμη, η Tsuboshima και οι συνεργάτες της (2020) σε μελέτη όπου σύγκριναν τις επιδράσεις της εφαρμογής θερμότητας έναντι κρυοθεραπείας έπειτα από πρόκληση μυϊκής βλάβης στους μυς αρουραίων, κατέδειξαν τα αναλγητικά αποτελέσματα της θερμοθεραπείας.

Παρόλα τα ανωτέρω επιστημονικά δεδομένα για τις θετικές επιδράσεις της θερμοθεραπείας στην αποκατάσταση από μυϊκή βλάβη, τα συμπεράσματα της μελέτης του Jayaraman και συνεργατών του (2004), οι οποίοι αφού υπέβαλαν τους δοκιμαζόμενους σε έκκεντρη άσκηση

με το ένα πόδι, τους χώρισαν σε τέσσερις ομάδες (HT με εφαρμογή θερμικού περιτυλίγματος: 41°C για 2 ώρες, σύντομη προθέρμανση του σκέλους θεραπείας, μαξιλάρι θερμότητας και τέντωμα, έλεγχο), έδειξαν ότι η τοπική εφαρμογή θερμότητας από μόνη της δεν ενίσχυσε την αποκατάσταση των κατεστραμμένων μυϊκών ινών μετά από έκκεντρη άσκηση, καθώς δε μείωσε τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο, ούτε την πτώση της μυϊκής δύναμης, ούτε το οίδημα.

Σε αντίθεση με τα ερευνητικά αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, τα συμπεράσματα της μελέτης του Kuligowski και συνεργατών (1998) ήταν ότι η θεραπεία με υδρομασάζ σε κρύο και σε ζεστό εναλλασσόμενο με κρύο νερό προκάλεσε μεγαλύτερη ανακούφιση από την καθυστερημένη έναρξη μυϊκού πόνου στους καμπτήρες αγκώνα των δοκιμαζομένων συγκριτικά με υδρομασάζ σε ζεστό νερό ή χωρίς θεραπεία.

Ακόμη, ο Vaile και οι συνεργάτες του (2008), απέδειξαν ότι τόσο η εμφύθιση σε κρύο νερό όσο και η εμφύθιση σε κρύο εναλλασσόμενο με ζεστό νερό είναι αποτελεσματικότερες στη μείωση των φυσιολογικών και λειτουργικών αποκρίσεων που σχετίζονται με καθυστερημένο μυϊκό πόνο, συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης ισομετρικής δύναμης και της μείωσης στο τοπικό οίδημα. Αντίθετα, η εμφύθιση σε ζεστό νερό φάνηκε αποτελεσματική σε σχέση με την ομάδα ελέγχου μόνο στην ανάκαμψη της ισομετρικής δύναμης.

Ωστόσο, πλήθος μελετών που έχουν εξετάσει τις φυσιολογικές

αποκρίσεις της τοπικής εφαρμογής θερμότητας έχουν υποδείξει μια μεγάλη γκάμα θετικών επιδράσεων αυτής.

Όπως έχει προαναφερθεί, με την εφαρμογή θερμότητας στο δέρμα, αυξάνεται η αιματική ροή (Akyurehli, Gerig & Raaphorst, 2017). Η τελευταία οδηγεί σε αύξηση της έκφρασης αγγειογενών μεσολαβητών (Green et al., 2010; Kim et al., 2020; Kuhlenthal et al., 2016), αύξηση συνθέτασης ενδοθηλιακού νιτρικού οξειδίου (Hesketh et al., 2019; Naylor et al., 2011), καθώς και σε αύξηση του μεταβολισμού του αίματος. Συνεπώς, με την εφαρμογή ζέστης επιταχύνεται η φλεγμονώδης απόκριση, κατά συνέπεια η ενεργοποίηση δορυφορικών κυττάρων, και αναστέλλεται η εναπόθεση κολλαγόνου (Kojima et al., 2007; Shibaguchi et al., 2015). Η διαδικασία ετούτη προάγει την αναγέννηση των σκελετικών μυών έπειτα από MD (Kojima et al., 2007; Selsby et al., 2007; Shibaguchi et al., 2015; Takeuchi et al., 2013).

Με την αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών, αυξάνεται, ακόμη, η έκφραση των (HSP'S) πρωτεϊνών θερμικού σοκ (Goto et al., 2003; Ogura et al., 2007; Selsby et al., 2007). Οι τελευταίες είναι απαραίτητες για την κυτταρική ομοιότητα και προστασία, η αύξηση της έκφρασης των οποίων οδηγούν σε μείωση της προκληθείσας MD (Shibaguchi et al., 2015).

Ακόμη, η αυξημένη έκφραση των HSP'S που προκύπτει από την τοπική εφαρμογή ζέστης, οδηγεί σε αύξηση της φωσφορυλίωσης του Akt κι έπειτα σε ενεργοποίηση της σηματοδότησης του μονοπατιού mTOR (Kakigi et al., 2011;

Yoshihara, Sugiura, Yamamoto, Shibaguchi, Kakigi & Naito, 2015). Το γεγονός ετούτο συνεπάγεται αύξηση του ρυθμού πρωτεϊνοσύνθεσης (Kakigi et al., 2011; Kojima et al., 2007; Selsby et al., 2007), μειώνοντας τις διαδικασίες πρωτεόλυσης (Yoshihara et al., 2015).

Συνεπώς, σύμφωνα με τα ευρήματα μελετών επαναλαμβανόμενη έκθεση σε ζέστη οδηγεί σε μιτοχονδριακές προσαρμογές (Hafen, Abbott, Bowden, Lopiano, Hancock & Hyldahl, 2019; Tamura et al., 2014), μυϊκή υπερτροφία, και τέλος σε ενίσχυση της μυϊκής δύναμης (Goto et al., 2003; 2011; Stadnyk, Rehrer, Handcock, Meredith-Jones & Cotter, 2018).

Εν ολίγοις, εφόσον η πλειοψηφία των μελετών παρουσιάζει πλεονεκτήματα τόσο της άμεσης όσο και της επαναλαμβανόμενης εφαρμογής θερμότητας στη μυϊκή δύναμη και υπερτροφία, και φαίνεται υπεροχή της θερμοθεραπείας έναντι άλλων μεθόδων αποκατάστασης από μυϊκή βλάβη, συνίσταται η περαιτέρω εξέταση της μεθόδου αυτής, καθώς τα παρόντα επιστημονικά δεδομένα είναι ελάχιστα.

Στο σημείο ετούτο, είναι αξιοσημείωτο να γίνει λόγος για τα πορίσματα - σημαντικού αριθμού - ερευνών, που έχουν εξετάσει την τοπική εφαρμογή καψαϊκίνης για την αντιμετώπιση χρόνιων πόνων, αλλά και σοβαρών παθήσεων. Σύμφωνα με τις μελέτες αυτές, η καψαϊκίνη, ως μια εναλλακτική μορφή θερμοθεραπείας, μέσω της αλληλεπίδρασής της με φυσιολογικούς μηχανισμούς, οδηγεί και αυτή σε αγγειακές, μεταβολικές

και νευρωνικές αλλαγές, ασκώντας με τον τρόπο αυτό αναλγητική και αντιφλεγμονώδη δράση στο σημείο τραυματισμού (Akhtar et al., 2017; Basith et al., 2016; Fattori et al., 2016; Johnson, 2007). Ακόμη, εύλογο θεωρείται και το συμπέρασμα της μελέτης του Fattori και των συνεργατών του (2016), ότι η καψαϊκίνη επιφέρει μεγαλύτερου βαθμού αναλγησία υπό φλεγμονώδη συνθήκη παρά χωρίς την ύπαρξη αυτής. Συνεπώς, από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι η εφαρμογή καψαϊκίνης, αμέσως μετά την εκτέλεση άσκησης που προκαλεί μυϊκή βλάβη, ενδέχεται να συμβάλει σε ταχύτερη αποκατάσταση του τραυματισμένου ιστού. Για το σκοπό αυτό, καθίσταται απαραίτητη η επιπλέον διερεύνηση της επίδρασης της καψαϊκίνης στους δείκτες ασκησιογενούς βλάβης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Μέθοδος

3.1. Πειραματικές διαδικασίες

Η παρούσα μελέτη εξέτασε αν η θερμοθεραπεία είναι μια αποδοτική μέθοδος για ταχύτερη αποκατάσταση από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη. Στη μελέτη συμμετείχαν 29 υγιείς φυσιολογικά δραστήριοι νέοι άνδρες, οι οποίοι αφού είχαν πρώτα διαβάσει και υπογράψει ένα ενημερωτικό έντυπο συγκατάθεσης, σύμφωνα με τα πρότυπα της θεσμικής επιτροπής δεοντολογίας, καθώς επίσης και εφόσον πληρούσαν τις οριζόμενες από την ερευνήτρια προϋποθέσεις.

Οι συμμετέχοντες αρχικά επισκέφθηκαν το εργαστήριο Εργοφυσιολογίας, όπου και διεξήχθη η μελέτη, προκειμένου να εξοικειωθούν με τη δοκιμασία και τις μετρήσεις, καθώς και για να γίνει εκτίμηση των ανθρωπομετρικών τους χαρακτηριστικών. Αφού πέρασαν δέκα ημέρες από τη συνεδρία εξοικείωσης, οι δοκιμαζόμενοι ήρθαν στο εργαστήριο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εκτέλεση της έκκεντρης μονοποδικής άσκησης, η μέτρηση της αιματικής ροής των τετρακέφαλων μηριαίων, η οποία θα προέκυπτε από τον προσδιορισμό της μυϊκής οξυγόνωσης, καθώς και η αξιολόγηση των δεικτών της μυϊκής βλάβης και της μυϊκής τους απόδοσης, πριν, καθώς και 48 ώρες μετά το πρωτόκολλο πρόκλησης μυϊκής βλάβης. Δύο εβδομάδες αργότερα, επαρκές διάστημα για την επιστροφή των τιμών στη βασική γραμμή (Chleboun, Howell, Conatser & Giesey, 1998; Howell, Chleboun & Conatser, 1993; Sayers, Knight &

Clarkson, 2003), οι δοκιμαζόμενοι επισκέφθηκαν ξανά το εργαστήριο, ώστε να επαναλάβουν το ίδιο πρωτόκολλο άσκησης και τις ίδιες μετρήσεις αξιολόγησης, με το αντίθετο - από την προηγούμενη φορά - ασκούμενο πόδι, καθώς και με διαφορετική θεραπεία σε αυτό (με εφαρμογή έμπλαστρου 100mg με καψαϊκίνη ή καθόλου θεραπεία), ανάλογα με το είδος θεραπείας που είχαν υποστεί κατά την πρώτη τους συνεδρία.

Οι συνεδρίες πραγματοποιούνταν την ίδια ώρα - για κάθε δοκιμαζόμενο ξεχωριστά - τόσο τις ημέρες εκτέλεσης της έκκεντρης περιόδου άσκησης, και συγκεκριμένα κατά την 1^η και 4^η εβδομάδα του πειραματικού πρωτοκόλλου, όσο και τις ημέρες αξιολόγησης, δηλαδή 48 ώρες μετά από την εκάστη περίοδο έκκεντρης άσκησης.

Οι πειραματικές διαδικασίες - στις δύο περιόδους άσκησης - ξεκινούσαν αρχικά με μια μέτρηση 3 λεπτών της μυϊκής οξυγόνωσης σε κατάσταση ηρεμίας στον έξω πλατύ των δοκιμαζομένων, κι αμέσως μετά πραγματοποιούνταν η προθέρμανση, η οποία αποτελείτο από 8 λεπτά άσκησης στο κυκλοεργόμετρο και 5 λεπτά ασκήσεις διατάσεων στις κύριες μυϊκές ομάδες των κάτω άκρων. Ύστερα, ακολουθούσε η αξιολόγηση των δεικτών της μυϊκής βλάβης. Αμέσως μετά επαναλαμβάνονταν μια 3λεπτη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης, όπως και την πρώτη φορά. Στη συνέχεια, οι δοκιμαζόμενοι εκτελούσαν ένα πρωτόκολλο άσκησης (μονοποδικά άλματα πτώσης), για την πρόκληση μυϊκής βλάβης. Με την ολοκλήρωση της

άσκησης, πραγματοποιούνταν ξανά η αξιολόγηση του ύψους του κάθετου άλματος από ημικάθισμα. Αμέσως μετά, η ερευνήτρια έπαιρνε, ακόμη, μία μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης στον έξω πλατύ. Έπειτα, η ερευνήτρια εφαρμόζε στους δοκιμαζόμενους έμπλαστρο με ή χωρίς καψαϊκίνη στον έξω πλατύ του μέλους που είχε εκτελέσει την άσκηση. Οι δοκιμαζόμενοι λάμβαναν προφορικές και γραπτές οδηγίες για την ανανέωση των έμπλαστρων στην περιοχή. Αμέσως μετά την εφαρμογή του έμπλαστρου, ακολουθούσε ξανά μία 3λεπτη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης, και μία ακόμη έπειτα από διάστημα ανάπαυσης 15 λεπτών. Ακόμη, αμέσως μετά την τοποθέτηση του έμπλαστρου, ζητούνταν από τους δοκιμαζόμενους να επισημάνουν τη θερμική αίσθηση (TS) σε τέσσερα χρονικά σημεία κατά τη διάρκεια ανάπαυσής τους.

Πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της αιματικής ροής των τετρακέφαλων μηριαίων, η οποία προέκυψε από τον προσδιορισμό της οξυγόνωσης αυτών στην ηρεμία, εφαρμόζοντας εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS) πριν, αμέσως μετά την αξιολόγηση των δεικτών, αμέσως μετά την εκτέλεση της άσκησης, την εφαρμογή έμπλαστρου και 15 λεπτά ύστερα από αυτή, καθώς και έπειτα από 48 ώρες πριν και μετά την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης, και στις δύο περιόδους του πειραματικού πρωτοκόλλου άσκησης.

3.2. Έγκριση βιοηθικής

Όλοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα αφού πρώτα ενημερώθηκαν λεπτομερώς για τις πειραματικές διαδικασίες, προφορικώς και γραπτώς, καθώς και για τους

Η διαφορά των τιμών της μυϊκής οξυγόνωσης ανάμεσα στους δύο μηρούς των δοκιμαζομένων, έδειξε τη διαφορά των τιμών της αιματικής ροής ως απόκριση στην ασκησιογενή μυϊκή βλάβη, αλλά και στην επακόλουθη θεραπεία (με ή χωρίς καψαϊκίνη). Ακόμη, αξιολογήθηκε σε κάθε δοκιμαζόμενο η αύξηση του μυϊκού πόνου (DOMS) ως απόκριση στις έκκεντρες συσπάσεις, όσον αφορά στο επίπεδο πόνου χρησιμοποιώντας οπτική αναλογική κλίμακα πριν και 48 ώρες μετά την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης, και στις δύο περιόδους του πειραματικού πρωτοκόλλου άσκησης. Το ίδιο συνέβη και με την αξιολόγηση του εύρους κίνησης (ROM), καθώς και με τη μέτρηση της περιφέρειας των μηρών των δοκιμαζομένων (CIR). Επιπροσθέτως, για την αξιολόγηση των αλλαγών στην ικανότητα παραγωγής δύναμης, κάθε δοκιμαζόμενος ολοκλήρωνε δοκιμασία άλματος από ημικάθισμα (SJ) πριν την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης, της εκάστοτε περιόδου άσκησης, αμέσως μετά την ολοκλήρωση αυτής, και 48 ώρες μετά.

3.3. Δοκιμαζόμενοι

Στην παρούσα μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 29 υγιείς νέοι και φυσιολογικά δραστήριοι άνδρες (ηλικίας 19-32 ετών), (Πίνακας 3.1.) οι οποίοι πληρούσαν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις, και οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

πιθανούς κινδύνους που ενείχε η συμμετοχή τους στα πειράματα, ζητήθηκε ενυπόγραφη συγκατάθεση για τη συμμετοχή τους σε αυτά. Οι διαδικασίες ήταν σύμφωνες με τη Διακήρυξη του Ελσίνκι του 1975, ως αναθεωρήθηκε το 2000 και είχαν

Πίνακας 3.1. Χαρακτηριστικά (n=29) δοκιμαζόμενων.

(n=29)	Μέση Τιμή	±Τυπική Απόκλιση
ηλικία	25,2	6,5
ύψος	1,7	0,1
μάζα	76,1	14,5
% ΣΛ	16,5	17,1

εγκριθεί από την Επιτροπή Δεοντολογίας της Σχολής (αριθμός πρωτοκόλλου έγκρισης: 1298/14-07-2021).

3.4. Προκαταρκτικές δοκιμασίες

3.4.1. Προϋποθέσεις

Οι δοκιμαζόμενοι επισκέφθηκαν το εργαστήριο 5 φορές συνολικά για την ολοκλήρωση του πειραματικού πρωτοκόλλου σε τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά.

Οι συμμετέχοντες στην έρευνα δεν έπασχαν από καρδιολογικά προβλήματα, ούτε είχαν υποστεί κάποιου είδους μυοσκελετικό τραυματισμό στα κάτω άκρα το τελευταίο εξάμηνο πριν τη συμμετοχή τους στη μελέτη. Ακόμη, οι δοκιμαζόμενοι δεν είχαν εκτελέσει έκκεντρη άσκηση για τουλάχιστον 6 μήνες πριν από τη συμμετοχή τους στη μελέτη, και δεν έκαναν λήψη αντιφλεγμονωδών ή αναλγητικών φαρμάκων ή συμπληρωμάτων διατροφής κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου συλλογής δεδομένων και ένα μήνα πριν την έναρξη του πειράματος.

Δεν υπήρχε ειδικός έλεγχος στις διατροφικές συνήθειες των συμμετεχόντων στο πρωτόκολλο της παρούσας μελέτης. Πριν ξεκινήσουν το πρωτόκολλο, όλοι οι

συμμετέχοντες ολοκλήρωσαν 3 ημέρες, τις οποίες κατέγραψαν όλα τα τρόφιμα και τα ποτά που κατανάλωσαν. Έπειτα, ζητήθηκε από όλους τους συμμετέχοντες να αποφύγουν αλλαγές στη διατροφή τους, καθώς και την υιοθέτηση οποιασδήποτε διατροφικής στρατηγικής που μπορεί να επηρέαζε την απόκριση των μυών. Ακόμη, απαγορευόταν αυστηρά να κάνουν λήψη συμπληρωμάτων διατροφής ή μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φαρμάκων, και ακεταμινοφαίνης καθ' όλη τη διάρκεια συλλογής δεδομένων. Συστήθηκε ιδιαίτερα στους συμμετέχοντες στη μελέτη να τηρήσουν και να καταναλώσουν μια διατροφή που θα ήταν εύκολα αναπαραγώγιμη και θα αποτελούσε μια τυπική αναπαράσταση της φυσιολογικής τους διατροφής. Δημιουργήθηκαν αντίγραφα όλων των αρχείων καταγραφής της διατροφής των συμμετεχόντων, προκειμένου να επαναλάβουν τη διατροφή τους την επόμενη περίοδο έκκεντρης άσκησης. Επιπρόσθετα, τους ζητήθηκε να ακολουθήσουν διατροφή πλούσια σε υδατάνθρακες, καθώς και να μην έχουν ασκηθεί για 24 ώρες πριν την εκάστοτε συνεδρία στο εργαστήριο. Το βράδυ πριν από τις επισκέψεις στο εργαστήριο, τους ζητήθηκε να τρώνε το αργότερο στις 22:00 και να αποφύγουν τη χρήση καφεΐνης, νικοτίνης ή αλκοόλ για περίοδο 24 ωρών. Ζητήθηκε, ακόμη, από τους συμμετέχοντες να απέχουν από έντονες, ασυνήθιστες σωματικές δραστηριότητες καθ' όλη τη διάρκεια συλλογής δεδομένων. Για την ελαχιστοποίηση τυχόν συγκεχυμένων επιπτώσεων άλλων ερεθισμάτων άσκησης, όλοι οι συμμετέχοντες απείχαν από οποιαδήποτε προπόνηση του κάτω μέρους του σώματος

(συμπεριλαμβανομένου του τρεξίματος, της ποδηλασίας, του τζόκινγκ, κλπ.) για όλη τη διάρκεια της μελέτης.

Από τη μελέτη αποκλείστηκαν όσοι συμμετέχοντες διαγνώστηκαν ή υποβλήθηκαν σε θεραπεία για οποιοδήποτε καρδιαγγειακή, νεφρική, μεταβολική, ηπατική, ανοσολογική, ορθοπεδική, ψυχολογική, πνευμονική, αναπνευστική ή μυοσκελετική διαταραχή. Άτομα που έκαναν λήψη συμπληρωμάτων διατροφής ή φαρμάκων που βελτιώνουν την απόδοση (δηλαδή, κρεατίνη ή αναβολικά), με εξαίρεση την πολυβιταμίνη και τη διατροφική πρωτεΐνη, αποκλείστηκαν επίσης. Ακόμη, συμμετέχοντες που έκαναν λήψη οποιουδήποτε μη στεροειδών αντιφλεγμονώδη φαρμάκων (π.χ. ιβουπροφαίνη, ασπιρίνη κ.λπ.) και εκείνα τα άτομα που ήταν καθιστικά αποκλείστηκαν και αυτά. Τέλος, όλες οι γυναίκες συμμετέχουσες εξαιρέθηκαν από αυτήν τη μελέτη, λόγω του μηνιαίου εμμηνορροϊκού τους κύκλου και των ορμονικών αλλαγών που συμβαίνουν, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μια συγκεχυμένη επιρροή στην ασκησιογενή βλάβη (Sewright, Hubal, Kearns, Holbrook & Clarkson, 2008; Stupka, Lowther, Chorneyko, Bourgeois, Hogben & Tarnopolsky, 2000; Willoughy & Wilborn, 2006).

3.4.2. Εξοικείωση

Πριν από την έναρξη των πειραματικών συνθηκών οι συμμετέχοντες στη μελέτη επισκέφθηκαν το εργαστήριο, προκειμένου να εξοικειωθούν με τα όργανα μέτρησης και την πειραματική μεθοδολογία. Επιπροσθέτως, πραγματοποιούνταν και η μέτρηση των ανθρωπομετρικών

τους χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα, για την καταγραφή του ύψους μέτρησης των συμμετεχόντων σε εκατοστά, χρησιμοποιήθηκε ένας τυπικός σταδιομετρητής, και η μέτρηση του βάρους γινόταν με ελαφρύ ρουχισμό (σορτς), σε ζυγαριά ακριβείας 50gr (Bilance SALUS, Italy), όπου από λίβρες (lb) μετατρέποταν σε κιλά (Kg). Μετά τη μέτρηση του ύψους και του σωματικού βάρους των συμμετεχόντων, προσδιορίστηκε το ποσοστό σωματικού λίπους αυτών. Για τον υπολογισμό της λιπώδους σωματικής μάζας των δοκιμαζομένων, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των δερματοπτυχών και αναλύθηκε μέσω των εξισώσεων Jackson και συν. (1980) αφού πρώτα είχε υπολογιστεί η πυκνότητα του σώματος με την εξής εξίσωση: $Db(g/cc) = 1,0994921 - [0,0009929 * (\Sigma SKF) + [0,0000023 * (\Sigma SKF)^2] - [0,0001392 (ηλικία)]$

Χρησιμοποιήθηκαν 3 δερματοπτυχές (τρικεφαλική, υπερλαγόνια και μηριαία). Για την μετατροπή της πυκνότητας του σώματος σε ποσοστό λίπους χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Siri (1956):

$$\% \text{Λίπους} = [(5,01 / Db - 4,57) * 100]$$

Ακόμη, μετρήθηκε η περιφέρεια των μηρών (CIR) των δύο άκρων όλων των δοκιμαζομένων. Η μέτρηση έγινε από την ερευνήτρια στο μεσαίο τμήμα των μηρών, χρησιμοποιώντας μια ταινία μέτρησης SECA, ενώ οι δοκιμαζόμενοι κάθονταν με τους μυς χαλαρούς. Συγκεκριμένα, για την περιφέρεια του μέσου μηρού μετρήθηκε η περιμετρική απόσταση του μηρού κάθετα προς τον άξονα του μηριαίου οστού. Η τελευταία,

μετρήθηκε, ακόμη, και δέκα εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας (Chen et al., 2011; Nosaka et al., 2001).

Αναφορικά με την εξοικείωση στο πειραματικό πρωτόκολλο, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν 2-3 μονοποδικά άλματα πτώσης (DJ's), καθώς και 2-3 κάθετα άλματα από ημικάθισμα (SJ) σε πολύ χαμηλή ένταση και από ελάχιστο ύψος, ώστε να μην προκληθεί μυϊκή βλάβη.

3.5. Πειραματικό πρωτόκολλο

Η πειραματική διαδικασία της παρούσας μελέτης απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Ένας χιαστί σχεδιασμός χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, ο οποίος επέτρεψε να γίνουν συγκρίσεις εντός του ίδιου ατόμου. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν τυχαία σε δύο ομάδες (αναφορικά με τη θεραπεία που θα ακολουθούσε αμέσως μετά την εκτέλεση της ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης). Η κατανομή των συμμετεχόντων έγινε από την ερευνήτρια και δεν επιτράπηκε η αυτό-επιλογή. Η κύρια ερευνήτρια έλαβε αποφάσεις σχετικά με την τυχαία σειρά όταν αυτό κρίθηκε απαραίτητο στις αξιολογήσεις καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να καταγράψουν τη διατροφή τους για 3 ημέρες πριν από το πρώτο πρωτόκολλο άσκησης και να επαναλάβουν την ίδια δίαιτα πριν από

Κάθε δοκιμαζόμενος πραγματοποίησε συνολικά πέντε επισκέψεις. Η πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον 10 ημέρες πριν την έναρξη των πειραματικών διαδικασιών, και είχε ως στόχο την μέτρηση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών, την εξοικείωση με το έκκεντρο πρωτόκολλο μονοποδικής άσκησης,

το δεύτερο πρωτόκολλο άσκησης. Σε κάθε εθελοντή δόθηκε ένα γραπτό σύνολο οδηγιών για την παρακολούθηση της διατροφικής τους κατανάλωσης και ένα φύλλο καταγραφής της προσλαμβανόμενης τροφής. Τους ζητήθηκε να ακολουθήσουν διατροφή πλούσια σε υδατάνθρακες, και να μην έχουν κάνει άσκηση 24 ώρες πριν την εκάστοτε πειραματική συνεδρία.

Για την πρόκληση ασκησιογενούς βλάβης, χρησιμοποιήθηκε πλειομετρική άσκηση, που περιλάμβανε άλματα πτώσης. Η συγκεκριμένη μορφή άσκησης αποτελείται από ένα γρήγορο κύκλο επιμήκυνσης-βράχυνσης, ώστε να βελτιωθεί η εκρηκτικότητα, με την παραγωγή μέγιστης δύναμης και ταχύτητας κατά την ομόκεντρη φάση. Της ομόκεντρης φάσης, ωστόσο, προηγείται η έκκεντρη φάση επιβράδυνσης, κατά την οποία τεντώνονται μηχανικά οι άξονες τένοντα-μυών, συνδετικού ιστού και οι εγκάρσιες γέφυρες της ακτίνης-μυοσίνης. Για την επιβράδυνση της "πτώσης" αποθηκεύεται, κατά την έκκεντρη σύσπαση, ελαστική ενέργεια. Ωστόσο, σε άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα με πλειομετρικές ασκήσεις, αυτή η μορφή άσκησης ενδέχεται να προκαλέσει ήπια έως μέτρια βλάβη στους ασκούμενους μυς (Bridgeman, Gill, Dulson, & McGuigan, 2017; Dias et al., 2021).

καθώς και με τις δοκιμασίες αξιολόγησης της μυϊκής λειτουργικότητας και απόδοσης, χωρίς τη συλλογή δεδομένων. Αφού παρήλθαν δέκα ημέρες, πραγματοποιήθηκε η πρώτη περίοδος έκκεντρης μονοποδικής άσκησης, κι έπειτα από διακοπή δύο εβδομάδων η δεύτερη περίοδος αυτής. Οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν τις

δοκιμασίες μία φορά στο ένα πόδι με καψαϊκίνη και μία φορά στο άλλο πόδι με απλή αποστειρωμένη γάζα. Η επιλογή του ποδιού έγινε με τυχαίο τρόπο.

Πιο συγκεκριμένα, η δεύτερη επίσκεψη στο εργαστήριο περιλάμβανε την εκτέλεση της 1^{ης} περιόδου έκκεντρης μονοποδικής άσκησης, την αξιολόγηση δεικτών της μυϊκής βλάβης πριν την άσκηση, της απόδοσης του ύψους του κάθετου άλματος από το ημικάθισμα (SJ) και μετά από αυτή, καθώς και τη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης σε επτά διαφορετικά χρονικά σημεία. Αρχικά, οι δοκιμαζόμενοι κάθονταν αναπαυτικά σε μία καρέκλα, η ερευνήτρια τοποθετούσε το NIRS πάνω στη μυϊκή γαστέρα του έξω πλατύ μηριαίου μυός, που επρόκειτο να ασκηθεί, και συγκεκριμένα ~15 cm πάνω από το ανώτερο όριο της επιγονατίδας και ~5 cm πλευρικά προς το μέσο του μηρού. Η μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης διαρκούσε 3 λεπτά. Η τελευταία - όπως προαναφέρθηκε - έδειχνε την κατάσταση της αιματικής ροής του μηρού. Αμέσως μετά την αφαίρεση του NIRS, οι δοκιμαζόμενοι ολοκλήρωναν προθέρμανση από-τελούμενη από ποδηλασία 8 λεπτών σε κυκλοεργόμετρο τύπου LODE BV από την Ολλανδία στις 70 σ.α.λ. και στα 50W, ακολουθούμενη από 5 λεπτά στατικές διατατικές ασκήσεις των κύριων μυϊκών ομάδων των κάτω άκρων σε χαμηλή ένταση με συγκεκριμένες οδηγίες και επίβλεψη από την ερευνήτρια. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν διατάσεις για τον τετρακέφαλο μηριαίο, το δικέφαλο μηριαίο, τους προσαγωγούς και απαγωγούς, τον γαστροκνήμιο και τον αστράγαλο, διάρκειας 7-10 δευτερολέπτων η

καθεμία. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνταν - όπως προαναφέρθηκε - η αξιολόγηση δεικτών της ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης. Η τελευταία περιλάμβανε τον προσδιορισμό του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα, την εκτίμηση του αντιλαμβανόμενου μυϊκού πόνου και του εύρους κίνησης, καθώς και την μέτρηση της περιφέρειας των δύο μηρών, για κάθε ένα πόδι ξεχωριστά. Μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης των παραπάνω δεικτών της μυϊκής βλάβης, οι δοκιμαζόμενοι καθόντουσαν και η ερευνήτρια τοποθετούσε ξανά το NIRS στον έξω πλατύ των δύο μηρών, και γινόταν καταγραφή της μυϊκής οξυγόνωσης για 3 λεπτά. Μετά την απομάκρυνση του NIRS, οι δοκιμαζόμενοι υποβάλλονταν σε εκτέλεση της 1^{ης} περιόδου έκκεντρης μονοποδικής άσκησης για την πρόκληση βλάβης του επιλεγμένου τετρακέφαλου μηριαίου.

Οι δοκιμαζόμενοι ολοκλήρωναν 6 σετ των 20 επαναλήψεων με μονοποδικά άλματα πτώσης (DJ's), όπως έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Dias et al., 2021), με το επιλεγμένο για τη συγκεκριμένη συνεδρία πόδι, ενώ το άλλο χρησιμοποιήθηκε ως έλεγχος. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, δεν υπήρχε ανάπαυση μεταξύ των αλμάτων πτώσης, αλλά μόνο ένα διάστημα ξεκούρασης 2 λεπτών μεταξύ των σετ (Guan, Lin, Yin, Liu, Liu & Qi, 2021). Για την εκτέλεση των αλμάτων οι συμμετέχοντες πηδούσαν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα από υπερυψωμένη πλατφόρμα, ύψους 0,20m, με το επιλεγμένο για τη συνεδρία πόδι να ακουμπά στο έδαφος. Έπειτα, τους ζητήθηκε να σταθεροποιούνται στη

θέση αυτή για 2-3 δευτερόλεπτα, προτού εκτελέσουν το επόμενο άλμα. Κατά την εκτέλεση της άσκησης, τα χέρια των συμμετεχόντων ήταν τοποθετημένα στη μέση, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε κίνηση αιώρησης βραχίονα αυτών. Κάθε επανάληψη εποπτευόταν από τους ερευνητές, χρησιμοποιώντας ένα μετρονόμο, ώστε να βοηθήσει στη σωστή χρονική στιγμή κάθε άλματος. Οι δοκιμαζόμενοι ενθαρρύνονταν, ακόμη, προφορικά, ώστε να καταβάλουν τη μέγιστη προσπάθεια, αν και η απόδοση μειωνόταν με τη συνέχιση της άσκησης, λόγω της κόπωσης.

Αμέσως μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου έκκεντρης μονοποδικής άσκησης, πραγματοποιούνταν μία ακόμη αξιολόγηση του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ), καθώς αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη της απόδοσης (ref). Μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης του SJ των δοκιμαζομένων, θα πραγματοποιούνταν ξανά μία 3λεπτη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης στον έξω πλατύ τόσο του μέλους που πραγματοποίησε την άσκηση, όσο και του ποδιού ελέγχου, ώστε να φανεί η επίδραση της άσκησης στην αιμάτωση του κάτω άκρου. Στη συνέχεια, η ερευνήτρια, αφού αφαιρούσε το NIRS από τον έξω πλατύ του ασκούμενου άκρου των δοκιμαζομένων, εφάρμοζε στην επάνω μοίρα του τετρακέφαλου έμπλαστρο με ή χωρίς καψαϊκίνη. Έπειτα, η ερευνήτρια τοποθετούσε για ακόμη μια φορά το NIRS στον ασκούμενο τετρακέφαλο μηριαίο των δοκιμαζομένων, και πραγματοποιούνταν μια 3λεπτη μέτρηση αμέσως μετά την εφαρμογή του έμπλαστρου, και μια 3λεπτη μέτρηση 15 λεπτά αργότερα, με

σκοπό να φανεί η επίδραση ή όχι της καψαϊκίνης. Επίσης, αμέσως μετά την εφαρμογή του έμπλαστρου στον ασκούμενο τετρακέφαλο μηριαίο, κατά τις δύο τελευταίες μετρήσεις της μυϊκής οξυγόνωσης αυτού, αλλά και κατά την 15λεπτη ανάπαυση των δοκιμαζομένων, δηλαδή σε τέσσερα διαφορετικά χρονικά σημεία, η ερευνήτρια ζητούσε από αυτούς να της υποδεικνύουν τη θερμική αίσθηση (TS) από μια κλίμακα που κυμαίνεται από το 1 (ουδέτερο) έως το 10 (πολύ καυτό). Η εφαρμογή του έμπλαστρου γινόταν σε υγιές, καθαρό και στεγνό δέρμα. Ακόμη, το έμπλαστρο (ολόκληρο) εφαρμοζόταν σε οριζόντια θέση στο επάνω μέρος της πρόσθιας μοίρας του τετρακέφαλου μηριαίου του ασκούμενου άκρου.

Αναμενόταν ότι στη συνθήκη της θερμοθεραπείας, οι δοκιμαζόμενοι αρχικά θα αισθανόντουσαν μια δυσφορία από την τοποθέτηση του έμπλαστρου, υποδεικνύοντας υψηλό βαθμό στην κλίμακα θερμικής αίσθησης (TS), αλλά και ότι η μυϊκή οξυγόνωση του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου θα αυξανόταν αμέσως μετά την εφαρμογή του έμπλαστρου με καψαϊκίνη, με σημαντικότερη αύξηση 15 λεπτά αργότερα. Το γεγονός ετούτο, θα σήμαινε ότι στη συνθήκη θερμοθεραπείας η αιματική ροή (BF) του ασκούμενου άκρου θα αυξανόταν σημαντικά. Το τελευταίο συνεπάγεται αύξηση της μικροαγγειακής λειτουργίας και αύξηση της ανασύνθεσης του γλυκογόνου. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την ταχύτερη αποκατάσταση του ασκούμενου άκρου σε σύγκριση με τη λειτουργικότητα αυτού στη συνθήκη ελέγχου. Έτσι, 48 ώρες μετά την εκτέλεση της EIMD, η αξιολόγηση

των δεικτών ασκησιογενούς βλάβης αναμενόταν ότι θα έχει θετικότερα αποτελέσματα στη συνθήκη της θερμοθεραπείας, με μειωμένη αίσθηση πόνου των ασκούμενων μυών, αυξημένο εύρος κίνησης, αλλά και υψηλότερο κάθετο άλμα από ημικάθισμα.

Ζητήθηκε από τους δοκιμαζόμενους να εναλλάσσουν ανά 12 ώρες τα έμπλαστρα, (που τους δόθηκαν) στο επάνω και στο κάτω μέρος του τετρακέφαλου μηριαίου του ασκούμενου άκρου, προκειμένου να έχει παρέλθει ένα χρονικό διάστημα μέχρι την επανατοποθέτηση νέου στο ίδιο σημείο, ώστε - στη συνθήκη της θερμοθεραπείας - να μην υπάρξει ερύθημα και να έχει επανέλθει το δέρμα σε φυσιολογική όψη. Επίσης, για την απομάκρυνση τυχόν υπολειμμάτων του έμπλαστρου συμβουλευτήκαν από την ερευνήτρια να χρησιμοποιούν φυτικό έλαιο ή κρέμα ενυδάτωσης.

Πιο συγκεκριμένα, το βράδυ της ίδιας ημέρας, δηλαδή μόλις περάσουν οι 12 ώρες από την τοποθέτηση του πρώτου έμπλαστρου στον τετρακέφαλο μηριαίο, οι συμμετέχοντες αφαιρούσαν το υπάρχον και τοποθετούσαν νέο, αυτή τη φορά, όμως, στο κάτω μέρος του τετρακέφαλου μηριαίου του ασκούμενου ποδιού.

Την επόμενη ημέρα από την εκτέλεση της 1^{ης} περιόδου έκκεντρης άσκησης, και εφόσον είχαν παρέλθει άλλες 12 ώρες, οι δοκιμαζόμενοι αφαιρούσαν το έμπλαστρο από το κάτω μέρος του τετρακέφαλου ορθού μηριαίου, το οποίο είχαν εφαρμόσει το προηγούμενο βράδυ, και επανατοποθετούσαν καινούργιο στο επάνω μέρος της πρόσθιας μοίρας αυτού. Έπειτα από 12 ώρες,

αφαιρούσαν το έμπλαστρο από το επάνω μέρος του τετρακέφαλου ορθού μηριαίου, το οποίο είχαν τοποθετήσει το πρωί, και έβαζαν ξανά νέο στο κάτω μέρος αυτού.

Το επόμενο πρωί, 12 ώρες μετά την τελευταία εφαρμογή του έμπλαστρου, και 48 ώρες μετά την εκτέλεση της 1^{ης} περιόδου έκκεντρης άσκησης, οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποιούσαν την 3^η επίσκεψη στο εργαστήριο, προκειμένου να αξιολογηθούν οι δείκτες μυϊκής βλάβης, και συγκεκριμένα το ύψος κάθετου άλματος από ημικάθισμα, η εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου, το εύρος κίνησης, η μέτρηση της περιφέρειας του μηρού για την ύπαρξη οιδήματος, καθώς και η μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης πριν κι αμέσως μετά τις δοκιμασίες αξιολόγησης. Τόσο η μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης όσο και η εκτίμηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης πραγματοποιούνταν εφόσον είχε αφαιρεθεί το έμπλαστρο από το πόδι των δοκιμαζομένων.

Μετά την πάροδο δύο εβδομάδων, οι δοκιμαζόμενοι ερχόντουσαν για τέταρτη φορά στο εργαστήριο Εργοφυσιολογίας. Σε ετούτη την επίσκεψη, οι συμμετέχοντες εκτελούσαν τη 2^η περίοδο έκκεντρης άσκησης. Το πρωτόκολλο της τελευταίας ήταν το ίδιο και στις δύο περιόδους, με τη διαφορά ότι η εκτέλεση των αλμάτων πτώσης (DJ's) γινόταν με το ετερόνυμο πόδι από αυτό που ασκήθηκε την προηγούμενη (περίοδο άσκησης). Μια, ακόμη, διαφορά - εκτός από το ασκούμενο πόδι - ήταν η θεραπευτική παρέμβαση ή όχι, που ακολουθούσαν οι δοκιμαζόμενοι.

Η επιλογή του ποδιού που εκτελούσε τα άλματα πτώσης κατά την 1^η περίοδο έκκεντρης άσκησης, καθώς και η επιλογή της θεραπευτικής παρέμβασης ή όχι που ακολουθούσε ο εκάστοτε δοκιμαζόμενος, γινόταν με τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά.

Στη συνθήκη της θερμοθεραπείας, κάθε ένα έμπλαστρο που εφαρμόζοταν στο ασκούμενο άκρο των συμμετεχόντων στην έρευνα, περιείχε 100mg με περιεκτικότητα σε καψαϊκίνη 0,9-1,1 %. Τα έμπλαστρα τοποθετούνταν τοπικά στο δέρμα, και συγκεκριμένα στον τετρακέφαλο μηριαίο των δοκιμαζομένων, προκαλώντας σε πρώτη φάση ερεθισμό στην περιοχή, που εκδηλωνόταν με συμπτώματα όπως ερύθημα και αίσθημα καύσου με ή χωρίς κνησμό. Σε δεύτερη φάση, η δράση της καψαϊκίνης συνδέεται με απευαισθητοποίηση των αισθητικών νευρών του άλγους, φέροντας έτσι αναλγητικά

αποτελέσματα στον ασκούμενο μυ (Johnson, 2007). Τα έμπλαστρα - με καψαϊκίνη - που χρησιμοποίησε συνολικά ο κάθε ένας δοκιμαζόμενος κατά την περίοδο που υπέστη θερμοθεραπεία, για την εξέταση της αποκατάστασης από την προκληθείσα ασκησιογενή βλάβη, ήταν τέσσερα.

Άτομα με ευαίσθητο δέρμα πρώτα τοποθετούσαν δοκιμαστικά ένα μικρό κομμάτι του εμπλάστρου στην εσωτερική πλευρά του βραχίονα για να διαπιστώσουν ότι δεν προκαλεί εξάνθημα, έντονη ερυθρότητα ή κνησμό. Εάν κάποιος εκδήλωνε ευαισθησία στο καψαϊκινόειδές, η θεραπεία θα διακοπτόταν και θα εφαρμόζοταν άμεσα γιαούρτι στην πάσχουσα περιοχή. Το γιαούρτι θα δημιουργούσε μια μεμβράνη

πρωτεΐνης που βοηθά στην ανακούφιση της δυσφορίας, λειτουργώντας ως καταπραϊντικό.

3.6. Όργανα μέτρησης των δεικτών MD

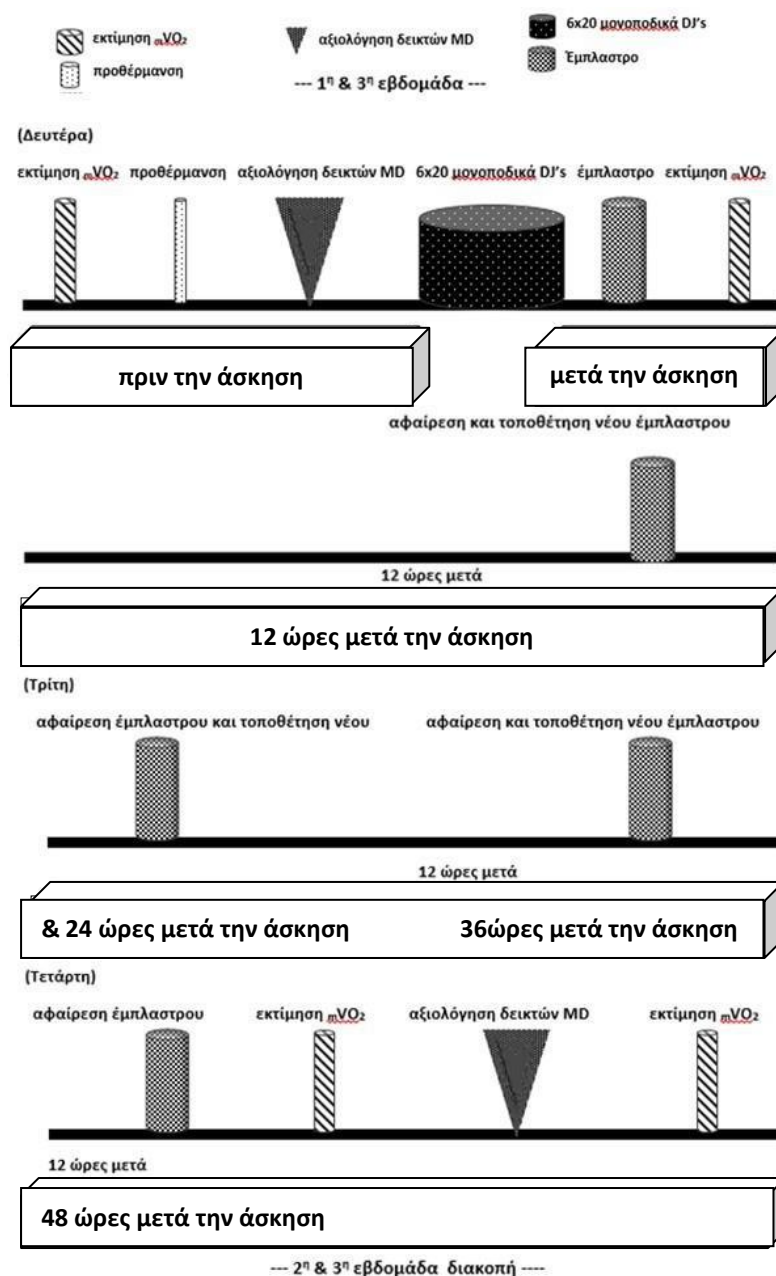
3.6.1. Εκτίμηση του επιπέδου της καθυστερημένης έναρξης μυϊκού πόνου (DOMS)

Η καθυστερημένη εμφάνιση μυϊκού πόνου αξιολογήθηκε με οπτική αναλογική κλίμακα (εικόνα 1), πριν και 48 ώρες μετά την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης. Η κλίμακα αποτελούνταν από 10 υποδεικνυόμενα χρονικά σημεία, σχεδιάζοντας μια γραμμή κάθετη που επεκτείνεται από το 0-10 cm, και κυμαινόταν από το 1 (κανονικό) έως το 10 (πολύ επώδυνο). Ζητούνταν από τους συμμετέχοντες να καθίσουν αργά σε μία (ρυθμιζόμενη) καρέκλα, και λίγο πριν τα γόνατα σχηματίσουν γωνία 90° να επισημάνουν τον αντιληπτό τους πόνο στην κλίμακα (Margaritelis, Theodorou, Baltzopoulos, Maganaris, 2015; Margaritelis, Theodorou, Kyparos, Nikolaidis & Paschalis, 2019; Margaritelis, Theodorou, 2011).

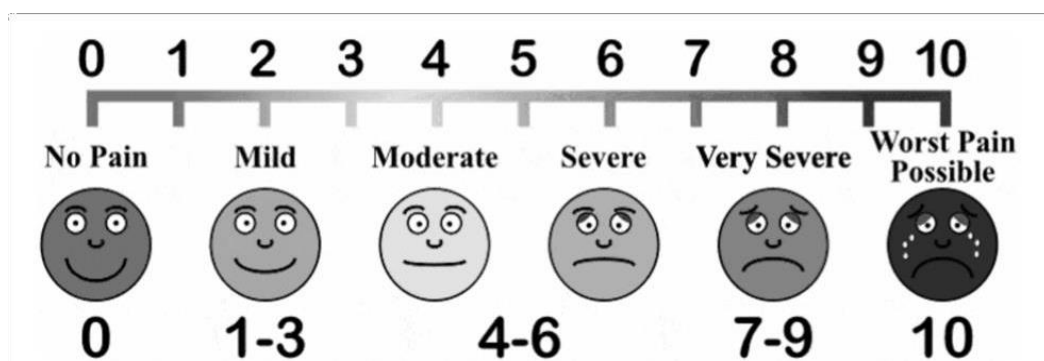
Στο σημείο ετούτο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η καρέκλα είχε ρυθμιστεί, ώστε τα γόνατα του κάθε δοκιμαζόμενου ξεχωριστά να σχηματίζουν γωνία 90° σε καθιστή θέση. Η τελευταία είχε μετρηθεί με γωνιόμετρο κατά την αξιολόγηση που προηγούταν της άσκησης. Παρά το γεγονός ότι η εκτίμηση του αντιλαμβανόμενου μυϊκού πόνου είναι υποκειμενική, η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης του πόνου έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές προηγούμενες έρευνες και είναι συνήθως αποδεκτή για το σκοπό ετούτο (Clarkson, Nosaka & Braun et

al., 1992; Jamurtas et al., 2005; Kerkick, Kreider & Willoughby, 2010; Mike, Cole, Herrera, Van Dusseldorp, Kravitz & Kerkick, 2017; Paschalis, Nikolaidis, Giakas,

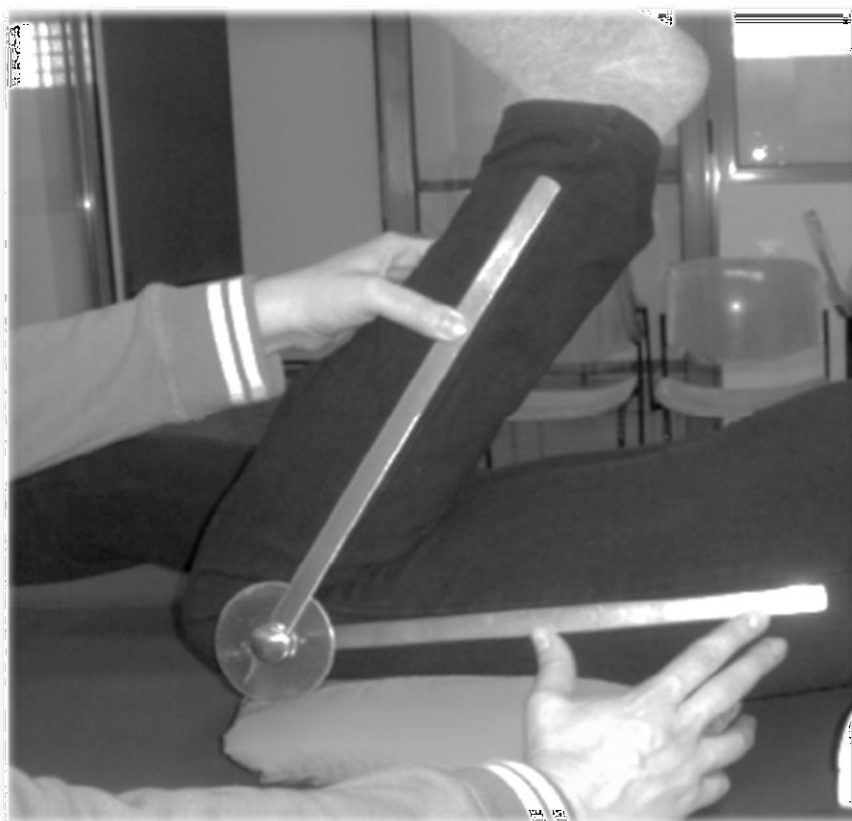
Jamurtas, Owolabi & Koutedakis, 2008; Paschalis et al., 2010; Paschalis, Nikolaidis, Theodorou, Panayiotou, Fatouros, Koutedakis & Jamurtas, 2011)



Σχήμα 3.1. Πειραματικό πρωτόκολλο



Εικόνα 3.1. Η αξιολόγηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου πραγματοποιήθηκε με την οπτική αναλογική κλίμακα που απεικονίζεται πριν και 48 ώρες μετά την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης.



Εικόνα 3.2. Προσδιορισμός του εύρους κίνησης με τη χρήση γωνιόμετρου πριν και 48 ώρες μετά από την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης.

3.6.2. Προσδιορισμός του εύρους κίνησης (ROM)

Η αξιολόγηση του εύρους κίνησης (ROM) πραγματοποιήθηκε με παθητική κάμψη του ασκούμενου άκρου από την ερευνήτρια. Η τελευταία μετακινούσε το ασκούμενο άκρο σε πολύ χαμηλή γωνιακή ταχύτητα από πλήρη έκταση (0°) του γόνατος, όπου όλοι οι συμμετέχοντες δε ένιωθαν πόνο, στη θέση όπου άρχιζαν να αισθάνονται οποιαδήποτε δυσφορία. Η γωνία ετούτη καταγραφόταν για να υποδείξει το τέλος τους εύρους κίνησης (ROM) χωρίς πόνο (Cejudo, Sainz de Baranda, Ayala, DeSteCroix & Santonja-Medina, 2020; Holm, Bolstad, Lütken, Ervik, Røkkum & Steen, 2000).

3.6.3. Προσδιορισμός της περιφέρειας των μηρών (CIR)

Η μέτρηση της περιφέρειας των δύο μηρών γινόταν από την ερευνήτρια στο μεσαίο τμήμα των μηρών, καθώς και δέκα εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας, χρησιμοποιώντας μια ταινία μέτρησης SECA, ενώ οι δοκιμαζόμενοι βρίσκονταν σε όρθια θέση. Συγκεκριμένα, για την περιφέρεια του μέσου μηρού μετρίονταν η περιμετρική απόσταση του μηρού κάθετα προς τον άξονα του μηριαίου οστού (Chen et al., 2011; Nosaka et al., 2001). Η τελευταία, μετρίονταν, ακόμη, και δέκα εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας. Η μέτρηση της περιφέρειας των μηρών των δοκιμαζομένων πραγματοποιήθηκε - όπως αναφέρθηκε προηγουμένως - κατά την εξοικείωση αυτών, πριν την εκτέλεση της άσκησης που προκαλεί μυϊκή βλάβη, καθώς και 48 ώρες μετά την εκάστοτε συνεδρία άσκησης.

3.6.4. Προσδιορισμός του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ)

Πριν και μετά τις δύο περιόδους έκκεντρης άσκησης, αξιολογήθηκε, ακόμη, το ύψος κάθετου άλματος από ημικάθισμα. Το σύστημα Optogait χρησιμοποιήθηκε, εφόσον ελέγχθηκε πρωτίστως η εγκυρότητα και η αξιοπιστία της μεθοδολογίας (Lienhard, Schneider & Maffiuletti, 2013; Simonsen, 2014), για την εκτίμηση του ύψους του κάθετου άλματος (SJ), με τη μέτρηση της διαφοράς μεταξύ του ύψους της πλήρως εκτεταμένης στάσης και του ύψους του μέγιστου κάθετου άλματος (Healy, Linyard-Tough & Chockalingam, 2019). Το ύψος προσέγγισης για το Optogait καθορίστηκε χρησιμοποιώντας μια όρθια στάση σώματος, με τα δύο πόδια παράλληλα μεταξύ τους και επίπεδα στο έδαφος, τα δύο χέρια τοποθετημένα στη μέση, και με το κεφάλι και τα μάτια σε ουδέτερη θέση (Attia, Dhahbi, Chaouachi, Padulo, Wong & Chamari, 2017; Rossetti, Munford, Snyder, Davis & Moir, 2020). Ανατέθηκε στους δοκιμαζόμενους να πραγματοποιήσουν ένα κάθετο άλμα με από ημικάθισμα (SJ). Οι συμμετέχοντες ξεκινούσαν σε όρθια θέση με τα πόδια παράλληλα το ένα με το άλλο και στο πλάτος των ώμων. Τα χέρια ήταν τοποθετημένα στη μέση, για την αποφυγή οποιασδήποτε κίνησης αιώρησης του βραχίονα των δοκιμαζομένων. Μετά από μια προφορική ένδειξη από την ερευνήτρια, οι συμμετέχοντες εκτελούσαν ένα γρήγορο κάθισμα, κάμπτοντας τα γόνατα και τους γοφούς σε γωνία 90° . Στεκόντουσαν για 2-3 δευτερόλεπτα στη θέση αυτή, ώστε η ερευνήτρια να πάρει μια



Εικόνα 3.3. Ο προσδιορισμός της απόδοσης στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα πραγματοποιήθηκε με την χρήση συστήματος optogait πριν και 48 ώρες μετά την εκτέλεση έκκεντρης άσκησης.



Εικόνα 3.4. Η ποσοτικοποίηση των μεταβολών της μυϊκής οξυγόνωσης του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου έγινε με την χρήση εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS).

μια γρήγορη μέτρηση της γωνίας κάμψης των γονάτων, με ένα γωνιόμετρο, κι έπειτα εκτείνονταν εκρηκτικά με τους γοφούς, τα γόνατα και τους αστραγάλους, ώστε να πηδήξουν όσο το δυνατόν ψηλότερα, προκειμένου να επιτύχουν το μέγιστο ύψος άλματος. Μετά την αρχική περιγραφή του SJ, οι δοκιμαζόμενοι εκτελούσαν 2 άλματα για προθέρμανση. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες στη μελέτη εκτελούσαν 3 άλματα μέγιστης προσπάθειας. Ανάμεσα σε κάθε προσπάθεια θα υπήρχε διάστημα ανάπαυσης 1 λεπτού. Καταγραφόταν το καλύτερο από τις 3 δοκιμές.

3.6.5. Μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης (NIRS)

Για τη μέτρηση της μυϊκής οξυγόνωσης του τετρακέφαλου μηριαίου χρησιμοποιήθηκε εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS). Η μέθοδος NIRS βασίζεται στις διαφορετικές ιδιότητες απορρόφησης του υπέρυθρου μεταδιδόμενου φωτός από τα χρωμοσφαιρίδια, αιμοσφαιρίνη (Hb), μυοσφαιρίνη (MHb) και κυτόχρωμα οξειδωσης σε περιοχή φάσματος συχνοτήτων μεταξύ 700 nm και 1000 nm (Hamaoka, McCully, Niwayama & Chance, 2011; LaMantia, Neidert & Kluess, 2018; Lucero et al., 2018; Mancini, Bolinger, Li, Kendrick, Chance & Wilson, 1994; Quaresima, Lepanto & Ferrari, 2003). Στο φάσμα συχνοτήτων 760 nm, η αιμοσφαιρίνη εμφανίζεται κυρίως σε αποξυγονωμένη (HHb) κατάσταση, ενώ στα 850 nm η αιμοσφαιρίνη παρουσιάζεται σε οξυγονωμένη (O_2Hb) μορφή. Οι διαφορές που παρατηρούνται στην απορρόφηση του υπέρυθρου φωτός μεταξύ των δύο αυτών μηκών φάσματος

υπέρυθρης ακτινοβολίας αντανακλά τις σχετικές μεταβολές στον κορεσμό της O_2Hb σε αρτηρίδια, τριχοειδή αγγεία και φλεβίδια με διάμετρο μικρότερο από 200 nm, ενώ το άθροισμα της απορρόφησης του υπέρυθρου φωτός από την HHb και O_2Hb αντιπροσωπεύει τις σχετικές μεταβολές στον τοπικό όγκο αίματος (Ahmadi, Sinclair, Foroughi & Davis, 2008; Boushel & Piantadosi, 2000; Ferrari et al., 2004; Ferrari, Jones, Hesford & Cooper, 2013; McCully & Hamaoka, 2000; Miranda-Fuentes, Chiroso-Ríos, Guisado-Requena, Delgado-Floody & Jerez-Mayorga, 2021; Muthalib & Quaresima, 2011; Grassi & Quaresima, 2016; Sun, Ferguson, Rogatzki, McDonald & Gladden, 2016).

Οι δοκιμαζόμενοι κάθονταν αναπαυτικά σε μία καρέκλα, και η ερευνήτρια τοποθετούσε τις οπτικές ίνες NIRS πάνω στη μυϊκή γαστέρα του έξω πλατύ μηριαίου μυός, και συγκεκριμένα ~15 cm πάνω από το ανώτερο όριο της επιγονατίδας και ~5 cm πλευρικά προς το μέσο του μηρού. Έπειτα, η ερευνήτρια σταθεροποιούσε το NIRS με ειδική ταινία γύρω από τον τετρακέφαλο μηριαίο και το κάλυπτε με σκουρόχρωμο ελαστικό επίδεσμο. Η καταγραφή των δεδομένων του NIRS πραγματοποιούνταν με συχνότητα δειγματοληψίας 10 Hz για διάστημα 3 λεπτών σε ηρεμία πριν την αξιολόγηση των δεικτών ασκησιογενούς βλάβης, μετά από αυτή, αμέσως μετά την εκτέλεση της άσκησης, αμέσως μετά την εφαρμογή έμπλαστρου, καθώς και 15 λεπτά αργότερα, σε εκάστη περίοδο άσκησης, καθώς και πριν και μετά την αξιολόγηση των δεικτών ασκησιογενούς βλάβης 48 ώρες μετά. Οι σχετικές μεταβολές συγκέντρωσης

της οξυγονωμένης, αποξυγονωμένης και συνολικής αιμοσφαιρίνης θα εκφραστούν ως η διαφορά των τιμών της θερμοθεραπείας μείον τις τιμές πριν την παρέμβαση, καθώς και της συνθήκης ελέγχου, αντιστοίχως.

Η εγκυρότητα της μεθόδου NIRS για την ποσοτικοποίηση των μεταβολών της μυϊκής οξυγόνωσης έχει διερευνηθεί πλήρως (Auger, Bherer, Boucher, Hoge, Lesage & Dehaes, 2016; Barstow, 2019; Bhambhani, 2004; Binzoni, Cooper, Wittekind, Beneke, Elwell, Van De Ville & Leung, 2010; Boushel et al., 2000; 2001; Hamaokam et al., 1996; Guenette et al., 2008; Mantia et al., 2018). Οι ερευνητές την αποδέχονται ως μια αποτελεσματική μέθοδο καταγραφής της μυϊκής οξυγόνωσης καθώς και του τοπικού όγκου αίματος μέσω των μεταβολών συγκέντρωσης της οξυγονωμένης ($[\Delta O_2Hb]$), αποξυγονωμένης ($[\Delta HHb]$) και συνολικής ($[\Delta THb]$) αιμοσφαιρίνης, δείκτες που παρέχουν έμμεσες πληροφορίες για την ιστική παροχή οξυγόνου, την απόσπαση ή χρησιμοποίηση του και τον συνολικό όγκο αίματος καθώς το σήμα αντανακλά την ισορροπία μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου από τον σκελετικό ιστό (Carr, 2019; Boushel, Langberg, Olesen, Gonzales-Alonzo, Bulow & Kjaer, 2001; Gurley, Shang & Yu, 2012). Ειδικότερα, η μέθοδος NIRS συσχετίζεται σε υψηλό βαθμό με την ενδοκυτταρική μερική πίεση του οξυγόνου σε μυϊκό επίπεδο, καθώς και του κορεσμού του μικτού φλεβικού αίματος σε οξυγόνο στο μυϊκό ιστό (Mancini, Bolinger, Kendrick, Chance & Wilson, 1994).

3.7. Στατιστική ανάλυση

Εφόσον επιβεβαιώθηκε η κανονικότητα της κατανομής, χρησιμοποιήθηκε πολλαπλής κατεύθυνσης ANOVA επαναλαμβανόμενων μετρήσεων 2x2, όπου οι δύο πρώτοι παράγοντες είναι οι δύο θεραπευτικές παρεμβάσεις (εικονική & θερμική θεραπεία), και οι άλλοι δύο παράγοντες είναι τα δύο χρονικά σημεία αξιολόγησης (πριν & μετά την EIMD). Ακόμη, για την εξέταση τυχόν διαφορών μεταξύ των συνθηκών έγινε post-hoc ανάλυση με έλεγχο Bonferroni. Η στατιστική σημαντικότητα ορίστηκε στο 0,05. Η ανάλυση έγινε στο IBM SPSS statistics 28.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Αποτελέσματα

Οι συμμετέχοντες στην παρούσα μελέτη υποβλήθηκαν σε ένα πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης, προκειμένου να προκληθεί μυϊκή βλάβη στον τετρακέφαλο μηριαίο μυ του ποδιού άσκησης. Αυτό περιλάμβανε 6 σειρές άσκησης των 20 μονοποδικών αλμάτων πτώσης με 2 λεπτά διάλειμμα ανάμεσα σε κάθε σειρά άσκησης. Έπειτα ακολούθησαν δύο διαφορετικές θεραπείες, σε κάθε μία εβδομάδα πειράματος, και με διαφορετικό πόδι άσκησης τη φορά. Την μία περίοδο με τις 6 σειρές άσκησης ακολούθησε, λοιπόν, εικονική θεραπεία - με τοποθέτηση απλών αποστειρωμένων γαζών στον ασκούμενο τετρακέφαλο μυ - και (δύο εβδομάδες αργότερα) τη δεύτερη περίοδο άσκησης ακολούθησε θερμική θεραπεία - με τοποθέτηση στο σημείο MD έμπλαστρων με καψαϊκίνη - για 48 ώρες, κι αντιστρόφως. Πριν την εκτέλεση της άσκησης και 48 ώρες μετά από συνεχόμενη θεραπεία εξετάστηκαν οι δείκτες ασκησιογενούς βλάβης, και συγκεκριμένα ο DOMS, το SJ από ημικάθισμα, το ROM, καθώς και η CIR του ασκούμενου κάθε φορά μηρού. Ακόμη, ελέγχθηκε η μυϊκή οξυγόνωση του Π.Α, ώστε να εξεταστεί εάν η θεραπεία με καψαϊκίνη αύξησε την BF του Π.Α και κατ' επέκταση εάν επιτάχυνε την

αποκατάσταση από την προκληθείσα ασκησιογενή βλάβη.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης προκάλεσε την αναμενόμενη ασκησιογενή βλάβη, εφόσον επηρεάστηκαν σημαντικά οι περισσότεροι δείκτες αυτής. Συγκεκριμένα:

4.1. Καθυστερημένος μυϊκός πόνος στο ημικάθισμα (DOMS)

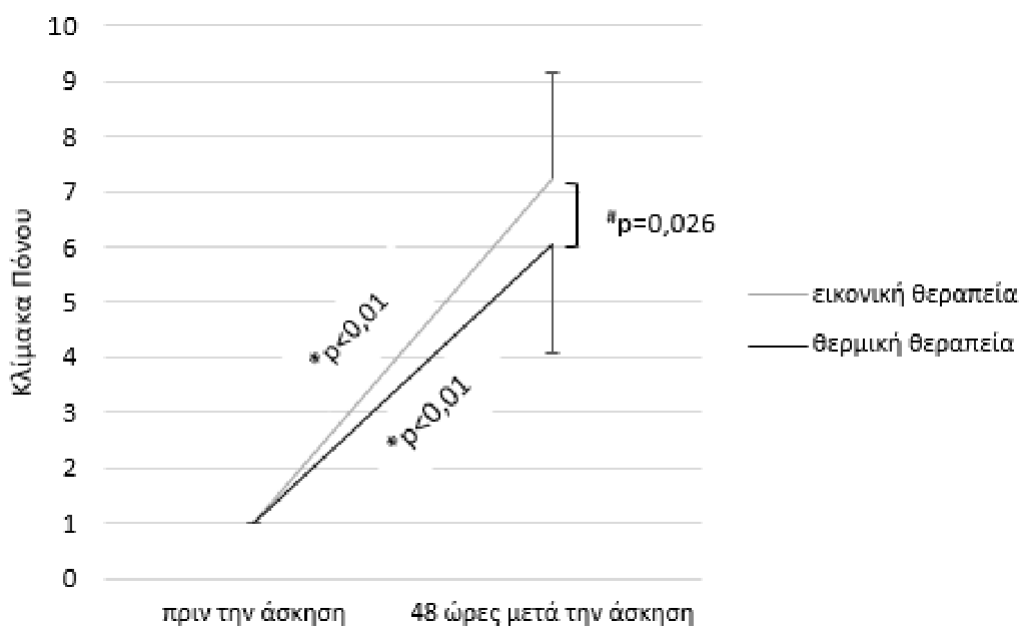
Ο αντιλαμβανόμενος μυϊκός πόνος ήταν στο ίδιο χαμηλό επίπεδο ($t_1 = 1$) στην αρχή κάθε ενός πειράματος (για τη συνθήκη θεραπείας κι ελέγχου, αντίστοιχα). Μετά την EIMD, και συγκεκριμένα 48 ώρες μετά από αυτή, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος αυξήθηκε σημαντικά και στις δύο συνθήκες ($p < 0,001$ & μεγάλο ES: 0,923). Συγκεκριμένα, η στατιστική ανάλυση έδειξε σημαντική διαφορά μεταξύ της χρονικής στιγμής t_1 (πριν την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης) και της χρονικής στιγμής t_2 (48 ώρες μετά την άσκηση) τόσο στην εικονική (PL) όσο και στη θερμική (HT) συνθήκη ($p < 0,001$ & μεγάλους βαθμούς επίδρασης ES: 0,876 & ES: 0,833, αντίστοιχα). Επομένως, από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης επηρέασε σημαντικά τον DOMS στο ημικάθισμα αναδεικνύοντας αυτόν σε αξιόπιστο δείκτη MD.

Επιπρόσθετα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1., όταν συγκρίθηκαν οι αλλαγές στον DOMS μεταξύ της ομάδας που υποβλήθηκε σε εικονική (PL) και της ομάδας που υποβλήθηκε σε θερμική (HT) θεραπεία (με καψαϊκίνη), οι αναφορές για τον DOMS στο ημικάθισμα ήταν μικρότερες έπειτα από τη 48ωρη θερμική θεραπεία συγκριτικά με την αντίστοιχη εικονική. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τον στατιστικό έλεγχο κατά τον οποίο φάνηκε ότι η αίσθηση του πόνου στην συνθήκη με την καψαϊκίνη 48 ώρες μετά την άσκηση ήταν $1,1 \pm 0,0$ μονάδες χαμηλότερη και στατιστικά σημαντική σε σχέση με την εικονική συνθήκη ($p=0,026 < 0,05$ & μέσο ES: 0,085). Συνεπώς, αναφορικά με τον DOMS στο ημικάθισμα, η θερμική

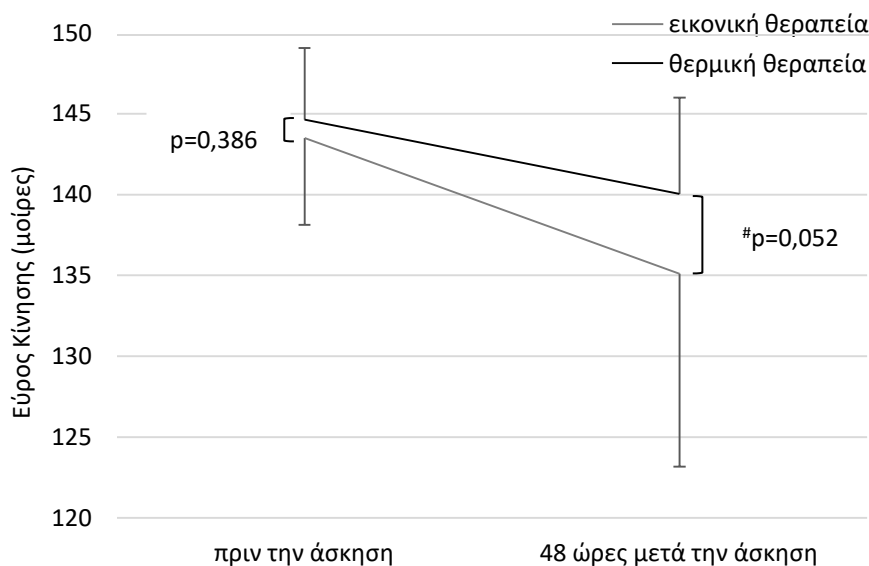
θεραπεία με καψαϊκίνη (HT) αποδείχθηκε αποτελεσματικότερη από την εικονική θεραπεία (PL).

4.2. Εύρος κίνησης (ROM)

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η στατιστικά σημαντική μείωση του εύρους κίνησης (ROM) στην άρθρωση του γόνατος του ποδιού άσκησης από τη χρονική στιγμή t_1 (αρχική αξιολόγηση) στη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά), λόγω της EIMD, και στις δύο συνθήκες ($p < 0,001$ & μεγάλο ES: 0,414). Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα υποδεικνύουν, και αυτά λοιπόν, ότι το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης, που επιλέχθηκε για την πρόκληση της MD στον τετρακέφαλο μηριαίο των δοκιμαζομένων, υπήρξε αποτελεσματικό στην επίτευξη αυτής.



Σχήμα 4.1. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο στο ημικάθισμα πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p<0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) και # $p<0,026$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.

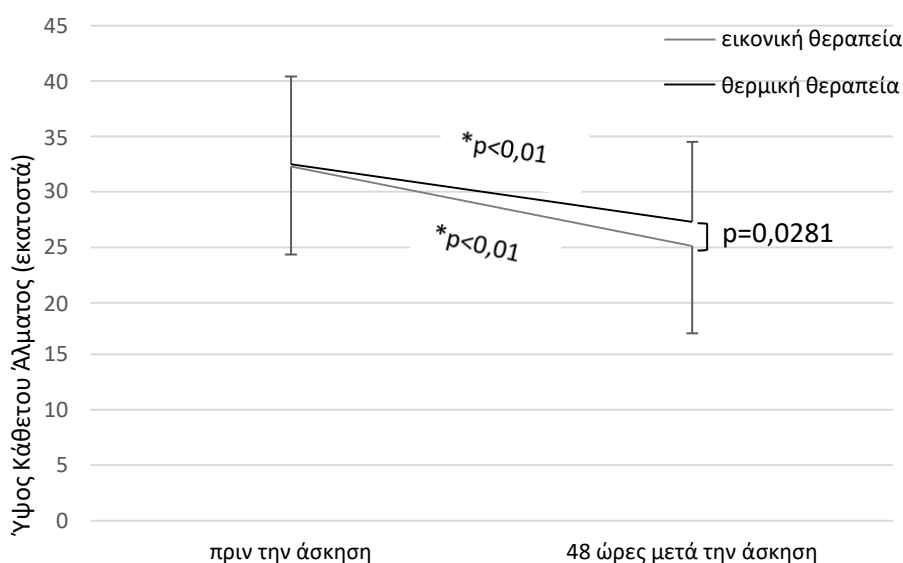


Σχήμα 4.2. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για το εύρος κίνησης (ROM) πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p < 0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) και $p < 0,052$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.

Ακόμη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2., το εύρος κίνησης στην άρθρωση του γόνατος του Π.Α 48 ώρες μετά την EIMD στην θερμική συνθήκη με καψαϊκίνη ήταν κατά $4,9 \pm 2,9$ μοίρες μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στην εικονική συνθήκη. Επομένως, φαίνεται ότι υπήρξε μικρότερη, αλλά μη στατιστικά σημαντική, ωστόσο, μείωση του ROM στη συνθήκη θερμοθεραπείας σε σχέση με την εικονική συνθήκη ($p = 0,078 > 0,05$ & μέσο ES: 0,054). Επιπρόσθετα με ετούτο, το αποτέλεσμα από τη σύγκριση των 2 συνθηκών 48 ώρες μετά την άσκηση (t_2), δεν υπήρξε στατιστικά σημαντικό, έτεινε, όμως, να είναι τέτοιο ($p = 0,052 > 0,05$). Επομένως, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης δείχνουν ότι η παρέμβαση με καψαϊκίνη έχει την έντονη τάση να εμποδίζει την πτώση του ROM, έπειτα από EIMD (σε σύγκριση με την εικονική θεραπεία).

4.3. Κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, η σύγκριση μεταξύ των δύο συνθηκών πριν από την εκτέλεση της EIMD (t_1) ήταν μη στατιστικά σημαντική ($p = 0,917 > 0,05$), που σημαίνει ότι η απόδοση στο SJ από ημικάθισμα ήταν στα ίδια αρχικά επίπεδα στις δύο συνθήκες. Στη συνέχεια, και συγκεκριμένα 48 ώρες μετά την αρχική αξιολόγηση της απόδοσης (t_1), υπήρξε στατιστικά σημαντική πτώση αυτής στο SJ από ημικάθισμα, τόσο στην εικονική (PL) όσο και στη συνθήκη (HT) θερμοθεραπείας ($p < 0,01$ & πολύ μεγάλο ES: 0,839). Επομένως, οι στατιστικές αυτές σημαντικότητες αποτελούν, μία, ακόμη, απόδειξη της προκληθείσας ασκησιογενούς βλάβης.



Σχήμα 4.3. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για το ύψος κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ) πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p<0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) και $p<0,28$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.

Ακόμη, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.3., υπήρξε μικρότερη, αλλά μη στατιστικά σημαντική ($p = 0,555$ & χαμηλό ES: 0,006), πτώση της απόδοσης στο SJ από ημικάθισμα, στη συνθήκη θερμοθεραπείας συγκριτικά με την εικονική συνθήκη. Πιο, συγκεκριμένα το ύψος κάθετου άλματος από ημικάθισμα ήταν κατά $2,1 \pm 0,3$ μονάδες υψηλότερο, 48 ώρες μετά την EIMD, στην θερμική συνθήκη (με την τοποθέτηση έμπλαστρων καψαϊκίνης) σε σύγκριση με το αντίστοιχο στην εικονική συνθήκη. Η σύγκριση των δύο συνθηκών, ωστόσο, 48 ώρες μετά την άσκηση (t_2) δεν έδειξε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα ($p = 0,281 > 0,05$). Συνεπώς, από τα παραπάνω προκύπτει ότι η θερμοθεραπεία (με καψαϊκίνη) φάνηκε να είχε ασήμαντη επίδραση στην επακόλουθη απόδοση του SJ από ημικάθισμα.

4.4. Περιφέρεια μηρού (CIR_1 και CIR_2)

4.4.1 Περιφέρεια - στο μέσο τμήμα- του μηρού (CIR_1)

Η αξιολόγηση της περιφέρειας του μηρού, στο μέσο τμήμα αυτού, πραγματοποιήθηκε - επίσης- πριν & 48 ώρες μετά την EIMD. Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών χρονικών σημείων ξεχωριστά για κάθε γκρουπ/συνθήκη, δεν ήταν στατιστικά σημαντικά ($p = 0,056 > 0,05$ με μέσο ES: 0,063 & $p = 0,150 > 0,05$ με μέσο ES: 0,037, αντίστοιχα). Συνεπώς, τα στοιχεία αυτά δείχνουν ότι το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης επηρέασε ελάχιστα έως καθόλου την CIR στο μέσο τμήμα του μηρού (CIR_1) ως δείκτη MD.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, όπως δείχνουν τα στοιχεία στον Πίνακα 4.1., τα αποτελέσματα της

σύγκρισης μεταξύ των 2 συνθηκών τόσο για τη χρονική στιγμή t_1 (πριν την εκτέλεση της EIMD) όσο και για τη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά) δεν ήταν στατιστικά σημαντικά ($p = 0,920 > 0,05$ & $p=0,907 > 0,05$ αντίστοιχα).

Συνεπώς, η θερμοθεραπεία (με καψαϊκίνη) δεν παρουσίασε καμία διαφορά σε σύγκριση με την εικονική θεραπεία, αναφορικά με την CIR στο μέσο τμήμα του μηρού.

4.4.2 Περιφέρεια του μηρού - 10 εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας - (CIR_2)

Επιπλέον, στατιστικά σημαντικά δεν ήταν ούτε και τα αποτελέσματα από τη σύγκριση μεταξύ των δύο χρονικών σημείων αξιολόγησης (πριν & 48 ώρες μετά την EIMD) του 2^{ου} σημείου της περιφέρειας του μηρού, και συγκεκριμένα 10 εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας, που πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για

κάθε γκρουπ/συνθήκη ($p = 0,056 > 0,05$ & $p = 0,150 > 0,05$). Συνεπώς, τα στοιχεία, και για το 2^ο σημείο της περιφέρειας του μηρού (CIR_2), δείχνουν ότι η EIMD δεν επηρέασε την μεταβλητή αυτή ως δείκτη MD.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, όπως δείχνουν τα στοιχεία στον Πίνακα 3, τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ των 2 συνθηκών τόσο για τη χρονική στιγμή t_1 (πριν την εκτέλεση της EIMD) όσο και για τη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά) δεν ήταν στατιστικά σημαντικά ($p = 0,754 > 0,05$ & μέσο ES: 0,063, & $p = 0,741 > 0,05$ & μέσο ES: 0,037, αντίστοιχα). Από τα ανωτέρω στοιχεία προκύπτει, επομένως, ότι η θερμική θεραπεία (με καψαϊκίνη) δεν έδειξε καμία διαφορά σε σύγκριση με την εικονική θεραπεία, αναφορικά με την CIR_2 (περιφέρεια μηρού 10 εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας).

Πίνακας 4.1. Μέσες τιμές ($\pm SD$) των 29 συμμετεχόντων για τη περιφέρεια του μηρού στο μέσο τμήμα του (CIR_1) και για τη περιφέρεια του μηρού 10 εκατοστά πάνω από την αρχή της επιγονατίδας (CIR_2), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη, τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

	περιφέρεια μηρού (CIR_1)		περιφέρεια μηρού (CIR_2)	
	πριν τη άσκηση	48 ώρες μετά	πριν τη άσκηση	48 ώρες μετά
εικονική θεραπεία	57,5 $\pm$ 3,8	57,6 $\pm$ 3,8	47,0 $\pm$ 3,7	47,1 $\pm$ 3,7
θερμική θεραπεία	57,4 $\pm$ 3,9	57,5 $\pm$ 3,9	46,7 $\pm$ 3,7	46,7 $\pm$ 3,7

4.5 Μεταβλητές εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) σε ηρεμία

(α) Δείκτες της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης στην ηρεμία (TSI %_baseline & TSI fit factor_baseline). Όπως φαίνεται και από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα, οι αρχικές τιμές τόσο για την TSI% (TSI%_baseline), όσο και για την TSI fit factor (TSI Ff_baseline) στην ηρεμία και πριν την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές έπειτα από την 48ωρη εικονική (PL) και την θερμική θεραπεία (HT), αντίστοιχα, που ακολούθησε την EIMD. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τους στατιστικούς ελέγχους, στους οποίους δε φάνηκε στατιστικά σημαντική η επίδραση του χρόνου για τους δύο αυτούς δείκτες της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης [(i) $p = 0,547 > 0,05$ & απειροελάχιστο ES: 0,007, & (ii) $p = 0,709 > 0,05$ & απειροελάχιστο ES: 0,003, αντίστοιχα].

Ακόμη, τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των δύο συνθηκών για τη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά την EIMD) για τις δύο αυτές μεταβλητές ξεχωριστά (TSI%_baseline & TSI Ff_baseline)

ήταν μη σημαντικά [(i) $p = 0,931 > 0,05$ & (ii) $p = 0,688 > 0,05$, αντίστοιχα]. Τα παραπάνω στοιχεία, υποδεικνύουν, λοιπόν, ότι η επίδραση του χρόνου δεν επηρεάστηκε από την ομάδα/συνθήκη, δηλαδή οι δύο δείκτες της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (TSI(%)_baseline & TSI Fit Factor_baseline) εξελίχθηκαν παρόμοια στις δύο συνθήκες.

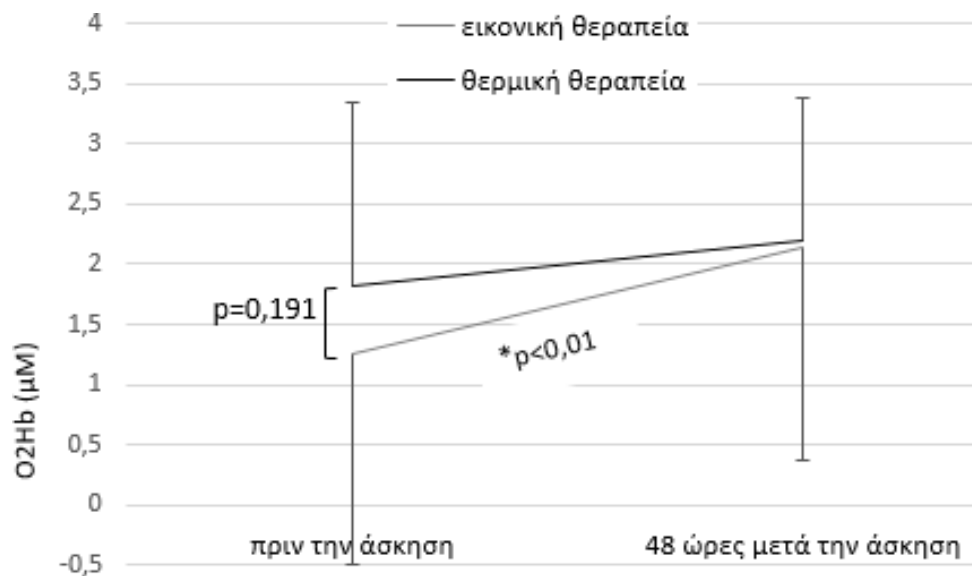
(β) Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη στην ηρεμία (HHb_baseline). Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα για την HHb στην ηρεμία (HHb_baseline), όπου οι αρχικές τιμές αυτής στην ηρεμία και πριν από την άσκηση (t_1) δεν άλλαξαν σημαντικά έπειτα από τη 48ωρη εικονική και θερμική θεραπεία, αντίστοιχα, που ακολούθησε την EIMD (t_2). Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τον στατιστικό έλεγχο, όπου η επίδραση του χρόνου, και στις δύο συνθήκες, ήταν μη στατιστικά σημαντική ($p = 0,789 > 0,05$ & απειροελάχιστο ES: 0,001). Επιπλέον με ετούτο, οι τιμές της HHb_baseline που υπήρξαν μετά τη 48ωρη εικονική και θερμική θεραπεία, αντίστοιχα, που ακολούθησε την EIMD (t_2), δεν έδειξαν κάποια σημαντική διαφορά μεταξύ των 2 συνθηκών ($p = 0,357 > 0,05$).

Πίνακας 4.2. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για τις τιμές αναφοράς της TSI %_baseline, την TSI Fit Factor_baseline, την O₂Hb_baseline, την HHb_baseline, την tHb_baseline, και την HbDiff_baseline πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

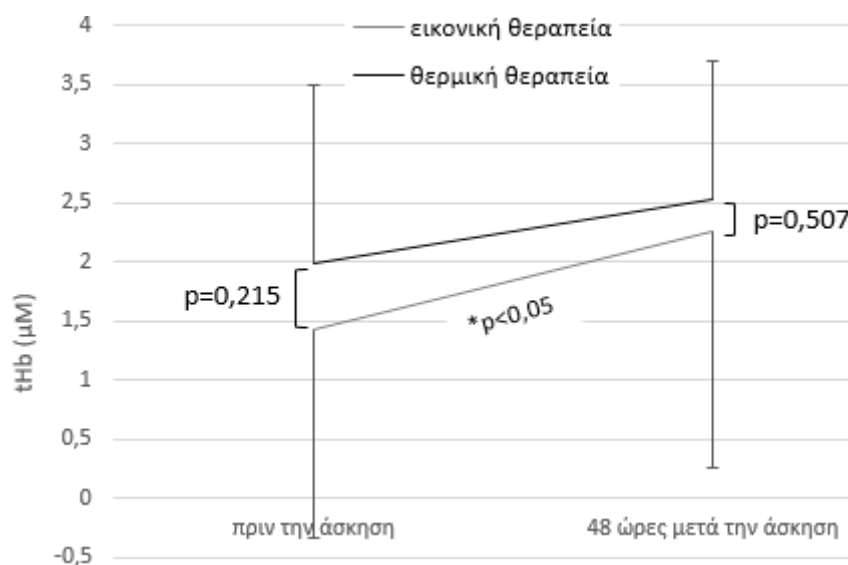
	εικονική θεραπεία		θερμική θεραπεία	
	πριν την άσκηση	48ώρες μετά	πριν την άσκηση	48ώρες μετά
TSI%_baseline	62,0 $\pm$ 4,9	62,1 $\pm$ 4,1	62,3 $\pm$ 4,8	62,4 $\pm$ 5,3
TSI Ff_baseline	99,8 $\pm$ 0,1	99,8 $\pm$ 0,1	99,9 $\pm$ 0,0	99,8 $\pm$ 0,1
O ₂ Hb_baseline	1,2 $\pm$ 1,7	2,1 $\pm$ 1,7 *	1,8 $\pm$ 1,5	2,18 $\pm$ 1,1
HHb_baseline	0,1 $\pm$ 0,9	0,1 $\pm$ 1,1	0,1 $\pm$ 1,1	0,3 $\pm$ 0,8
tHb_baseline	1,4 $\pm$ 1,76	2,2 $\pm$ 1,9 *	1,9 $\pm$ 1,5	2,5 $\pm$ 1,1
HbDiff_baseline	1,0 $\pm$ 2,2	2,0 $\pm$ 2,2 *	1,6 $\pm$ 2,2	1,8 $\pm$ 1,7

(γ) **Οξυγονωμένη (O₂Hb_baseline), ολική αιμοσφαιρίνη (tHb_baseline) και διαφορά αποξυγονωμένης από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HbDiff_baseline) στην ηρεμία.** Οι τιμές τόσο της οξυγονωμένης (O₂Hb_baseline), όσο και της ολικής αιμοσφαιρίνης (tHb_baseline), αλλά και της διαφοράς αποξυγονωμένης από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HbDiff_baseline) στην ηρεμία κατά την αρχική αξιολόγηση και πριν από την εκτέλεση της EIMD (t₁), αυξήθηκαν σημαντικά μετά την επακόλουθη 48ωρη εικονική και θερμική θεραπεία (t₂), αντίστοιχα [(α) $p = 0,007 < 0,01$ & μεγάλο ES: 0,127, (β), $p = 0,008 < 0,01$ & μεγάλο ES: 0,123, (γ) $p = 0,045 < 0,05$ & ικανοποιητικό ES: 0,072]. Πιο συγκεκριμένα, ωστόσο, τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των

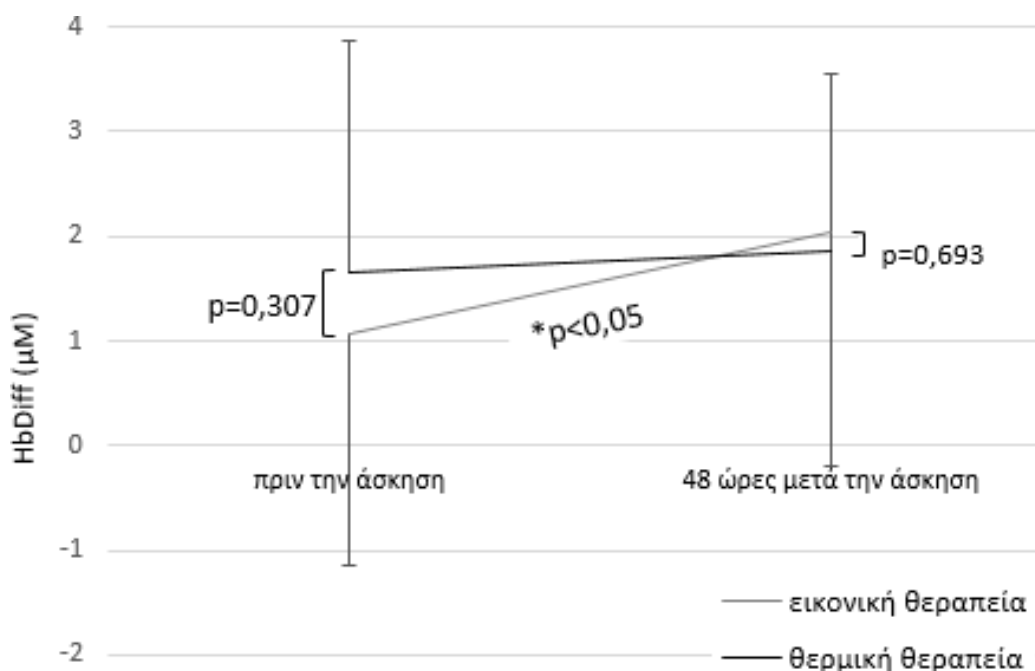
αρχικών τιμών και των 3 αυτών μεταβλητών στην ηρεμία (O₂Hb_baseline, tHb_baseline, HbDiff_baseline) με τις αντίστοιχες που βρέθηκαν 48 ώρες μετά την EIMD ήταν στατιστικά σημαντικά μόνο στην εικονική συνθήκη [(α) $p = 0,007 < 0,01$ & μεγάλο ES: 0,129, (β) $p = 0,024 < 0,05$ & ES: 0,090, (γ) $p = 0,017 < 0,05$ & μεγάλο ES: 0,101]. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της O₂Hb_baseline, της tHb_baseline, και της HbDiff_baseline ήταν περισσότερο αυξημένες 48 ώρες μετά την MD στην συνθήκη χωρίς θεραπεία (PL), παρά στην συνθήκη όπου την EIMD ακολούθησε θερμική θεραπεία με καψαϊκίνη (HT). Αυτό δείχνει, επομένως, ότι η αιματική ροή γενικά ήταν περισσότερο αυξημένη 48 ώρες μετά την εικονική παρά μετά από την θερμική θεραπεία.



Σχήμα 4.4. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την O₂Hb_baseline, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p < 0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) στην εικονική (PL) συνθήκη.



Σχήμα 4.5. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την tHb_{baseline}, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p<0,05$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) στην εικονική (PL) συνθήκη και $p<0,507$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.



Σχήμα 4.6. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την HbDiff_{baseline}, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p<0,05$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) στην εικονική (PL) συνθήκη και $p<0,693$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.

Ακόμη, τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μεταξύ των 2 συνθηκών για την χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά την EIMD) και για τις 3 αυτές μεταβλητές ήταν μη στατιστικά σημαντικά [(i) $p = 0,919 > 0,05$, (ii) $p=0,507 > 0,05$, (iii) $p=0,693 > 0,05$]. Σε γενικές γραμμές, συνεπώς, δεν υπήρξε σημαντική διαφορά στην αιματική ροή (BF) έπειτα τόσο από την 48ωρη εικονική όσο και από την αντίστοιχη θερμική συνθήκη με καυαϊκίνη.

4.6. Μεταβλητές εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIRS) στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση και την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση .

(α) Δείκτες της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (TSI %_A & TSI fit factor_A) στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση και την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση.

Οι αρχικές τιμές της TSI(%)_A (αμέσως μετά την προθέρμανση και πριν από την άσκηση) των δύο συνθηκών την ημέρα εκτέλεσης του πρωτοκόλλου έκκεντρης άσκησης (t_1) βρέθηκαν σημαντικά μειωμένες 48 ώρες μετά την εικονική (PL) και θερμική θεραπεία (HT), αντίστοιχα, που ακολούθησαν την EIMD (t_2), με την επίδραση του χρόνου στην TSI(%)_A, και στις 2 συνθήκες, να είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,001$ & πολύ μεγάλο ES: 0,365). Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8, οι τιμές της TSI(%)_A (αμέσως μετά την προθέρμανση και πριν από την άσκηση) για κάθε γκρουπ συνθήκη ξεχωριστά, εξελίχθηκαν παρόμοια από τη χρονική στιγμή t_1 (πριν την εκτέλεση

της EIMD) στη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά). Επιπλέον, η σύγκριση των δύο συνθηκών για τη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά την εικονική & θερμική θεραπεία, αντίστοιχα) δεν έδειξε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα ($p=0,756 > 0,05$).

Αντίθετα με τα παραπάνω αποτελέσματα, υπήρξε αυτό για την TSI Fit Factor_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν την άσκηση), καθώς η επίδραση του χρόνου στην μεταβλητή αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε αμφότερες τις συνθήκες ($p = 0,139 > 0,05$ και μέσο ES: 0,040). Όμοια με την TSI(%)_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν την άσκηση), ωστόσο, ήταν το στατιστικό αποτέλεσμα από τη σύγκριση των 2 συνθηκών 48 ώρες μετά την άσκηση ($p=0,739 > 0,05$), καθώς δεν υπήρξε κανένα από αυτά σημαντικά.

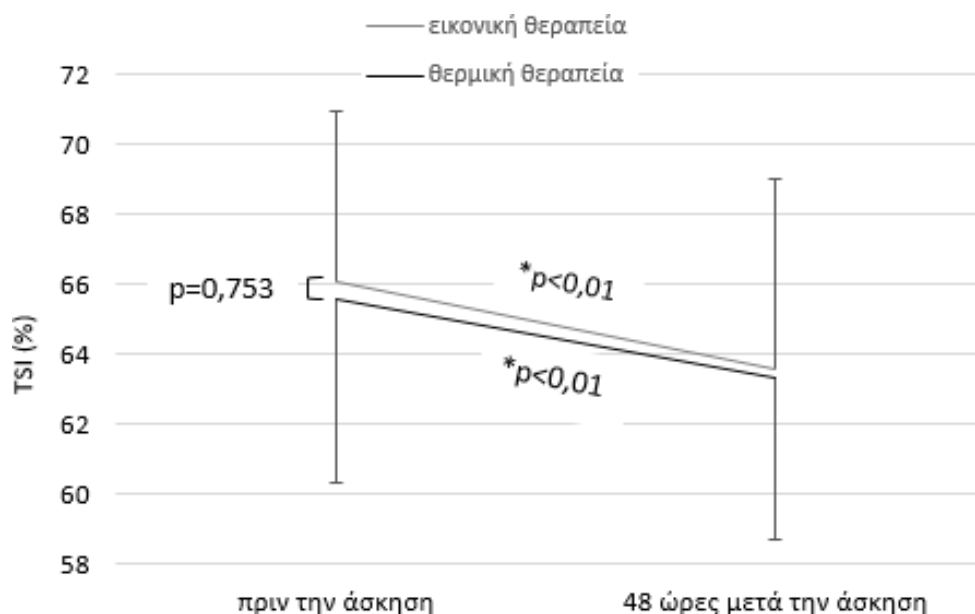
(β) Οξυγονωμένη (O₂Hb_A), ολική αιμοσφαιρίνη (tHb_A) και διαφορά αποξυγονωμένης από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HbDiff_A) στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση και την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση.

Οι αρχικές τιμές τόσο της O₂Hb_A όσο και της HbDiff_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση) των δύο συνθηκών την ημέρα εκτέλεσης του πρωτοκόλλου έκκεντρης άσκησης (t_1) βρέθηκαν σημαντικά μειωμένες 48 ώρες μετά την εικονική (PL) και θερμική θεραπεία (HT), αντίστοιχα, που ακολούθησαν την EIMD (t_2), αφού η επίδραση του χρόνου τόσο

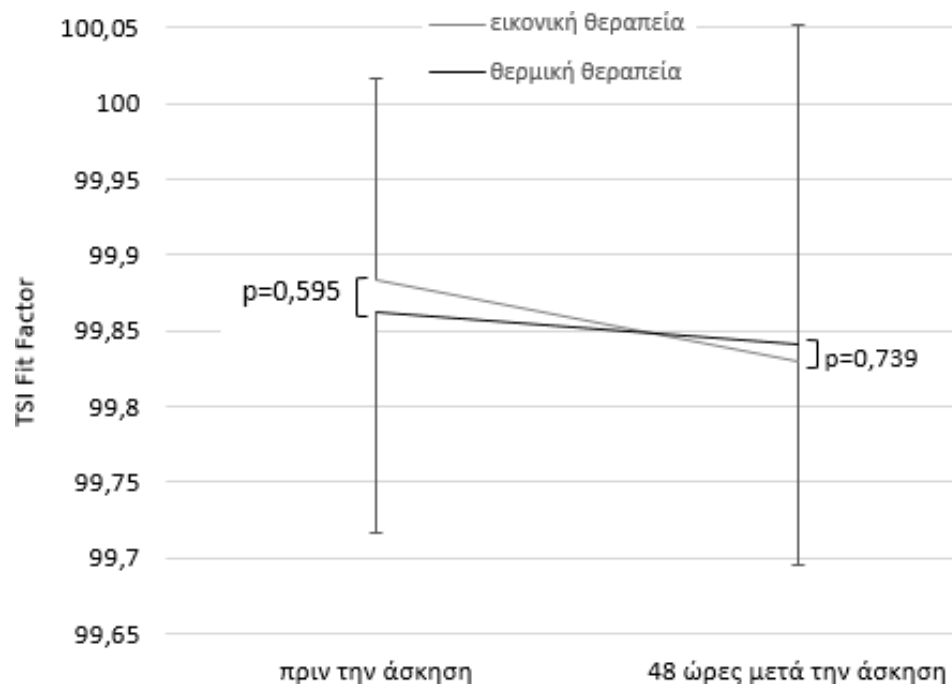
στην O₂Hb_A όσο και στην HbDiff_A, και στις 2 συνθήκες, ήταν στατιστικά σημαντική ($p < 0,001$ και μεγάλο ES:0,246 & $p < 0,001$ & πολύ μεγάλο ES: 0,276, αντίστοιχα).

Πίνακας 4.3. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την TSI %_A, την TSI Fit Factor_A, την O₂Hb_A, την HHb_A, την tHb_A, και την HbDiff_A - αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

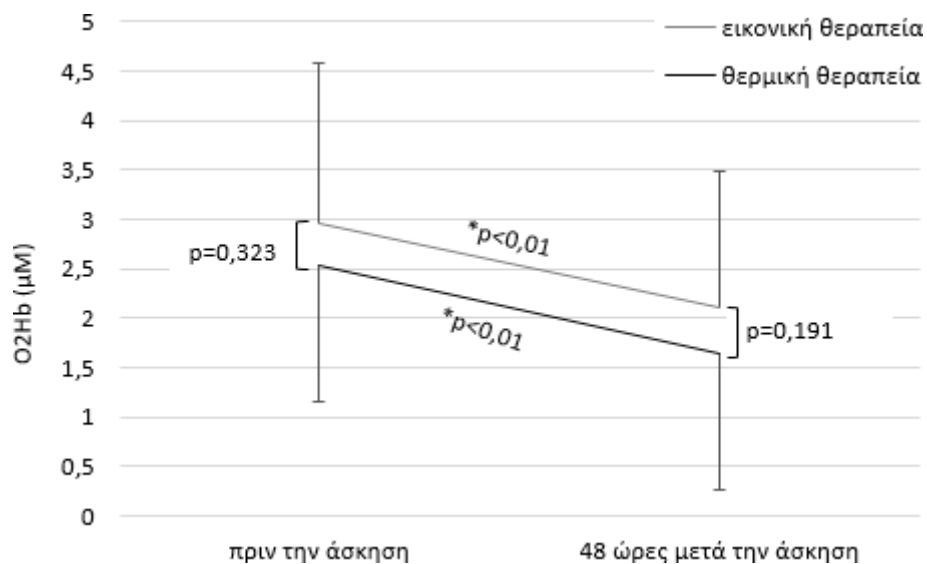
	εικονική θεραπεία		θερμική θεραπεία	
	πριν την άσκηση	48 ώρες μετά	πριν την άσκηση	48 ώρες μετά
TSI%_A	66,6 $\pm$ 4,8	63,5 $\pm$ 5,4 *	65,5 $\pm$ 5,2	63,3 $\pm$ 4,6 *
TSI Ff_A	99,8 $\pm$ 0,1	99,8 $\pm$ 0,2	99,8 $\pm$ 0,1	99,8 $\pm$ 0,1
O ₂ Hb_A	2,9 $\pm$ 1,6	2,1 $\pm$ 1,3 *	2,5 $\pm$ 1,3	1,6 $\pm$ 1,3 *
HHb_A	-0,9 $\pm$ 1,0	0,0 $\pm$ 1,0 *	-0,5 $\pm$ 1,2	-0,1 $\pm$ 0,9
tHb_A	2,0 $\pm$ 1,6	2,1 $\pm$ 1,5	1,9 $\pm$ 1,4	1,5 $\pm$ 1,4
HbDiff_A	3,8 $\pm$ 2,1	2,1 $\pm$ 1,8 *	3,1 $\pm$ 2,1	1,7 $\pm$ 1,9 *



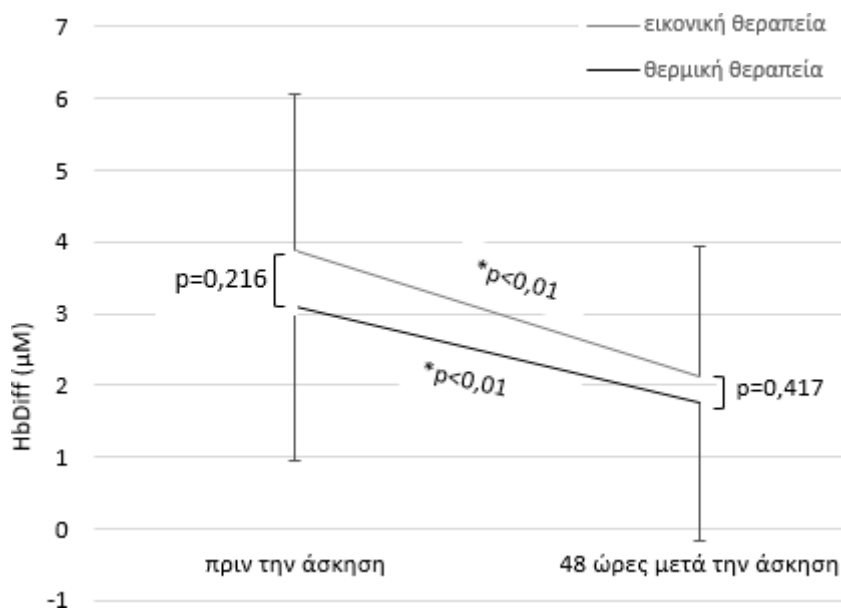
Σχήμα 4.7. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για : (i) την TSI (%)_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν την άσκηση), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p < 0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά).



Σχήμα 4.8. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την TSI Fit Factor_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν την άσκηση), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. $p < 0,739$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.



Σχήμα 4.9. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την O₂Hb_A, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p < 0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) και $p=0,191$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.



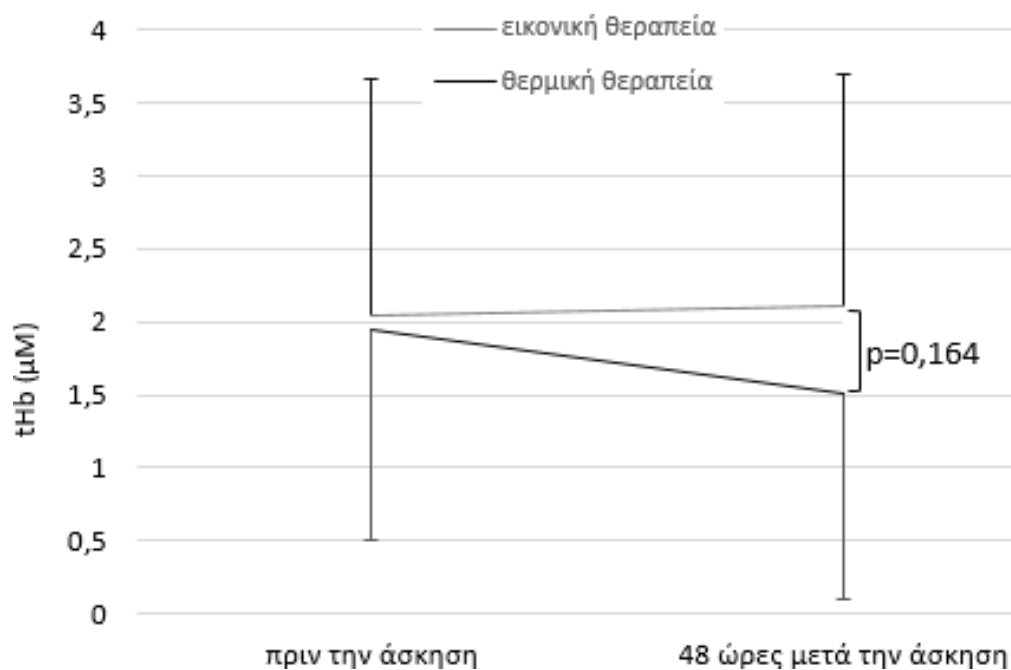
Σχήμα 4.10. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την HbDiff_A, πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. * $p < 0,01$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο χρονικών στιγμών (πριν και μετά) και $p=0,417$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.

Ωστόσο, όπως φαίνεται και στα παραπάνω Σχήμα 4.9. & 4.10., αντίστοιχα, οι αρχικές τιμές (την ημέρα άσκησης) τόσο της O₂Hb_A όσο και της HbDiff_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση) για κάθε γκρουπ/συνθήκη ξεχωριστά, εξελίχθηκαν παρόμοια ως προς το χρόνο και στις 2 συνθήκες, που σημαίνει ότι η επίδραση του χρόνου δεν επηρεάστηκε από την ομάδα θεραπείας. Επιπλέον με ετούτο, η σύγκριση των δύο συνθηκών 48 ώρες μετά την EIMD (t_2), και για τις δύο αυτές μεταβλητές (O₂Hb_A & HbDiff_A), δεν έδειξε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα ($p = 0,191 > 0,05$ & $p = 0,417 > 0,05$, αντίστοιχα).

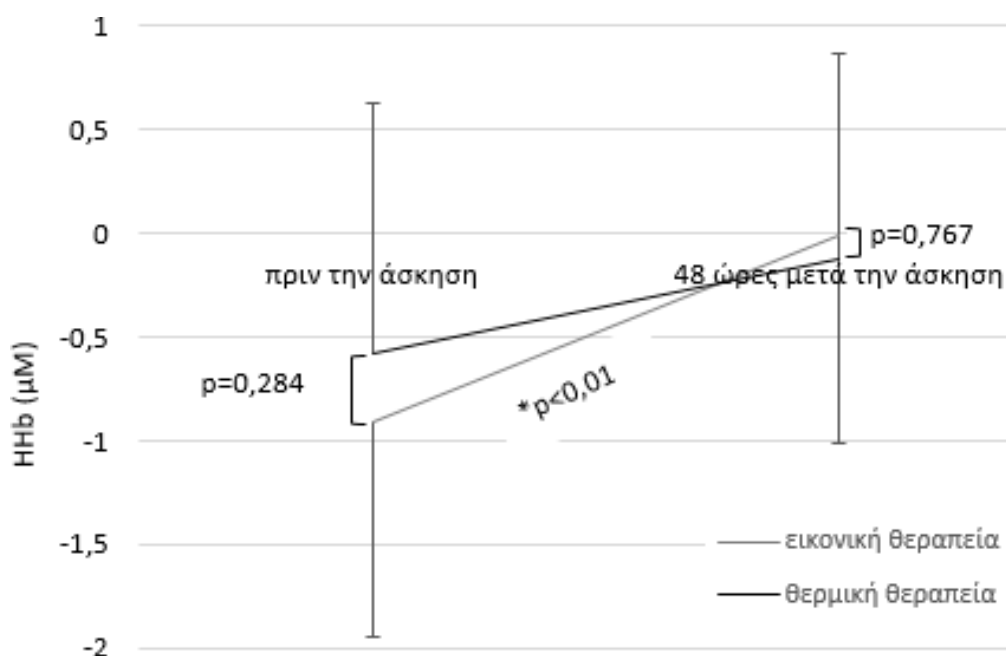
Επομένως, αν και η O₂Hb_A, κι ακολούθως, και η HbDiff_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την

αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση) μειώθηκαν σημαντικά 48 ώρες μετά (t_2) την αρχική αξιολόγηση (t_1) των μεταβλητών αυτών, η παρέμβαση με καψαϊκίνη (HT), ωστόσο, δεν παρουσίασε κάποια διαφορά σε σχέση με την εικονική θεραπεία (PL).

Πάραυτα, οι αρχικές τιμές (t_1) της tHb_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση) δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά 48 ώρες μετά (t_2), καθώς η επίδραση του χρόνου δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε αμφότερες τις συνθήκες ($p = 0,388 > 0,05$ & μικρό ES: 0,014). Επίσης, μη σημαντικά για την ολική αιμοσφαιρίνη (tHb_A) ήταν και τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου από τη σύγκριση των δύο συνθηκών 48 ώρες μετά την EIMD ($p = 0,164 > 0,05$).



Σχήμα 4.11. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την tHb_A , πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης. $p = 0,164$ αναφέρεται στη σύγκριση των δύο συνθηκών (εικονική εν. θερμικής θεραπείας) για την κατάσταση μετά την άσκηση.



Σχήμα 4.12. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την HHb_A , πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης.

(γ) **Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη στην ηρεμία αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης και πριν από την άσκηση (HHb_A).** Οι αρχικές τιμές της HHb_A (αμέσως μετά την προθέρμανση & την αξιολόγηση των δεικτών της EIMD και πριν από την άσκηση) από την χρονική στιγμή t_1 (την ημέρα άσκησης) παρουσίασαν μια σημαντική ανοδική αύξηση τη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά την EIMD), και στις 2 συνθήκες, με στατιστικά σημαντική την επίδραση του χρόνου ως προς την HHb_A ($p=0,003 < 0,01$ μεγάλο ES: 0,155). Πιο συγκεκριμένα, ωστόσο, τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο χρονικών σημείων (πριν & 48 ώρες μετά την EIMD) για την εικονική συνθήκη (PL) ήταν στατιστικά σημαντικά ($p = 0,005 < 0,01$ & μεγάλο ES: 0,136), ενώ τα αντίστοιχα για τη συνθήκη θερμοθεραπείας (HT) έδειξαν μη-σημαντικά στατιστικά ($p=0,129 > 0,05$ & ES: 0,042).

Ακόμη, η ανάλυση έδειξε και μη στατιστικά σημαντικό το αποτέλεσμα από τη σύγκριση των δύο συνθηκών για τη χρονική στιγμή t_2 (48 ώρες μετά την άσκηση) ($p = 0,284 > 0,05$ & $p = 0,767 > 0,05$, αντίστοιχα). Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της HHb_A εξελίχθηκαν παρόμοια και στις 2 συνθήκες ως προς το χρόνο. Επομένως, δεν υπήρξε καμία διαφορά ως προς την εξέλιξη των τιμών της HHb_A μεταξύ των 2 συνθηκών (της

εικονικής και της θερμικής θεραπείας, αντίστοιχα).

4.7. Μεταβλητές εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIRS) στην ηρεμία 20 λεπτά μετά την παρέμβαση

Από τις μεταβλητές (O₂Hb_D, HHb_D, tHb_D, HbDiff_D) που μετρήθηκαν με το NIRS, 20 λεπτά μετά την τοποθέτηση του έμπλαστρου στο πόδι που είχε εκτελέσει προηγουμένως την EIMD, η μόνη που έδειξε κάποια σημαντική διαφορά υπήρξε η HHb_D, καθώς το επίπεδο σημαντικότητας ήταν 1-sided $p = 0,045 < 0,05$ & 2-sided $p = 0,090 > 0,05$. Ακόμη, η μέση τιμή της διαφοράς των δύο συνθηκών σε ετούτη τη μεταβλητή (HHb_D στην εικονική & στην θερμική συνθήκη, αντίστοιχα) ήταν mean; 0,41642, με τυπική απόκλιση SD; 1,27609.

Πίνακας 4.4. Μέσες τιμές ($\pm$ SD) 29 συμμετεχόντων για την O₂Hb_D, την HHb_D, την tHb_D, και την HbDiff_D (20 λεπτά μετά την τοποθέτηση του έμπλαστρου, που ακολούθησε την EIMD), πριν και 48 ώρες μετά από ασκησιογενή μυϊκή βλάβη τόσο στην εικονική όσο και στην θερμική θεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων καψαϊκίνης

	εικονική θεραπεία	θερμική θεραπεία
TSI (%)_D	66,1 $\pm$ 5,3	66,7 $\pm$ 5,1
TSI Fit Factor_D	99,8 $\pm$ 0,2	99,8 $\pm$ 0,1
O ₂ Hb_D	0,9 $\pm$ 1,6	1,0 $\pm$ 1,0
HHb_D	0,5 $\pm$ 1,0	0,1 $\pm$ 1,1*
tHb_D	1,4 $\pm$ 1,2	1,1 $\pm$ 1,1
HbDiff_D	0,3 $\pm$ 2,4	0,9 $\pm$ 1,9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Συζήτηση

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να προσδιοριστεί εάν η θερμοθεραπεία, μέσω εφαρμογής καψαϊκίνης στο δέρμα, θα μπορούσε να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για την επιτάχυνση της αποκατάστασης των σκελετικών μυών μετά από έκκεντρη άσκηση και για τη βελτίωση της απόδοσης σε επακόλουθες μυϊκές προσπάθειες. Επιπρόσθετος κύριος σκοπός ήταν η εξέταση της επίδρασης της καψαϊκίνης στους δείκτες ασκησιογενούς βλάβης των ασκούμενων μυών. Τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαίωσαν την θετική επίδραση της θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στην ενίσχυση της αποκατάστασης έπειτα από EIMD περισσότερο όσο αναφορά την αίσθηση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου, καθώς και του εύρους κίνησης του Π.Α. σε σύγκριση με την εικονική θεραπεία. Δεν βελτίωσε, ωστόσο, την απόδοση σε επόμενη περίοδο άσκησης – και πιο συγκεκριμένα την πτωτική τάση στο ύψος μέγιστου κάθετου άλματος από ημικάθισμα- που πραγματοποιήθηκε 48 ώρες μετά την EIMD. Το γεγονός ετούτο, επιβεβαιώθηκε και από την μη ύπαρξη σημαντικής διαφοράς στην οξυγόνωση των κατεστραμμένων μυϊκών ινών (mVO_2), η οποία συνεπάγεται - επομένως- και την ελλιπή επίδραση στην τοπική αιμοδυναμική (BF_m) του ασκούμενου μυός (τετρακέφαλου μηριαίου) σε αμφότερες τις συνθήκες (εικονική και θερμική συνθήκη, αντίστοιχα).

5.1. Φυσιολογικές επιπτώσεις έκκεντρης άσκησης στην μυϊκή λειτουργικότητα

Πολλοί αθλητές εκτελούν - κατά τη διάρκεια των προπονητικών τους προγραμμάτων - μια ποικιλία έκκεντρων ασκήσεων, προκειμένου να αυξήσουν τη μυϊκή τους δύναμη, αλτικότητα και γενικά την απόδοσή τους (Balnave & Thompson, 1993; Elmer et al., 2017; Komsis et al., 2014; Paschalis et al., 2005; Tøien, PedersenHaglo, Unhjem, Hoff & Wang, 2018). Η εκτέλεση, ωστόσο, έντονης έκκεντρης άσκησης έχει τεκμηριωθεί ότι προκαλεί μυϊκή βλάβη (EIMD), η οποία συνήθως εκδηλώνεται με μια σειρά συμπτωμάτων. Αυτά είναι η πτώση της ικανότητας παραγωγής μέγιστης εκούσιας συστολής, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος, η μείωση του εύρους κίνησης, το οίδημα, και κατά συνέπεια η παρατεταμένη μείωση της λειτουργικότητας των ασκούμενων μυών (Cook et al., 2015; Fochi et al., 2016; Goodall et al., 2017; Hedeyatpour & Falla, 2015; Hirose, Nosaka, Newton, Laveder, Kano, Peake & Suzuki, 2004; Kim et al., 2019, 2020; Lau, Blazeovich, Newton, Wu & Nosaka, 2015; MacIntyre et al., 1995; Owens, Twist, Cobley, Howatson & Close, 2019; Paschalis et al., 2005). Από αυτά άλλα μπορούν να παρατηρηθούν αμέσως μετά την άσκηση, κι άλλα αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου (Cook et al., 2015; Szymanski, Ade, Campbell & Black, 2017). Επομένως, τα παραπάνω συμπτώματα καθιστούν δύσκολη την προσήλωση του ασκούμενου στην προπόνηση, και κατά συνέπεια μειώνουν την αθλητική απόδοση (Byrne, Eston & Edwards, 2001; Georg et al. 2017; Kim et al. 2019; Martin, Millet, Lattier & Perrod, 2005; Twist & Eston, 2005).

Αυτό συμβαίνει διότι η έκκεντρη άσκηση, λόγω μορφολογικών και αρχιτεκτονικών διαφοροποιήσεων των μυϊκών ινών, έχει μη ομοιόμορφη επίδραση στον ασκούμενο μυ (Allen, 2001; Brown et al., 1999; Cook et al., 2015; Fochi et al., 2016; Hedayatpour & Falla, 2012; Hyldah et al., 2014 ; Kim et al., 2019; Paschalis et al., 2005). Διευκρινιστικά, κατά την εκτέλεση έκκεντρης άσκησης η αναπτυγμένη δύναμη κατανέμεται σε σχετικά μικρή διατομή μυϊκών ινών, ειδικότερα των επιστρατευμένων ινών τύπου ΙΙx (Byrne et al., 2001; Farup, Rahbek, Bjerre, Paoli & Vissing, 2016; Linnamo et al., 2000; Skurvydas, Dudonienė, Kalvenas & Zuoza, 2002; Skurvydas, Brazaitis, Kamandulus & Sipaviciene, 2010). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι τελευταίες να δέχονται μεγαλύτερη ένταση (Crenshaw, Thornell & Friden, 1994; Crenshaw, Karlsson, Styf, Backlund & Friden, 1995; Friden, Sfakianos & Hargens, 1986; Friden, Sfakianos, Hargens & Akeson, 1988). Το γεγονός ετούτο οδηγεί σε διακοπή των σαρκομέριων και/ ή των κυτταροσκελετικών συστατικών των ινών (Armstrong et al. 1984; Byrne, Eston & Edwards, 2001; Friden et al. 1986; Hotfiel et al., 2018; MacIntyre et al., 1995). Την δομική διαταραχή των μυοϊνιδίων ακολουθεί μια πολύπλοκη σειρά από τοπικές και συστηματικές φυσιολογικές αποκρίσεις (Hotfiel et al. 2018). Αυτές είναι πρώτα μηχανικής κι έπειτα βιοχημικής φύσεως (Dias et al., 2021; MacIntyre et al., 1995). Ταυτόχρονα, διακόπτεται η σύζευξη διέγερσης-συστολής (Souron, Nosaka & Jubeau, 2018; Warren, Lowe & Armstrong, 1999) και τα ιόντα Ca^{2+} κινούνται ελεύθερα στο σαρκόπλάσμα. Τριάντα

λεπτά μετά την EIMD, ουδετερόφιλα κατευθύνονται προς τις τραυματισμένες περιοχές. Εκεί αντικαθίστανται από μακροφάγα (Armstrong et al. 1984). Τα τελευταία ενεργοποιούν πρωτεολυτικά ένζυμα, τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποδόμηση και αναδιαμόρφωση των κατεστραμμένων μυϊκών ινών (Allen, 2001; Peake et al., 2005), και σε συνδυασμό με την αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης (Armstrong et al. 1984; Hotfiel et al., 2018; MacIntyre et al., 1995), αυξάνεται η συσσώρευση υγρών, η διείσδυση λευκοκυττάρων, καθώς και η παραγωγή και ρύθμιση κυκλοφορούντων προ φλεγμονωδών κυτοκινών (IL-1, TNF, INF- α). Έτσι, αυξάνεται η ενδομυϊκή πίεση (IMP) στην περιοχή. Ακόμη, τα πρωτεολυτικά ένζυμα παράγουν ουσίες - βραδυκίνη, ισταμίνη, σεροτονίνη, ακετυλοχολίνη, πρостаγλανδίνη - που διεγείρουν τον πόνο (Cheung et al. 2003; Chleboun et al., 1998; Crenshaw et al., 1994; MacIntyre et al., 1995). Αυτό συνεπάγεται την ευαισθητοποίηση των προσαγωγών υποδοχέων του μυός, ειδικότερα των αισθητήριων νευρώνων της ομάδας ΙΙΙ και ΙV, κυρίως σε μηχανικά ερεθίσματα (Armstrong et al., 1984; Cheung et al., 2003; MacIntyre et al., 1995; O'Connor & Cook, 1999). Επομένως, το αποτέλεσμα των παραπάνω φλεγμονωδών διεργασιών είναι εμφάνιση DOMS (Friden, 1986).

Ωστόσο, το γεγονός ότι τα οφέλη από την εκτέλεση έκκεντρης άσκησης είναι πολλά, καθώς και το ότι ο χρόνος για επαρκή αποκατάσταση μεταξύ των προπονήσεων ή των αγωνισμάτων των αθλητών υψηλού επιπέδου είναι περιορισμένος, έχει οδηγήσει στην αναζήτηση της

βέλτιστης στρατηγικής για την μείωση της ασκησιογενούς βλάβης των ΣΜ, καθώς και για την ενίσχυση της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης. Επομένως, πολυάριθμες μελέτες στην αθλητική επιστήμη έχουν εξετάσει ποικίλες στρατηγικές αποκατάστασης από άσκηση που προκαλεί βλάβη, προκειμένου να επιταχύνουν τη διαδικασία αποκατάστασης των σκελετικών μυών, και να ενισχύσουν την απόδοση σε επακόλουθη περίοδο άσκησης. Εν τούτοις, μολονότι συναντώνται μια πληθώρα ερευνών για την ενίσχυση της αποκατάστασης από EIMD, τα παρόντα επιστημονικά δεδομένα καθιστούν τις υπάρχουσες τεχνικές αποκατάστασης από MD αναποτελεσματικές (Barnett, 2006; Corbett, Barwood, Lunt, Milner & Tipton, 2012; Dupuy et al., 2018; Hotfiele et al., 2019).

5.2. Διφορούμενη η αποτελεσματικότητα της κρυοθεραπείας στην αποκατάσταση από EIMD

Τις τελευταίες δεκαετίες η κρυοθεραπεία εφαρμόζεται όλο και περισσότερο ως τεχνική αποκατάστασης στον χώρο του αθλητισμού (Meeusen & Lievens, 1986). Ωστόσο, τα ευρήματα της πλειονότητας των μελετών καταδεικνύουν αμφισβητήσιμη την αποδοτικότητα αυτής της μορφής θεραπείας για την επιτάχυνση της αποκατάστασης ύστερα από EIMD (Broatch et al., 2018; Drinkwater, 2008; Fuchs et al., 2020; Ihsan et al., 2013; White et al., 2014). Συγκεκριμένα, ο Ihsan και οι συνεργάτες του (2013) σε μελέτη όπου διερεύνησαν τις επιδράσεις της εμβύθισης σε κρύο νερό στην αποκατάσταση, διαπίστωσαν ότι η έκθεση του δέρματος στο κρύο

μειώνει την αγγειακή διάχυση, και κατ' επέκταση τη μεταβολική δραστηριότητα των ασκούμενων μυών. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή κρύου – έπειτα από EIMD – στον ασκούμενο μυ επιβραδύνει τις φλεγμονώδεις διεργασίες, και κατά συνέπεια και τη διαδικασία αποκατάστασης. Επιπλέον με ετούτο, στην έρευνα του White και των συνεργατών του (2014), οι οποίοι εξέτασαν τις επιδράσεις διαφορετικών πρωτοκόλλων CWI στη φλεγμονώδη απόκριση και λειτουργικότητα των μυών, υπέδειξαν ότι έπειτα από πρωτόκολλα CWI μεγάλης διάρκειας επιδεινώνεται η συγκέντρωση κυτταροκινών στην κυκλοφορία. Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, ο Drinkwater σε άρθρο του (2008) υποστηρίζει ότι η τοπική εφαρμογή κρύου επιβραδύνει τις ενζυμικές διεργασίες και μειώνει την νευρική αγωγιμότητα, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης της μυϊκής δύναμης. Ακόμη, ο Fuchs και οι συνεργάτες του (2020), σε έρευνά τους για την CWI ως μεθόδου αποκατάστασης έπειτα από άσκηση με αντιστάσεις, διαπίστωσαν ότι η CWI μειώνει την πρωτεϊνοσύνθεση, υποδεικνύοντας ότι η μακροχρόνια χρήση αυτής για αποκατάσταση ενδέχεται να επηρεάζει την άλιπη σωματική μάζα. Επίσης, στην ανασκόπηση του Broatch και των συνεργατών του (2018) υπογραμμίζεται ότι η CWI μειώνει μακροπρόθεσμα τις προσαρμογές της άσκησης.

Ωστόσο, τα επιστημονικά δεδομένα για την αποτελεσματικότητα της τελευταίας στην μείωση της ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης είναι διφορούμενα. Από την άλλη πλευρά, πρόσφατα προκαταρκτικά δεδομένα από την

διερεύνηση της θερμοθεραπείας, οι φυσιολογικές αποκρίσεις της οποίας είναι κυριολεκτικά αντίθετες από την προηγούμενη, δημιουργούν την ανάγκη για περαιτέρω εξέταση της αποδοτικότητας της μεθόδου ετούτης στην αποκατάσταση από EIMD.

5.3. Εξέταση θερμοθεραπείας στην αποκατάσταση από EIMD

Συνεπώς, η έλλειψη επαρκούς αποτελεσματικότητας των ποικίλων παρεμβάσεων που έχουν εξεταστεί έως τώρα για τη μείωση των επιβλαβών συνεπειών από EIMD έχει οδηγήσει στην περαιτέρω εξέταση της θερμοθεραπείας στην αποκατάσταση από MD. Ως εκ τούτου, ευρήματα πρόσφατων ερευνών έχουν δείξει ότι η θερμοθεραπεία πιθανόν να είναι αποδοτικότερη μέθοδος αποκατάστασης σε σχέση με την κρυοθεραπεία.

Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει ειπωθεί παραπάνω, η Kim και οι συνεργάτες της (2019) έδειξαν θετική επίδραση της HT στην αποκατάσταση έπειτα από έκκεντρη προπόνηση αντίστασης. Ακόμη, ο Petrofsky και οι συνεργάτες (2015), οι οποίοι σύγκριναν τη HT, τοποθετώντας περιτύλιγμα ThermaCare για 8 ώρες, έναντι πάγου για 20 λεπτά, ή ομάδας ελέγχου, αμέσως ή 24 ώρες μετά την EIMD, διαπίστωσε ότι η HT είχε μικρά πλεονεκτήματα σε σχέση με κρυοθεραπεία, καθώς και οι δύο μείωσαν τον μυϊκό πόνο σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, με μικρή υπεροχή της CT, η διατήρηση, ωστόσο, της μυϊκής δύναμης σε επακόλουθη άσκηση ήταν ανώτερη μετά τη HT.

Αντίθετα, η μελέτη του Mayer και των συνεργατών του (2006), οι οποίοι αξιολόγησαν συνεχή χαμηλού

επίπεδου HT για πρόληψη και θεραπεία πρώιμης φάσης DOMS, με εφαρμογή θερμικού περιτυλίσματος 4 ώρες πριν και 4 ώρες μετά από έκκεντρη άσκηση, έναντι τοποθέτησης ψυχρής συσκευασίας (15-20 λεπτά κάθε 4 ώρες από 18-42 ώρες μετά την άσκηση, και ομάδας ελέγχου, έδειξαν ότι η θερμοθεραπεία παρείχε σημαντικά μεγαλύτερη ανακούφιση από τον πόνο. Δεν αναφέρθηκαν διαφορές, ωστόσο, στη φυσική λειτουργία και κινητικότητα.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω, ο Petrofsky και οι συνεργάτες του (2017), οι οποίοι σύγκριναν τις επιδράσεις της HT με εφαρμογή θερμικού περιτυλίσματος αμέσως ή 24 ώρες μετά από EIMD και χωρίς θεραπεία, υπέδειξαν ότι η εφαρμογή HT αμέσως μετά την EIMD, μείωσε σε σημαντικό βαθμό τον μυϊκό πόνο το επόμενο 24ωρο, μείωσε την πτώση της μυϊκής δύναμης, ενώ αύξησε το εύρος κίνησης, και διατήρησε την αιμοσφαιρίνη όμοια με τα προ-άσκησης επίπεδα, σε αντίθεση με την ομάδα ελέγχου.

Αντίθετα με τα παραπάνω, στη μελέτη του Viitasalo και των συνεργατών του (1995), όπου εξέτασαν τις επιπτώσεις της εμβύθισης σε ζεστό νερό (HWI: 36,7°-37,2°C για 20 λεπτά) με υποβρύχιο μασάζ συγκριτικά με καθόλου θεραπεία, διαπίστωσαν ότι η HWI εξασθένησε την πτώση της δύναμης κάθετου άλματος, αλλά δε μείωσε τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο, ούτε επηρέασε άλλους δείκτες MD (Mb, CK, γαλακτική αφυδρογονάση).

Στο σημείο ετούτο, είναι σημαντικό να αναφερθούν και τα ευρήματα της μελέτης του Hassan και των συνεργατών του (2011), οι οποίοι

σύγκριναν τις επιδράσεις της εμβύθισης σε ζεστό νερό (HWI: 38°C για 30 λεπτά) έναντι εμβύθισης σε κρύο νερό (CWI: 20°C για 30 λεπτά), καθώς και ομάδας ελέγχου, 15 λεπτά μετά από έκκεντρη άσκηση σε 60 προπονημένους νέους. Οι παραπάνω ερευνητές διαπίστωσαν ότι η HWI μείωσε τους δείκτες μυϊκού στρες με τη μείωση των επιπέδων CK και Mb, σε αντίθεση με την CWI, η οποία αύξησε τους στρεσογόνους δείκτες.

Ο Kuligowski και οι συνεργάτες του (1998) στη μελέτη όπου σύγκριναν τις επιδράσεις της θερμοθεραπείας με υδρομασάζ, η εφαρμογή της οποίας διεξήχθη αμέσως μετά από έκκεντρη άσκηση, με ομάδα ελέγχου, έδειξαν ότι η HT βοήθησε σε γρηγορότερη αύξηση του εύρους κίνησης των αγκώνων, αλλά δεν είχε σημαντικές επιπτώσεις στο DOMS ούτε στην ανάκτηση της μυϊκής δύναμης.

Εκτός από τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών που έχουν διεξαχθεί σε ανθρώπους, θετικά φαίνεται να είναι και τα ευρήματα των μελετών που έχουν εξετάσει την εφαρμογή θερμότητας έπειτα από πρόκληση MD ή ακινητιποίηση σε ζώα.

Ειδικότερα, όταν οι Takeuchi και οι συνεργάτες της (2014) προκάλεσαν MD σε αρουραίους πριν τους υποβάλλουν σε θερμοθεραπεία (HT: 42°C για 20 λεπτά), διαπίστωσαν ότι οι φλεγμονώδεις διεργασίες επιταχύνθηκαν, με την ταχύτερη διήθηση μακροφάγων και τον πολλαπλασιασμό δορυφορικών κυττάρων στην περιοχή τραυματισμού, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Επιπρόσθετα με τα παραπάνω ερευνητικά αποτελέσματα, υψηλότερος αριθμός δορυφορικών κυττάρων παρατηρήθηκε και στις μελέτες της Shibaguchi και συνεργατών του (2016) και Kojima και συνεργατών της (2007) και συνεργατών, μετά από εφαρμογή HT έπειτα από πρόκληση MD (είτε με ένεση καρδιοτοξίνης είτε αλατόνευρου) σε αρουραίους, αποδεικνύοντας ότι η HT επιταχύνει τις φλεγμονώδεις διαδικασίες, και κατά συνέπεια την αποκατάσταση από MD.

Ακόμη, η Tsuboshima και οι συνεργάτες της (2020) σε μελέτη όπου σύγκριναν τις επιδράσεις της εφαρμογής θερμότητας έναντι CT έπειτα από πρόκληση MD στους μυς αρουραίων, κατέδειξαν τα αναλγητικά αποτελέσματα της HT.

Παρόλα τα ανωτέρω επιστημονικά δεδομένα για τις θετικές επιδράσεις της HT στην αποκατάσταση από MD, τα συμπεράσματα της μελέτης του Jayaraman και συνεργατών του (2004), οι οποίοι αφού υπέβαλαν τους δοκιμαζόμενους σε έκκεντρη άσκηση με το ένα πόδι, τους χώρισαν σε τέσσερις ομάδες [(i) HT με εφαρμογή θερμικού περιτυλίγματος: 41°C για 2 ώρες, (ii) σύντομη προθέρμανση του σκέλους θεραπείας, (iii) μαξιλάρι θερμότητας και τέντωμα, (iv) έλεγχο], έδειξαν ότι η τοπική εφαρμογή θερμότητας από μόνη της δεν ενίσχυσε την αποκατάσταση των κατεστραμμένων μυϊκών ινών μετά από έκκεντρη άσκηση, καθώς δε μείωσε τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο, ούτε την πτώση της μυϊκής δύναμης, ούτε το οίδημα.

Στο σημείο αυτού, είναι σημαντικό να αναφερθεί, ωστόσο, ότι σημαντικός είναι και ο αριθμός των

μελετών, που έχουν διαπιστώσει χρήσιμα στοιχεία από την τοπική εφαρμογή καψαϊκίνης στο δέρμα (είτε με απαλοιφή γέλης είτε με τοποθέτηση έμπλαστρου καψαϊκίνης) στην διαχείριση χρόνιων πόνων, αλλά και σοβαρών παθήσεων. Συγκεκριμένα, παρά την αρχική δυσφορία, τον πόνο, την αίσθηση καύσου, και το ερύθημα ή κνησμό που δημιουργεί η καψαϊκίνη στο σημείο εφαρμογής (Basith et al., 2016; Fattori et al., 2016; Johnson, 2007), συμβάλλει έπειτα σε αγγειακές, μεταβολικές και νευρωνικές αλλαγές (Akhtar et al., 2017), ασκώντας αναλγητική και αντιφλεγμονώδη δράση (Basith et al., 2016).

5.4. Επιδράσεις της θερμοθεραπείας στην EIMD

5.4.1. Φυσιολογικές αποκρίσεις από την εφαρμογή καψαϊκίνης

Αρχικά, είναι γνωστό ότι η καψαϊκίνη, που περιέχεται στα έμπλαστρα που εφαρμόζονται τοπικά στο δέρμα, διεγείρει τα ευαίσθητα στη ζέστη κανάλια υποδοχέων TRPV-1, προκαλώντας θερμορρυθμιστικές και μικροαγγειακές κατ' επέκταση αποκρίσεις (Akhtar et al., 2017; Baamonde, Lastra, Juarez, Hidalgo, & Menendez, 2005; Botonis, et al. 2019, 2020; Duckles, 1986; Obi et al., 2019).

Αναλυτικότερα, με την αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος, αυξάνεται η απελευθέρωση της ουσίας P, πεπτίδιο που σχετίζεται με το γονίδιο της καλσιτονίνης. Το τελευταίο προκαλεί αύξηση της διαπερατότητας καλίου στο αγγειακό περιβάλλον, αυξάνοντας έτσι την αιματική ροή (Song, 1984). Αυτό διαρκεί, ωστόσο, μερικά μόνο λεπτά. Η παρατεταμένη

απόκριση στην αύξηση της θερμοκρασίας στο δέρμα διαμεσολαβείται από το προσωρινό δυναμικό υποδοχέα Ca^{+} με τάση βαλινοειδούς -4 (TRPV4) των αγγειακών ενδοθηλιακών κυττάρων. Πάνω από τη θερμοκρασία 35°C, αυτά τα κύτταρα προκαλούν εκθετική αύξηση της εισροής Ca^{+} στο ενδοθηλιακό σύστημα από το διάμεσο χώρο. Επιπρόσθετα με την αυξημένη εισροή ενδοκυτταρικού Ca^{+} , ενισχύεται και η απελευθέρωση ATP από τα ερυθροκύτταρα. Το γεγονός ετούτο προωθεί αυξήσεις τόσο του AMPK όσο και του PGC-1 α , καθώς και την ανάπτυξη της έκφρασης γονιδίων, όπως του ενδοφλεβικού αυξητικού παράγοντα (VEGF) και της αγγειοπιετίνης -1 και -2 (Fuchs et al., 2020; Green et al., 2010; Duckles, 1986; Heiss et al., 2019; Kalsi et al., 2017; Kim et al., 2020; Kuhlenhoelter et al., 2016). Απόρροια των παραπάνω συμβάντων είναι, επομένως, η βελτίωση της μιτοχονδριακής και μικροαγγειακής γενικότερα λειτουργίας (Hafen et al., 2018; Kim et al., 2020; Ohira et al., 2017).

Επιπλέον, αυξάνεται η παραγωγή συνθετάσης του ενζύμου νιτρικού ενδοθηλιακού οξειδίου (eNOS) (Hesketh et al., 2019; Naylor et al., 2011), το οποίο αποτελεί ένα ισχυρό αγγειοδιασταλτικό, αυξάνοντας έτσι περαιτέρω την αγγειακή διαπερατότητα (Giombini et al., 2007; Green et al., 2010; Hesketh et al., 2019; Lohman et al., 2011; Naylor et al., 2010). Η αύξηση της διασταλτικότητας, δηλαδή η χαλάρωση, των αγγείων υποδεικνύει αυξημένη αιματική ροή στον τραυματισμένο - από την EIMD- τετρακέφαλο μηριαίο (όπου και εφαρμόστηκε το έμπλαστρο

καψαϊκίνης). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεταβολισμού του αίματος και των ιστών (Akyurehli et al., 2017; Botonis et al., 2019, 2020; Malanga et al., 2015; Petrofsky et al., 2015). Συγκεκριμένα, για κάθε 3 βαθμούς αύξησης της θερμοκρασίας των ιστών, ο μεταβολισμός διπλασιάζεται (Petrofsky et al., 2017).

Συνεπώς, με την τοπική εφαρμογή ζέστης επιταχύνεται ο ρυθμός φλεγμονωδών διεργασιών (Cheng et al., 2017; Selsby et al. 2007; Takeuchi et al. 2013), με την στρατολόγηση δορυφορικών κυττάρων στο σημείο τραυματισμού (Kim et al., 2019, 2020; Kojima et al., 2007; Shibaguchi et al., 2015). Η διαδικασία ετούτη προάγει την αναγέννηση των σκελετικών μυών έπειτα από MD (Harper, Ferreira, Lutjemeier, Townsend & Barstow, 2008; Kojima et al., 2007; Selsby et al., 2007; Shibaguchi et al., 2015; Takeuchi et al., 2013).

Ακόμη, η αυξημένη θερμοκρασία των ιστών οδηγεί σε υψηλή έκφραση των επιπέδων των πρωτεϊνών θερμικού σοκ (HSP'S). Οι τελευταίες είναι απαραίτητες για την κυτταρική ομοιόσταση και προστασία (Goto et al., 2003; Ogura et al., 2007; Selsby et al., 2007). Ως εκ τούτου, ενισχύεται ο ενεργειακός κύκλος, καθώς όχι μόνο αυξάνεται η φωσφορυλίωση του Akt, αλλά ενεργοποιείται επίσης και η σηματοδότηση του μονοπατιού mTOR (Kakigi et al., 2011; Koshinaka et al., 2013; Yoshihara et al., 2013). Έτσι, συγχρόνως και με την αυξημένη μεταφορά O₂ και άλλων θρεπτικών συστατικών αυξάνεται και η ανασύνθεση του γλυκογόνου στην πάσχουσα περιοχή (Hanya et al., 2018; Koga, Poole,

Kondo, Oue, Ohmae & Barstow, 2015; Koshinaka et al., 2013; Slivka et al., 2012). Το γεγονός ετούτο συνεπάγεται μείωση των πρωτεολυτικών ενζύμων και διαδικασιών (Chuang et al., 2001; Yoshihara et al., 2015), και ταυτόχρονα την αύξηση του ρυθμού πρωτεϊνοσύνθεσης (Fuchs et al., 2020; Goto et al., 2003; Ito, Ruegg & Takeda, 2018; Kakigi et al., 2011; Kim et al., 2019, 2020; Kojima et al. 2007; Malanga et al., 2015; McGorm et al., 2018; Ogura et al., 2007; Selsby et al., 2007; Shibaguchi et al., 2015).

Επομένως, από τα παραπάνω προκύπτει ότι η επιτάχυνση της αιμοδυναμικής, μέσω της διέγερσης του TRPV-1 (από την εφαρμογή ζέστης στο σημείο της EIMD), υποδηλώνει την αύξηση του μεταβολισμού του αίματος και των ιστών. Η τελευταία συνεπάγεται ενισχυμένη παροχή υποστρωμάτων, ταυτόχρονα με ταχύτερη απομάκρυνση μεταβολικών υποπροϊόντων (La⁻, H⁺), καθώς και μείωση αγγειοδραστικών ουσιών (βραδυκινίνη, ισταμίνη), που ενεργοποιούν τους αλγοϋποδοχείς προσαγωγούς της ομάδας III και IV (Botonis et al. 2019; 2020; Chuang et al., 2001; Kim et al., 2020; Lee, 1980; Versey et al., 2013), συμβάλλοντας κατ' επέκταση στην απευαισθητοποίησή τους. Απόρροια των παραπάνω γεγονότων είναι η ανακούφιση από τον καθυστερημένο μυϊκό πόνο σε συγχρονισμό με την ταχύτερη επούλωση κι αναγέννηση του τραυματισμένου ιστού (Akhtar et al., 2017; Baamonde et al., 2005; Lohman et al. 2011; Malanga et al. 2015; Menéndez, Lastra, Hidalgo & Baamonde, 2004; Petrofsky et al. 2015, 2017).

5.4.2. Θετικές επιδράσεις της θερμότητας στους δείκτες EIMD

Συνεπώς, φαίνεται ότι η τοπική εφαρμογή θερμότητας στην τραυματισμένη – από EIMD- περιοχή έχει θετικές επιδράσεις στην αποκατάσταση αυτής, βελτιώνοντας το μειωμένο εύρος κίνησης του ασκούμενου άκρου (Π.Α), ενισχύοντας τις μειωμένες τιμές της μέγιστης δύναμης και / ή ισχύος, και συμβάλλοντας εν τέλει στην αύξηση της λειτουργικότητας των ασκούμενων σκελετικών μυών (Machle & Hatch, 1947; Malanga et al., 2015; Mayer et al., 2006; McGorm et al., 2018; Nadler et al., 2004; Petrofsky et al., 2015).

Ακόμη, ερευνητικά δεδομένα έχουν δείξει ότι επαναλαμβανόμενη έκθεση σε ζέστη - έπειτα από EIMD - συμβάλλει σε μιτοχονδριακές προσαρμογές (Hafen et al., 2018; Tamura et al., 2014), που με τη σειρά τους οδηγούν σε μυϊκή υπερτροφία, και κατ' επέκταση σε ενίσχυση της μέγιστης μυϊκής δύναμης (Goto et al., 2011; Stadnyk et al., 2018).

Συνεπώς, με την άμεση εφαρμογή καψαϊκίνης στον ασκούμενο τετρακέφαλο μηριαίο μετά την διακοπή της EIMD, λογικό επακόλουθο θα ήταν όχι μόνο η μείωση του αντιλαμβανόμενου μυϊκού πόνου, εξαιτίας της απευαισθητοποίησης των προσαγωγών της ομάδας III και IV, όπως φαίνεται να προέκυψε στην παρούσα μελέτη, αλλά και η επιτάχυνση της αποκατάστασης του μυός (λόγω αυξημένης αιμοδυναμικής), συνεπώς και η ενίσχυση της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης (κάθετο άλμα από ημικάθισμα). Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη το εύρημα της μελέτης του Fattori και των

συνεργατών του (2006) για την αποδοτικότερη επίδραση της καψαϊκίνης σε τραυματισμένη περιοχή συγκριτικά με αντίστοιχο σημείο χωρίς την ύπαρξη φλεγμονής, θεωρήθηκε, στην προκειμένη περίπτωση, λοιπόν, αναπόφευκτο η θερμοθεραπεία με καψαϊκίνη να μην συμβάλει στην επιτάχυνση της αποκατάστασης, καθώς και στην βελτίωση της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης (SJ).

Ο πρωταρχικός σκοπός, λοιπόν, αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστεί εάν η θερμοθεραπεία, μέσω εφαρμογής καψαϊκίνης στο δέρμα, θα μπορούσε να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για την επιτάχυνση της αποκατάστασης των σκελετικών μυών μετά από έκκεντρη άσκηση και για τη βελτίωση της απόδοσης σε επακόλουθες μυϊκές προσπάθειες. Επιπρόσθετος κύριος σκοπός ήταν η εξέταση της επίδρασης της καψαϊκίνης στους δείκτες ασκησιογενούς βλάβης των ασκούμενων μυών.

Υποθέσαμε ότι η θερμοθεραπεία θα είχε θετικές επιδράσεις στην ενίσχυση της αποκατάστασης έπειτα από άσκηση που προκαλεί μυϊκή βλάβη σε σύγκριση με τη μη εκτέλεση κάποιας μεθόδου αποκατάστασης (εικονική θεραπεία). Ακόμη, υποθέσαμε ότι η θερμοθεραπεία - έπειτα από EIMD - θα συνέβαλε και στην αναχαίτιση της μειωμένης απόδοσης σε επακόλουθη άσκηση σε αντίθεση με την καθόλου θεραπεία.

5.5. Εν συντομία η περιγραφή του πειραματικού πρωτοκόλλου και οι επιπτώσεις αυτού στους δείκτες της EIMD

Επομένως, στην παρούσα μελέτη, προκειμένου να εξεταστεί η αποδοτικότητα της θερμοθεραπείας - και στην συγκεκριμένη περίπτωση με την τοποθέτηση έμπλαστρων καψαϊκίνης στον ασκούμενο μυ - έπειτα από EIMD, σε σύγκριση με καθόλου θεραπεία, κατέστη σημαντικό να προκληθεί, πρωτίστως, η επιθυμητή EIMD. Για το λόγο ετούτο, λοιπόν, 29 υγιείς φυσικά δραστήριοι άνδρες εκτέλεσαν πλειομετρική άσκηση, ολοκληρώνοντας 6 σειρές των 20 επαναλήψεων μονοποδικών αλμάτων πτώσης από υπερυψωμένη πλατφόρμα (ύψους 0,20μ), με ανάπαυση 2 λεπτών ανάμεσα σε κάθε σειρά. Η συγκεκριμένη μορφή άσκησης αποτελείται από ένα γρήγορο κύκλο επιμήκυνσης-βράχυνσης. Κατά την ομόκεντρη φάση παράγεται μέγιστη δύναμη και ταχύτητα, στοιχεία τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την εκρηκτικότητα των αθλητών. Της ομόκεντρης φάσης προηγείται, ωστόσο, η έκκεντρη φάση επιβράδυνσης - κατά την προσγείωση - που τεντώνονται μηχανικά οι άξονες τένοντα και μυών, συνδετικού ιστού, καθώς και οι εγκάρσιες γέφυρες ακτίνης-μυοσίνης (Bridgeman et al., 2017; Dias et al., 2021). Εν τούτοις, μη συνηθισμένη ή παρατεταμένη έκκεντρη άσκηση των ΣΜ μπορεί να προκαλέσει - όπως έχει προαναφερθεί - MD (Ruas, Latella, Taylor, Haff & Nosaka, 2022).

Η συνεδρία έκκεντρης άσκησης πραγματοποιήθηκε, λοιπόν, δύο φορές, μία για την εικονική θεραπεία και η άλλη για την θερμική θεραπεία

χρησιμοποιώντας διαφορετικό τυχαία επιλεγμένο πόδι σε κάθε περίπτωση. Μεταξύ των δύο θεραπειών χρησιμοποιήθηκε ένα διάστημα δύο εβδομάδων. Η θερμική θεραπεία περιλάμβανε έμπλαστρα καψαϊκίνης (0,025%) που τοποθετήθηκαν για 48 ώρες μετά την άσκηση στις ασκούμενες μυϊκές ομάδες (δηλαδή, τετρακέφαλο μηριαίο). Στην εικονική θεραπεία, αντίστοιχα, τοποθετήθηκαν στον τραυματισμένο τετρακέφαλο μηριαίο αυτοκόλλητες αποστειρωμένες γάζες, ίδιου μεγέθους με το αντίστοιχο του έμπλαστρου της καψαϊκίνης.

Δείκτες μυϊκής βλάβης (δηλ. καθυστερημένος μυϊκός πόνος - DOMS, εύρος κίνησης - ROM, ύψος κάθετου άλματος από ημικάθισμα, και ένδειξη οιδήματος με μέτρηση της περιφέρειας μηρού) αξιολογήθηκαν πριν από κάθε έκκεντρη περίοδο άσκησης και 48 ώρες μετά από θεραπεία είτε με εικονικό φάρμακο είτε με καψαϊκίνη. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε και αξιολόγηση της οξυγόνωσης των μυών με τη χρήση φασματοσκοπίας εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIRS, vastus lateralis).

Διαπιστώθηκε ότι το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης προκάλεσε σημαντικές αλλαγές σε όλους τους δείκτες μυϊκής βλάβης (δηλαδή, DOMS, ROM και SJ) μετά από αμφότερες τις συνθήκες ($p < 0,05$). Ωστόσο, ο DOMS ήταν χαμηλότερος και το εύρος κίνησης βελτιωμένο μετά την θερμοθεραπεία σε σύγκριση με την θεραπεία εικονικού φαρμάκου ($p < 0,01$ & $p = 0,026$, αντίστοιχα). Δεν καταγράφηκαν διαφορές μεταξύ των πειραματικών συνθηκών όσον αφορά την τοπική μυϊκή

αιμοδυναμική και την απόδοση άλματος από ημικάθισμα.

Με άλλα λόγια, η άμεση και συνεχόμενη (για διάστημα 48 ωρών) εφαρμογή έμπλαστρων με καψαϊκίνη στον τραυματισμένο - από έκκεντρη άσκηση (6x20 DJ's, 2' rest) - τετρακέφαλο μηριαίο, παρά το ότι μείωσε σημαντικά τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο ($p < 0,01$), δε φάνηκε, ωστόσο, να βοήθησε στην ενίσχυση της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης, και συγκεκριμένα κατά την εκτέλεση μέγιστου κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ_{max}) 48 ώρες μετά την EIMD. Επομένως, η αναλγητική δράση της καψαϊκίνης ενδέχεται να οφείλεται στην διέγερση των διαύλων TRPV-1. Ως εκ τούτου, δημιουργείται η ανάγκη να διευκρινιστεί η ανεπαρκής επίδραση της καψαϊκίνης στην βελτίωση της απόδοσης στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα που καταγράφηκε κατά την επόμενη μυϊκή προσπάθεια (48 ώρες μετά την EIMD).

Επομένως, παρακάτω αφού αναλύεται εκτενέστερα ο αντίκτυπος της EIMD σε κάθε δείκτη αυτής ξεχωριστά, περιγράφεται η επίδραση ή μη της θερμικής θεραπείας με καψαϊκίνη (που φάνηκε να είχε στην παρούσα μελέτη) στην βελτίωση των δεικτών της προκληθείσας ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης.

5.6. Επίδραση έκκεντρης άσκησης στους δείκτες της EIMD

5.6.1. Επίδραση EIMD στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο (DOMS)

Πιο συγκεκριμένα, τα όμοια επίπεδα του DOMS ($t_1 = 1$) στην αρχή των δύο εβδομάδων πειράματος (για την εβδομάδα θεραπείας κι

ελέγχου, αντίστοιχα) παρουσίασαν ταυτόχρονα σημαντική αύξηση έπειτα από την 48ωρη εικονική και θερμική θεραπεία, που ακολούθησε την EIMD, σε κάθε εβδομάδα πειράματος αντίστοιχα ($p < 0,001$ & μεγάλο ES: 0,923).

5.6.2. Επίδραση EIMD στο εύρος κίνησης του Π.Α (ROM)

Επιπλέον, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, η EIMD προξένησε στατιστικά σημαντική μείωση του ROM στην άρθρωση του γόνατος του Π.Α και στις δύο συνθήκες ($p < 0,001$ & μεγάλο ES: 0,414).

5.6.3. Επίδραση EIMD στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)

Ακόμη, υπήρξε σημαντική η πτώση του ύψους στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα, έπειτα τόσο από τη 48ωρη εικονική όσο και από την αντίστοιχη θερμική θεραπεία ($p < 0,01$ & πολύ μεγάλο ES: 0,839). Στο σημείο ετούτο, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι πλήθος μελετών που έχουν εξετάσει τις επιπτώσεις της EIMD στην μέγιστη μυϊκή δύναμη, έχουν διαπιστώσει ότι η πτώση αυτής παραμένει ακόμη κι όταν όλες οι άλλες μεταβλητές επιστρέφουν στα προ της EIMD επίπεδα (Byrne et al., 2002; Byrne & Eston, 2010; Cleak & Eston, 1992; Linnaamo et al., 2000; Skurvydas et al., 2009).

5.7. Επίδραση της θεραπευτικής παρέμβασης με καψαϊκίνη στους δείκτες της EIMD

5.7.1. Επίδραση θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στον καθυστερημένο μυϊκό πόνο (DOMS)

Ωστόσο, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 4.1, όταν συγκρίθηκαν οι αλλαγές στον DOMS μεταξύ της

ομάδας που υποβλήθηκε σε εικονική (PL) και της ομάδας που υποβλήθηκε σε θερμική θεραπεία (με τοποθέτηση έμπλαστρων καψαϊκίνης στον ασκούμενο μυ), οι αναφορές για τον DOMS στο ημικάθισμα ήταν σημαντικά βελτιωμένες έπειτα από τη 48ωρη θερμική θεραπεία συγκριτικά με την αντίστοιχη εικονική [HT; $1,1 \pm 0,0 < PL$, $p = 0,026 < 0,05$ & μέσο ES: 0,085]. Επομένως, η παρούσα μελέτη επιβεβαίωσε την ανωτερότητα της θερμοθεραπείας (και στην προκειμένη περίπτωση μεκαψαϊκίνη) σε σχέση με την εικονική (καθόλου) θεραπεία, καθώς έδειξε θετική επίδραση της πρώτης (HT) στην μείωση του αντιλαμβανόμενου μυϊκού πόνου.

Με το εύρημα ότι η θερμοθεραπεία υπήρξε ανώτερη από την εικονική θεραπεία συμφωνούν και τα ερευνητικά πορίσματα ολοένα και αυξανόμενου αριθμού μελετών, που δείχνουν ότι η τοπική θερμική θεραπεία αμέσως μετά από την εκτέλεση έντονης έκκεντρης άσκησης ελαττώνει τον καθυστερημένο μυϊκό πόνο (Kim et al. 2019; Petrofsky et al. 2015, 2017; Mayer et al., 2006). Αναλυτικότερα, στη μελέτη της Kim και των συνεργατών της (2019) διαπιστώθηκε ότι η θερμοθεραπεία, που ακολούθησε την EIMD, είχε την έντονη τάση να μειώνει την ένταση του πόνου του Π.Α σε αντίθεση με την αντίστοιχη εικονική ($\#p = 0,053$). Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξε και η έρευνες του Petrofsky και των συνεργατών του (2017), του Viitasalo και των συνεργατών του (1995), καθώς και του Mayer και των συνεργατών του (2006), στις οποίες 48 ώρες μετά την EIMD παρατηρήθηκαν σημαντικά αυξημένες τιμές στην κλίμακα του πόνου στην συνθήκες ελέγχου σε σχέση με

τις αντίστοιχες θερμικές συνθήκες, υποστηρίζοντας την αποδοτικότητα της HT στην ανακούφιση από τα συμπτώματα του DOMS ($\#p < 0,01$, $\#p < 0,01$, $\#p < 0,05$, αντίστοιχα).

5.7.2. Επίδραση θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στο εύρος κίνησης του Π.Α (ROM)

Εντούτοις, η βελτίωση του ROM έτεινε να είναι στατιστικά σημαντική μόνο μετά την 48ωρη θερμοθεραπεία (με καψαϊκίνη), που ακολούθησε την EIMD ($p=0,052 > 0,05$).

Ακόμη, τα ερευνητικά πορίσματα της μελέτης του Petrofsky και των συνεργατών του (2017) υποστηρίζουν σαφέστερα την εκδοχή ότι η εφαρμογή ζέστης - αμέσως μετά την EIMD- εμποδίζει την μείωση του ROM στην άρθρωση του ασκούμενου μυός, ενώ η καθόλου (μετά την EIMD) θεραπεία έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση σε αυτή, όπως φάνηκε από τις στατιστικά σημαντικά μικρότερες τιμές του ROM 48 ώρες έπειτα από την εικονική θεραπεία ($\#p < 0,05$).

5.7.3. Επίδραση θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα (SJ)

Ωστόσο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ των δύο θεραπευτικών παρεμβάσεων (εικονική και θερμική θεραπεία, αντίστοιχα) στην στατιστικά σημαντική πτώση του SJ, που καταγράφηκε 48 ώρες μετά την EIMD ($p = 0,281 > 0,05$). Συνεπώς, από τα παραπάνω προκύπτει ότι η θερμοθεραπεία (με καψαϊκίνη) φάνηκε να είχε ασήμαντη επίδραση στην επακόλουθη απόδοση του SJ από ημικάθισμα. Το αποτέλεσμα ετούτο έρχεται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα της μελέτης της Kim και

των συνεργατών της (2019), της έρευνας του Jayaraman και των συνεργατών του (2004), καθώς και του Kuligowski και των συνεργατών του (1998), στις οποίες δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στο προφίλ συνολικής ανάκαμψης της απόδοσης μεταξύ των διαφορετικών - σε κάθε περίπτωση- θεραπευτικών - μετά την EIMD - ομάδων. Συνεπώς, τα στοιχεία ετούτα προστίθενται στα πορίσματα της παρούσας μελέτης, για την ανεπαρκή επίδραση της θερμοθεραπείας - έπειτα από EIMD - στην ενίσχυση της απόδοσης σε επακόλουθη περίοδο άσκησης.

Από την άλλη πλευρά, τα παρόντα αποτελέσματα, αναφορικά με την απόδοση (ύψος SJ από ημικάθισμα), που αξιολογήθηκε 48 ώρες μετά την EIMD, δεν συμπίπτουν με τα ερευνητικά πορίσματα της μελέτης του Petrofsky και των συνεργατών του (2016), οι οποίοι αποφάνθηκαν ότι η απόδοση (στην προκειμένη περίπτωση αφορά την μέγιστη μυϊκή δύναμη), σε περίοδο άσκησης 48 ώρες μετά από EIMD, μειώθηκε σημαντικά, σε σχέση με την αρχική αξιολόγηση αυτής, και συγκεκριμένα κατά 23,8 %, στην ομάδα ελέγχου (ANOVA, $p < 0,01$), ενώ δεν υπήρξε σημαντική μείωση στην αντίστοιχη απόδοση, σε σχέση με τα προ-άσκησης επίπεδα, στην ομάδα που εφαρμόστηκε αμέσως μετά την EIMD τοπική θερμική θεραπεία (ANOVA, $p > 0,05$). Ακόμη, στην έρευνα του Viitasalo και των συνεργατών του (1995), διαπιστώθηκε σημαντικά χαμηλότερη η απόδοση στα συνεχόμενα άλματα πτώσης (DJ's) έπειτα από την εικονική θεραπεία [2,4% ($\pm 2,4$), $p < 0,01$] σε σύγκριση με την αντίστοιχη θερμική [3,6% ($\pm 2,7$), $^{\#}p < 0,001$].

Συνοπτικά, λοιπόν, από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι παρά την θετική επίδραση της 48ωρης θερμικής θεραπείας με καψαϊκίνη στην ανακούφιση από τον DOMS και στην βελτίωση του μειωμένου ROM, έπειτα από EIMD, η απόδοση στο SJ δεν βελτιώθηκε σημαντικά σε σύγκριση με την ομάδα εικονικής θεραπείας. Συνεπώς, δημιουργείται η ανάγκη να διευκρινιστεί γιατί συνέβη αυτό. Γιατί δηλαδή ο τραυματισμένος - από EIMD - μυς δεν ανταποκρίθηκε, επαρκώς, στο σήμα του εγκεφάλου για παραγωγή μέγιστης δύναμης και/ή ισχύος, και δὴ παρά τις βελτιωμένες αναφορές - για την αίσθηση του πόνου και τις αντίστοιχες για το ROM του Π.Α - έπειτα από την 48ωρη θερμική θεραπεία με καψαϊκίνη, που ακολούθησε την EIMD.

5.8. Συσχετισμός κεντρικής και περιφερικής κόπωσης νευρομυϊκού συστήματος με την πτώση της απόδοσης

Σύμφωνα με πληθώρα μελετών, με την διακοπή της EIMD επέρχεται άμεση πτώση της απόδοσης. Η τελευταία αποδίδεται στην προκληθείσα από την άσκηση κόπωση κεντρικών και περιφερειακών μηχανισμών του νευρομυϊκού συστήματος (Appell, Soares & Duarte, 1992; DaSilva, Monjo, Gioda, Blain, Piponnier, Corcelle & Colson, 2023; Dundon, Cirillo & Semmler, 2008; Prasartwuth et al. 2005; Racinais, Buchheit & Girerd, 2014; Souron et al. 2018; Szczyglowski et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα, η αμέσως μετά την EIMD πτώση της μέγιστης δύναμης και/ή ισχύος οφείλεται κυρίως στην μειωμένη εκούσια ενεργοποίηση του τραυματισμένου μυός (mVA). Η

μείωση αυτή αποτελεί μια προσπάθεια του νευρομυϊκού συστήματος να αποτρέψει περαιτέρω τραυματισμό της μονάδας μυών-τενόντων (Clarkson & Newham, 1995). Ωστόσο, η παρατεταμένη μείωση της απόδοσης, και στην προκειμένη περίπτωση, 48 ώρες μετά την EIMD [διάστημα κατά το οποίο οι φλεγμονώδεις διεργασίες να βρίσκονται ακόμη σε εξέλιξη], αποδίδεται κυρίως στην μειωμένη ικανότητα των συστατικών ιδιοτήτων [PC] του ασκούμενου μυός (τετρακέφαλου μηριαίου) να παράγουν ένα επίπεδο δύναμης και/ή ισχύος. Το γεγονός ετούτο συνεπάγεται, επομένως, ότι η EIMD, ακόμη κι έπειτα από την 48ωρη θερμοθεραπεία με καψαϊκίνη, δεν έχει προλάβει να αποκατασταθεί (Behrens et al. 2012; Prasartwuth et al. 2005; 2019; Souron et al. 2018; Viitasalo et al. 1995).

5.9. Η αξιολόγηση της απόδοσης (και όχι ο αντιλαμβανόμενος μυϊκός πόνος) ως ο βέλτιστος δείκτης επαρκούς αποκατάστασης

Πάραυτα, οι αναφορές για την αίσθηση του DOMS, που ζητήθηκαν, στην παρούσα μελέτη, 48 ώρες μετά την εκτέλεσης της EIMD ήταν σημαντικά υψηλότερες σε σχέση με τις αρχικές τιμές αυτού [πριν την EIMD] (* $p < 0,01$). Συνεπώς, η πτώση της απόδοσης στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα, σε σχέση με την αρχική αξιολόγηση αυτού, ενδέχεται να οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, σε μειωμένη προσπάθεια από μέρους των δοκιμαζόμενων να καταβάλλουν το μέγιστο των δυνατοτήτων τους, λόγω της αίσθησης του πόνου στον τραυματισμένο τετρακέφαλο μηριαίο του Π.Α (George, Dover & Fillingim, 2007). Σε ετούτη την εκτίμηση

κατέληξε και η έρευνα του Kuligowski και των συνεργατών του (1998) και η έρευνα του Jayaraman και των συνεργατών του (2004), αφού και στις δύο αυτές μελέτες η μειωμένη απόδοση, σε άσκηση έπειτα από EIMD, συσχετίστηκε με τις αναφορές για τον αντιλαμβανόμενο μυϊκό πόνο.

Από την άλλη πλευρά, ωστόσο, το γεγονός ότι, στην παρούσα μελέτη, δεν βελτιώθηκε η απόδοση στο άλμα από ημικάθισμα, παρά την σημαντική μείωση του DOMS στην θερμική συνθήκη, συνιστά ένα διόλου ασήμαντο επιχείρημα για την ανατροπή της άποψης ότι ο DOMS αποτελεί τον μοναδικό καθοριστικό παράγοντα επαρκούς αποκατάστασης. Με την άποψη αυτή, συμβαδίζουν και τα αποτελέσματα της έρευνας του Viitasalo και της αντίστοιχης του Kuligowski και των συνεργατών τους (1995 & 1998, αντίστοιχα), εφόσον και στις δύο αυτές μελέτες διαπιστώθηκε ότι ο DOMS δεν υπήρξε ο βασικότερος δείκτης για την επούλωση του τραυματισμένου μυός, και κατά συνέπεια της βελτίωσης της απόδοσης σε περίοδο άσκησης ύστερα από EIMD. Επιπροσθέτως, ερευνητικά πορίσματα μελετών, στις οποίες ο DOMS και η απόδοση αξιολογήθηκαν και σε ύστερο χρονικό διάστημα, διαπίστωσαν ότι ακόμη κι όταν ο DOMS δεν ήταν πια εμφανής, η απόδοση παρέμενε μειωμένη, σε σημείο όπου οι δοκιμαζόμενοι, εξαιτίας της ανακούφισης από τον DOMS, δεν αντιλήφθηκαν ότι η απόδοσή τους ήταν χαμηλότερη από την αντίστοιχη αρχική (Jayaraman et al. 2004; Kuligowski et al. 1998). Αυτό μας δείχνει, επομένως, ότι ο DOMS δεν μπορεί να θεωρηθεί προβλεπτικός

παράγοντας της απόδοσης, σε περίοδο άσκησης που ακολουθεί EIMD, και κατά συνέπεια δεν συνίσταται ως το πλέον κρίσιμο κριτήριο για την επιστροφή του ασκούμενου στην προπόνηση. Ακόμη, ο DOMS είναι ένας προστατευτικός παράγοντας για να αποφευχθεί περαιτέρω πρόκληση τραυματισμού (Kuligowski et al. 1998). Επομένως, θεραπείες όπως η HT, που βοηθούν στην ανακούφιση από τον DOMS, εγκυμονούν κίνδυνο να προκληθεί μεγαλύτερη MD στον ασκούμενο μυ. Συνεπώς, από όλα τα παραπάνω συνάγεται το συμπέρασμα ότι η αξιολόγηση της απόδοσης - σε περίοδο άσκησης που ακολουθεί την EIMD - μπορεί να είναι πιο ακριβής και ασφαλέστερος παράγοντας, προκειμένου να εκτιμηθεί εάν ο ασκούμενος είναι σε θέση να επιστρέψει στην προπόνηση, και να αποδώσει καλώς χωρίς τον κίνδυνο περαιτέρω τραυματισμού στην περιοχή.

5.10. Ανεπαρκή επίδραση της θερμοθεραπείας (με καψαϊκίνη) στην αιμοδυναμική (BFm)

Επιπλέον με τα ανωτέρω, η αναποτελεσματικότητα της θερμοθεραπείας με καψαϊκίνη στην ενίσχυση της αποκατάστασης και της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης (επαναξιολόγηση SJ 48 ώρες μετά) επιβεβαιώνεται και από άποψη φυσιολογίας, καθώς δεν διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της καψαϊκίνης στην αιμοδυναμική του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου. Επεξηγηματικά, το ότι η εφαρμογή καψαϊκίνης δεν συνέβαλε στην ενίσχυση της αιμοδυναμικής, υποδηλώνει ότι δεν επιταχύνθηκε ο μεταβολισμός των τραυματισμένων μυϊκών ινών, και κατά συνέπεια οι

φλεγμονώδεις διεργασίες για την αποκατάσταση του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου. Έτσι εξηγείται, λοιπόν, και η επιμένουσα περιφερειακή μυϊκή κόπωση, στην οποία και αποδίδεται η μειωμένη απόδοση στο κάθετο άλμα από ημικάθισμα που διαπιστώθηκε μετά την 48ωρη θερμοθεραπεία που ακολούθησε την EIMD.

Το γεγονός ετούτο, η ελλιπή επίδραση δηλαδή - στην παρούσα μελέτη - της καψαϊκίνης στην αιμοδυναμική του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου, καθίσταται δύσκολο να αιτιολογηθεί. Ωστόσο, σημαντικοί παράγοντες για αυτή την ασυμφωνία των ερευνητικών αυτών αποτελεσμάτων, συγκριτικά με των αντίστοιχων που παρουσιάζονται στις μελέτες του Μποτώνη και των συνεργατών του (2019 & 2021), θα μπορούσε να αποτελούν οι διαφορές στα πειραματικά πρωτόκολλα που εφαρμόστηκαν σε εκάστη μελέτη, όσο αναφορά τόσο την άσκηση στην οποία υποβάλλονταν οι δοκιμαζόμενοι όσο και τις διαδικασίες της θεραπευτικής παρέμβασης που ακολουθούσαν σε κάθε περίπτωση.

5.11. Συμπεράσματα

Έπειτα από την 48ωρη θερμική θεραπεία με καψαϊκίνη, που ακολούθησε την EIMD, μειώθηκε σημαντικά ο αντιλαμβανόμενος μυϊκός πόνος στο ημικάθισμα, και βελτιώθηκε επίσης σημαντικά το εύρος κίνησης του Π.Α. Ωστόσο, η θερμοθεραπεία με καψαϊκίνη δεν αποδείχθηκε ανώτερη από την εικονική αναφορικά με την απόδοση σε επόμενη περίοδο άσκησης (SJ 48 ώρες μετά την EIMD). Κύρια αιτία για την ανεπαρκή αποδοτικότητα του τετρακέφαλου μηριαίου στην

απόδοση στο SJ ήταν, εκτός από τον DOMS που εξακολουθούσε να είναι σημαντικά αισθητός, η επειμένους περιφερειακή κόπωση. Η τελευταία υποδεικνύει ότι η θερμοθεραπεία υπήρξε αναποτελεσματική, στην παρούσα μελέτη, στην ενίσχυση τόσο της αποκατάστασης όσο και της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης (SJ 48 ώρες μετά την EIMD). Ακόμη, το γεγονός ότι η θερμική θεραπεία με καψαϊκίνη δεν είχε σημαντική επίδραση στην αιμοδυναμική, επιβεβαιώνει – και από άποψη φυσιολογίας- την αδυναμία της θεραπευτικής αυτής τεχνικής να ενισχύσει την αποκατάσταση του τραυματισμένου – έπειτα από EIMD- μύος (τετρακέφαλου μηριαίου).

5.12. Περιορισμοί

A) Στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν άνδρες φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού. Συνεπώς, δεν υπάρχει εικόνα των επιδράσεων σε γυναίκες, αλλά και σε αθλητές υψηλότερου επιπέδου.

B) Τα αποτελέσματα της μελέτης δεν αφορούν νεότερους ή γηραιότερους φυσιολογικά δραστήριους άνδρες. Ενδεχομένως, η πραγματοποίηση της έρευνας σε μεγαλύτερο ηλικιακό εύρος ατόμων θα ισχυροποιούσε τα συγκεκριμένα ερευνητικά αποτελέσματα.

Γ) Εξαιτίας της φύσης της θεραπείας - με τη χρήση καψαϊκινοειδούς - καθίσταται αδύνατος ο πειραματικός σχεδιασμός να είναι ανίδεος.

Δ) Η αξιολόγηση των δεικτών της EIMD πραγματοποιήθηκε μόνο 48 ώρες μετά από αυτή. Το χρονικό αυτό διάστημα δεν φαίνεται επαρκές, ώστε

να δράσουν θετικά οι επιδράσεις της HT στην προκληθείσα MD από άσκηση (Belfry, Paterson, Murias & Thomas, 2012). Οι μελλοντικές μελέτες πρέπει να εξετάσουν τον αντίκτυπο της επαναλαμβανόμενης θερμοθεραπείας στις μεταγενέστερες φάσεις της αποκατάστασης.

E) Ακόμη, σύμφωνα με μελέτη του Botonis και των συνεργατών του (2019 & 2021), ο τετρακέφαλος μηριαίος έχει μειωμένη ποσότητα ευαίσθητων στην θερμότητα υποδοχέων συγκριτικά μύες του άνω μέρους του σώματος. Αυτό σημαίνει ότι ο τετρακέφαλος έχει μειωμένη θερμική ευαισθησία σε σχέση με άλλους μύες, γεγονός που ίσως καθιστά περιοριστικό παράγοντα στην εξέταση της αποτελεσματικότητας της θερμικής παρέμβασης με καψαϊκίνη για την ενίσχυση τόσο της αποκατάστασης - των τραυματισμένων από EIMD μύων- όσο και της απόδοσης σε επόμενη μυϊκή προσπάθεια.

5.13. Πρακτικές εφαρμογές

Το γεγονός ότι η εφαρμογή έμπλαστρων που περιείχαν καψαϊκίνη – για διάστημα 48 ωρών- στον τραυματισμένο, έπειτα από EIMD, τετρακέφαλο μηριαίο συνέβαλε σε σημαντική μείωση του καθυστερημένου μυϊκού πόνου καθιστά αυτή την μορφή θεραπείας αποτελεσματική για την ανακούφιση από αυτόν.

Από τα παραπάνω προκύπτει, επομένως, ότι η αξιολόγηση της απόδοσης είναι ακριβέστερο και ασφαλέστερο κριτήριο για την επιστροφή του ασκούμενου στην προπόνηση.

5.14. Προοπτικές

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι η θερμική θεραπεία αμέσως μετά την EIMD συμβάλλει στην μείωση της έντασης του αντιλαμβανόμενου μυϊκού πόνου. Αυτά τα ευρήματα ευθυγραμμίζονται με ολοένα αυξανόμενο αριθμό μελετών που υποστηρίζουν ότι η θερμοθεραπεία έχει θετική επίδραση στην αποκατάσταση έπειτα από EIMD (Cheng et al. 2017; Kojima et al. 2007; Oishi, Hayashida, Tsukiashi, Taniguchi, KamiRoy & Ohira, 2009; Oishi, Roy, Ogata, & Ohira, 2015; Shibaguchi et al. 2016; Takeuchi et al. 2014).

Πληθώρα μελετών έχουν εξετάσει ποικίλες μεθόδους, ώστε να προσδιορίσουν την αποτελεσματικότερη στρατηγική για την ενίσχυση της αποκατάστασης από EIMD και την βελτίωση της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης. Ωστόσο, καθίσταται δύσκολη η σύγκριση των πολυάριθμων ερευνητικών πορισμάτων, διότι οι πειραματικοί σχεδιασμοί των μελετών - που έχουν διεξαχθεί έως τώρα - περιλαμβάνουν ποικίλα πρωτόκολλα αναφορικά με το είδος, την ένταση, την διάρκεια της άσκησης για την πρόκληση της MD, διαφορετικούς ασκούμενους μύες, διαφορετικές μορφές θερμικής θεραπευτικής παρέμβασης, καθώς και διαφορετικούς τρόπους αξιολόγησης των δεικτών της EIMD, ειδικότερα όσον αφορά την υποκειμενικότητα που χαρακτηρίζει την εκτίμηση για τον προσδιορισμό του DOMS.

Επιπρόσθετα με ετούτο, η βιβλιογραφία σχετικά με την διερεύνηση του αντίκτυπου που έχει θερμοθεραπεία στην αποκατάσταση έπειτα από EIMD και στην ενίσχυση της απόδοσης σε επόμενη περίοδο

άσκησης υστερεί σε σχέση με την πληθώρα ερευνητικών δεδομένων για άλλες μορφές θεραπείας. Επομένως, συνίσταται περαιτέρω μελέτη της θερμοθεραπείας ως στρατηγικής για την αποκατάσταση έπειτα από EIMD και για την ενίσχυση της επακόλουθης απόδοσης.

Ακόμη, προτείνεται η διενέργεια περαιτέρω ερευνών, ώστε να προσδιοριστεί εάν η επαναλαμβανόμενη τοπική εφαρμογή θερμοθεραπείας ενισχύει τις προπονητικές προσαρμογές των ασκούμενων σκελετικών μυών.

Επιπλέον, από τα παραπάνω προκύπτει εύλογο να εξεταστεί μήπως άλλος τρόπος θερμοθεραπείας αποδεικνυόταν βέλτιστος στην ενίσχυση της αποκατάστασης έπειτα από EIMD. Για παράδειγμα, εάν η θερμοθεραπεία - μετά την EIMD - διαρκούσε για μεγαλύτερο (από 48 ώρες) χρονικό διάστημα, αξιολογώντας με τον τρόπο ετούτο τους δείκτες της ασκησιογενούς μυϊκής βλάβης στις 72 ώρες, καθώς και στις 96 ώρες μετά την EIMD, πιθανόν να παρατηρούσαμε καλύτερα αποτελέσματα. Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να διερευνηθεί η εφαρμογή θερμικής παρέμβασης με καψαϊκίνη και πριν την πρόκληση της EIMD (Sabapathy, Tan, AlHussein, Jaafar, Brocherie, Racinais & Ihsan, 2021; Saga et al., 2008). Επιπλέον, διαφορετική τεχνική θερμοθεραπείας για την αποκατάσταση από EIMD, ίσως επιδρούσε βαθύτερα στον τραυματισμένο μυϊκό ιστό, συμβάλλοντας, συνεπώς, στην ταχύτερη αποκατάσταση αυτού.

Συνεπώς, θα ήταν ωφέλιμο να διεξαχθούν περισσότερες μελέτες, στις οποίες θα εξετάζεται η επίδραση της θερμοθεραπείας και πριν από την

πρόκληση EIMD, καθώς και μελετών όπου η αποκατάσταση με HT θα διαρκεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ώστε να δειχθούν σαφέστερα οι επιδράσεις αυτής στην ενίσχυση της αποκατάστασης και της απόδοσης σε επόμενη περίοδο άσκησης.

Βιβλιογραφία

- Abaïdia, A. E., Lamblin, J., Delecroix, B., Leduc, C., McCall, A., Nédélec, M., Dawson, B., Baquet G. & Dupont, G. (2017). Recovery from exercise-induced muscle damage: Cold-water immersion versus whole-body cryotherapy. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3), 402-409.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0186>
- Ahmadi, S., Sinclair, P. J., Foroughi, N., & Davis, G. M. (2008). Monitoring muscle oxygenation after eccentric exercise-induced muscle damage using near-infrared spectroscopy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(4), 743-752.
<https://doi.org/10.1139/h08-048>
- Akehi, K., & Long, B. C. (2013). Application of menthol counterirritant: effect on hamstring flexibility, sensation of pressure, and skin surface temperature. *Athletic Training and Sports Health Care*, 5(5), 234-240.
<https://doi.org/10.3928/19425864-20130906-01>
- Appell, H. J., Soares, J. M. C., & Duarte, J. A. R. (1992). Exercise, muscle damage and fatigue. *Sports Medicine*, 13, 108-115.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199213020-00006>
- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(6), 529-538. Doi: 10.1249/00005768-198412000-00002
- Akhtar, F., Sharif, H. M., Mallick, M. A., Zahoor, F., Abdulmalik, A., Baig, W., Shujaat, N., Gul, S., Bibi, G., Ramzan R. & Murtaza, G. (2017). Capsaicin: Its biological activities and in silico target fishing. *Acta Polonicae Pharmaceutica*, 74(2), 321-329.
<https://doi.org/10.1021/np020465y>
- Akyürekli, D., Gerig, L. H., & Raaphorst, G. P. (1997). Changes in muscle blood flow distribution during hyperthermia. *International Journal of Hyperthermia*, 13(5), 481-496.
<https://doi.org/10.3109/02656739709023547>
- Alkahtani, S., Aljuhani, O., Alkhalidi, N., Almasuod, N., Hezam, O., Aljaloud, I., Dawoud H. A. H. & Abdusalam, A. (2020). Impact of Acute Eccentric versus Concentric Running on Exercise-Induced Fat Oxidation and Postexercise Physical Activity in Untrained Men. *BioMed Research International*, 2020.
<https://doi.org/10.1155/2020/2608730>
- Allen, D. G. (2001). Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 311-319. DOI: 10.1046/j.1365-201x.2001.00833.x
- Attia, A., Dhahbi, W., Chaouachi, A., Padulo, J., Wong, D. P., & Chamari, K. (2017). Measurement errors when estimating the vertical jump height with flight time using photocell devices: the example of Optojump. *Biology of Sport*, 34(1), 63.
<https://doi.org/10.5114/biolsport.2017.63735>

- Auger, H., Bherer, L., Boucher, É. Hoge, R., Lesage, F., & Dehaes, M. (2016). Quantification of extra-cerebral and cerebral hemoglobin concentrations during physical exercise using time-domain near infrared spectroscopy. *Biomedical Optics Express*, 7(10), 3826-3842. doi:10.1364/boe.7.003826
- Baamonde, A., Lastra, A., Juarez, L., Hidalgo, A., & Menéndez, L. (2005). TRPV1 desensitisation and endogenous vanilloid involvement in the enhanced analgesia induced by capsaicin in inflamed tissues. *Brain Research Bulletin*, 67(6), 476-481. https://doi.org/10.1016/j.brainresbul.1.2005.07.001
- Balnave, C. D., & Thompson, M. W. (1993). Effect of training on eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1545-1551. https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.4.1545
- Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., & Melegati, G. (2010). Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Medicine*, 40(6), 509-517. https://doi.org/10.2165/11531940-000000000-00000
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes. *Sports Medicine*, 36(9), 781-796. https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00005
- Baroni, B. M., Pompermayer, M. G., Cini, A., Peruzzolo, A. S., Radaelli, R., Brusco, C. M., & Pinto, R. S. (2017). Full range of motion induces greater muscle damage than partial range of motion in elbow flexion exercise with free weights. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(8), 2223-2230. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001562
- Barstow, T. J. (2019). Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research. *Journal of Applied Physiology*, 126(5), 1360-1376. https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00166.2018
- Basith, S., Cui, M., Hong, S., & Choi, S. (2016). Harnessing the therapeutic potential of capsaicin and its analogues in pain and other diseases. *Molecules*, 21(8), 966. https://doi.org/10.3390/molecules21080966
- Baumert, P., Temple, S., Stanley, J. M., Cocks, M., Strauss, J. A., Shepherd, S. O., Drust, B., Lake, M. J., Stewart, C. E. & Erskine, R. M. (2021). Neuromuscular fatigue and recovery after strenuous exercise depends on skeletal muscle size and stem cell characteristics. *Scientific Reports*, 11(1), 7733. https://doi.org/10.1038/s41598-021-87195-x
- Behrens, M., Mau-Moeller, A., & Bruhn, S. (2012). Effect of exercise-induced muscle damage on neuromuscular function of the quadriceps muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 600-606. https://doi.org/10.1055/s-0032-1304642
- Belfry, G. R., Paterson, D. H., Murias, J. M., & Thomas, S. G. (2012). The effects of short recovery duration on VO₂ and muscle deoxygenation

- during intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1907-1915.
<https://doi.org/10.1007/s00421-011-2152-4>
- Bhambhani, Y. N. (2004). Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 504-523.
<https://doi.org/10.1139/h04-033>
- Binzoni, T., Cooper, C. E., Wittekind, A. L., Beneke, R., Elwell, C. E., Van De Ville, D., & Leung, T. S. (2010). A new method to measure local oxygen consumption in human skeletal muscle during dynamic exercise using near-infrared spectroscopy. *Physiological Measurement*, 31(9), 1257.
<https://doi.org/10.1088/0967-3334/31/9/014>
- Botonis, P. G., Geladas, N. D., Kounalakis, S. N., Cherouveim, E. D., & Koskolou, M. D. (2017). Effects of menthol application on the skin during prolonged immersion in swimmers and controls. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1560-1568.
<https://doi.org/10.1111/sms.12799>
- Boushel, R., & Piantadosi, C. A. (2000). Near-infrared spectroscopy for monitoring muscle oxygenation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 168(4), 615-622.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2000.00713.x>
- Boushel, R., Langberg, H., Olesen, J., Gonzales-Alonzo, J., Bülow, J., & Kjaer, M. (2001). Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 11(4), 213-222.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2001.110404.x>
- Bridgeman, L. A., Gill, N. D., Dulson, D. K., & McGuigan, M. R. (2017). The effect of exercise-induced muscle damage after a bout of accentuated eccentric load drop jumps and the repeated bout effect. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(2), 386-394.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001725>
- Bridgeman, L. A., McGuigan, M. R., Gill, N. D., & Dulson, D. K. (2017). The effects of accentuated eccentric loading on the drop jump exercise and the subsequent postactivation potentiation response. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1620-1626.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001630>
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2014). Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(11), 2139-2147.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000348>
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2018). The influence of post-exercise cold-water immersion on adaptive responses to exercise: a review of the literature. *Sports Medicine*, 48(6), 1369-1387.
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-0910-8>
- Broatch, J. R., Petersen, A., & Bishop, D. J. (2018). The influence of post-

- exercise cold-water immersion on adaptive responses to exercise: a review of the literature. *Sports Medicine*, 48(6), 1369-1387. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0910-8>
- Brown, S. J., Child, R. B., Day, S. H., & Donnelly, A. E. (1997). Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(4), 369-374. <https://doi.org/10.1007/s004210050174>
- Brown, S., Day, S., & Donnelly, A. (1999). Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions. *Journal of Sports Sciences*, 17(5), 397-402. <https://doi.org/10.1080/026404199365911>
- Brusco, C. M., Blazevich, A. J., Radaelli, R., Botton, C. E., Cadore, E. L., Baroni, B. M. & Pinto, R. S. (2018). The effects of flexibility training on exercise-induced muscle damage in young men with limited hamstrings flexibility. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(6), 1671-1680. <https://doi.org/10.1111/sms.13068>
- Byrne, C., & Eston, R. (2002). Maximal-intensity isometric and dynamic exercise performance after eccentric muscle actions. *Journal of Sports Sciences*, 20(12), 951-959. <https://doi.org/10.1080/026404102321011706>
- Byrne, C., & Eston, R. (2002). The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 20(5), 417-425. <https://doi.org/10.1080/026404102317366672>
- Byrne, C., R. H. T. (2001). Characteristics of isometric and dynamic strength loss following eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 11(3), 134-140. <https://doi.org/10.1046/j.1524-4725.2001.110302.x>
- Carr, J. (2019). Near-infrared diffuse correlation spectroscopy: the future of non-invasive assessment of skeletal muscle oxygenation?. *The Journal of Physiology*, 597(15), 3795-3797. <https://doi.org/10.1113/JP278276>
- Cejudo, A., Sainz de Baranda, P., Ayala, F., De Ste Croix, M., & Santonja-Medina, F. (2020). Assessment of the Range of Movement of the Lower Limb in Sport: Advantages of the ROM-SPORT I Battery. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7606. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207606>
- Cernych, M., Baranauskiene, N., Vitkauskiene, A., Satas, A., & Brazaitis, M. (2019). Accelerated muscle contractility and decreased muscle steadiness following sauna recovery do not induce greater neuromuscular fatigability during sustained submaximal contractions. *Human Movement Science*, 63, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.009>

- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 27(08), 591-598. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865920>
- Chen, T. C. C., Kang, H. Y., Tseng, W. C., Lin, S. C., Chan, C. W., Chen, H. L. & Nosaka, K. (2023). Muscle damage induced by maximal eccentric exercise of the elbow flexors after 3-week immobilization. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33(4), 382-392. <https://doi.org/10.1111/sms.14279>
- Chen, T. C., Chen, H. L., Cheng, L. F., Chou, T. Y., & Nosaka, K. (2021). Effect of Leg Eccentric Exercise on Muscle Damage of the Elbow Flexors after Maximal Eccentric Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 53(7), 1473-1481. <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000002616>
- Chen, T. C., Lin, K. Y., Chen, H. L., Lin, M. J., & Nosaka, K. (2011). Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 111(2), 211-223. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1648-7>
- Cheng, A. J., Willis, S. J., Zinner, C., Chaillou, T., Ivarsson, N., Ørtenblad, N. Lanner, J. T., H. C., Holmberg & Westerblad, H. (2017). Post-exercise recovery of contractile function and endurance in humans and mice is accelerated by heating and slowed by cooling skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 595(24), 7413-7426. <https://doi.org/10.1113/JP274870>
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports Medicine*, 33(2), 145-164. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333020-00005>
- Chiesa, S. T., Trangmar, S. J., Kalsi, K. K., Rakobowchuk, M., Banker, D. S., Lotlikar, M. D., Ali, L. & González-Alonso, J. (2015). Local temperature-sensitive mechanisms are important mediators of limb tissue hyperemia in the heat-stressed human at rest and during small muscle mass exercise. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. DOI: 10.1152/ajpheart.00078.2015
- Child, R. B., Saxton, J. M., & Donnelly, A. E. (1998). Comparison of eccentric knee extensor muscle actions at two muscle lengths on indices of damage and anglespecific force production in humans. *Journal of Sports Sciences*, 16(4), 301-308. <https://doi.org/10.1080/02640419808559358>
- Chleboun, G. S., Howell, J. N., Conatser, R. R., & Giesey, J. J. (1998). Relationship between muscle swelling and stiffness after eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(4), 529-535. <https://doi.org/10.1097/00005768-199804000-00010>
- Chuang, H. H., Prescott, E. D., Kong, H., Shields, S., Jordt, S. E., Basbaum, A. I., Chao, M. V. & Julius, D. (2001). Bradykinin and nerve growth factor release the

- capsaicin receptor from PtdIns (4, 5) P2-mediated inhibition. *Nature*, 411(6840), 957-962.
<https://doi.org/10.1038/35082088>
- Clarkson, P. M., & Newham, D. J. (1995). Associations between muscle soreness, damage, and fatigue. In *Fatigue* (pp. 457-469). Springer, Boston, MA
https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1016-5_35
- Clarkson, P. M., Byrnes, W. C., McCormick, K. M., Turcotte, L. P., & White, J. S. (1986). Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric, and concentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 7(03), 152-155.
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1025753>
- Clarkson, P. M., Nosaka, K., & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 512-520.
doi:10.1249/00005768-199205000-00004
- Cleak, M. J., & Eston, R. G. (1992). Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 26(4), 267-272.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.26.4.267>
- Cook, M. D., Myers, S. D., Kelly, J. S. M., & Willems, M. E. T. (2015). Acute post-exercise effects of concentric and eccentric exercise on glucose tolerance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 25(1), 14-19.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0261>
- Corbett, J., Barwood, M. J., Lunt, H. C., Milner, A., & Tipton, M. J. (2012). Water immersion as a recovery aid from intermittent shuttle running exercise. *European Journal of Sport Science*, 12(6), 509-514.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2011.570380>
- Coudreuse, J. M., Dupont, P., & Nicol, C. (2004, August). Delayed post effort muscle soreness. In *Annales de Readaptation et de Medecine Physique: Revue Scientifique de la Societe Francaise de Reeducation Fonctionnelle de Readaptation et de Medecine Physique* (Vol. 47, No. 6, pp. 290-298).
<https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2004.05.012>
- Crenshaw, A. G., Karlsson, S., Styf, J., Bäcklund, T., & Fridén, J. (1995). Knee extension torque and intramuscular pressure of the vastus lateralis muscle during eccentric and concentric activities. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(1), 13-19.
<https://doi.org/10.1007/BF00601803>
- Crenshaw, A. G., Thornell, L. E., & Friden, J. (1994). Intramuscular pressure, torque and swelling for the exercise-induced sore vastus lateralis muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 152(3), 265-277.
<https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1994.tb09806.x>
- Da Silva, F., Monjo, F., Gioda, J., Blain, G. M., Piponnier, E., Corcelle, B., & Colson, S. S. (2023). Knee position sense and

- knee flexor neuromuscular function are similarly altered after two submaximal eccentric bouts. *European Journal of Applied Physiology*, 123(2), 311-323. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05063-6>
- De Paula, F., Escobar, K., Ottone, V., Aguiar, P., Aguiar de Matos, M., Duarte, T., Araújo, T., Costa, K., Magalhães F. & Amorim, F. (2018). Post-exercise cold-water immersion improves the performance in a subsequent 5-km running trial. *Temperature*, 5(4), 359-370. <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1495023>
- Dias, S. S., Weber, M. G., Padoin, S., Andreello, A. C., Jussiani, E. I., & de Paula Ramos, S. (2021). Circulating Concentration of Chemical Elements During Exercise-Induced Muscle Damage and the Repeated Bout Effect. *Biological Trace Element Research*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02737-8>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Medicine*, 47(4), 663-675. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0624-8>
- Drinkwater, E. (2008). Effects of peripheral cooling on characteristics of local muscle. In *Thermoregulation and Human Performance* (Vol. 53, pp. 74-88). Karger Publishers. <https://doi.org/10.1159/000151551>
- Duckles, S. P. (1986). Effects of capsaicin on vascular smooth muscle. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 333(1), 59-64. <https://doi.org/10.1007/BF00569661>
- Dundon, J. M., Cirillo, J., & Semmler, J. G. (2008). Low-frequency fatigue and neuromuscular performance after exercise-induced damage to elbow flexor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 105(4), 1146-1155. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01339.2007>
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., & Dugué, B. (2018). An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: a systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 403. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00403>
- Eccles, R. (1994). Menthol and related cooling compounds. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 46(8), 618-630. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1994.tb03871.x>
- Ellis, R., Shields, N., Lim, K., & Dodd, K. J. (2015). Eccentric exercise in adults with cardiorespiratory disease: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 29(12), 1178-1197. <https://doi.org/10.1177/0269215515574783>
- Elmer, S. J., Anderson, D. J., Wakeham, T. R., Kilgas, M. A., Durocher, J. J., Lindstedt, S. L., & LaStayo, P. C. (2017). Chronic eccentric arm cycling improves maximum upper-body strength and

- power. *European Journal of Applied Physiology*, 117(7), 1473-1483.
<https://doi.org/10.1007/s00421-017-3642-9>
- Farup, J., Rahbek, S. K., Bjerre, J., de Paoli, F., & Vissing, K. (2016). Associated decrements in rate of force development and neural drive after maximal eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(5), 498-506.
<https://doi.org/10.1111/sms.12481>
- Fattori, V., Hohmann, M. S., Rossaneis, A. C., Pinho-Ribeiro, F. A., & Verri, W. A. (2016). Capsaicin: current understanding of its mechanisms and therapy of pain and other pre-clinical and clinical uses. *Molecules*, 21(7), 844.
<https://doi.org/10.3390/molecules21070844>
- Ferrari, M., Mottola, L., & Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 463-487.
<https://doi.org/10.1139/h04-031>
- Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4577-4590.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230>
- Fochi, A. G., Damas, F., Berton, R., Alvarez, I., Miquelini, M., Salvini, T. F., & Libardi, C. A. (2016). Greater eccentric exercise-induced muscle damage by large versus small range of motion with the same end-point. *Biology of Sport*, 33(3), 285.
<https://doi.org/10.5604/20831862.1208480>
- Franchi, M. V., Mitchell, K. W., Hoppeler, H., & Narici, M. V. (2017). Physiology and Clinical Potential of Eccentric Exercise. *Frontiers in Physiology*, 8, 891.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00891>
- Franchi, M. V., Mitchell, K. W., Hoppeler, H., & Narici, M. V. (2017). Physiology and Clinical Potential of Eccentric Exercise. *Frontiers in Physiology*, 8, 891.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00891>
- Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8, 447.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>
- Friden, J., Sfakianos, P. N., & Hargens, A. R. (1986). Muscle soreness and intramuscular fluid pressure: comparison between eccentric and concentric load. *Journal of Applied Physiology*, 61(6), 2175-2179
<https://doi.org/10.1152/jappl.1986.61.6.2175>
- Fridén, J., Sfakianos, P. N., Hargens, A. R., & Akeson, W. H. (1988). Residual muscular swelling after repetitive eccentric contractions. *Journal of*

- Orthopaedic Research*, 6(4), 493-498.
<https://doi.org/10.1002/jor.1100060404>
- Fuchs, C. J., Kouw, I. W., Churchward-Venne, T. A., Smeets, J. S., Senden, J. M., van Marken Lichtenbelt, W. D. & van Loon, L. J. (2020). Postexercise cooling impairs muscle protein synthesis rates in recreational athletes. *The Journal of Physiology*, 598(4), 755-772.
<https://doi.org/10.1113/JP278996>
- Fuchs, C. J., Kouw, I. W., Churchward-Venne, T. A., Smeets, J. S., Senden, J. M., van Marken Lichtenbelt, W. D. & van Loon, L. J. (2020). Postexercise cooling impairs muscle protein synthesis rates in recreational athletes. *The Journal of Physiology*, 598(4), 755-772.
<https://doi.org/10.1113/JP278996>
- Fuchs, C. J., Smeets, J. S., Senden, J. M., Zorenc, A. H., Goessens, J. P., van Marken Lichtenbelt, W. D. & van Loon, L. J. (2020). Hot-water immersion does not increase postprandial muscle protein synthesis rates during recovery from resistance-type exercise in healthy, young males. *Journal of Applied Physiology*, 128(4), 1012-1022.
<https://doi.org/10.1152/japphysiol.00836.2019>
- Furtado, A. B. V., Hartmann, D. D., Martins, R. P., Rosa, P. C., da Silva, I. K., Duarte, B. S. L., & Puntel, G. O. (2018). Cryotherapy: biochemical alterations involved in reduction of damage induced by exhaustive exercise. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 51(11).
<https://doi.org/10.1590/1414-431X20187702>
- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise. *Sports Medicine*, 36(2), 133-149.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200636020-00004>
- Galeotti, N., Mannelli, L. D. C., Mazzanti, G., Bartolini, A., & Ghelardini, C. (2002). Menthol: a natural analgesic compound. *Neuroscience letters*, 322(3), 145-148.
[https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(01\)02527-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(01)02527-7)
- George, S. Z., Dover, G. C., & Fillingim, R. B. (2007). Fear of pain influences outcomes after exercise-induced delayed onset muscle soreness at the shoulder. *The Clinical Journal of Pain*, 23(1), 76-84.
<https://doi.org/10.1097/01.ajp.0000210949.19429.34>
- Gillis, D. J., Vellante, A., Gallo, J. A., & D'Amico, A. P. (2020). Influence of Menthol on Recovery From Exercise-Induced Muscle Damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(2), 451-462.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002833>
- Giombini, A., Giovannini, V., Cesare, A. D., Pacetti, P., Ichinoseki-Sekine, N., Shiraishi, M., Naito, H. & Maffulli, N. (2007). Hyperthermia induced by microwave diathermy in the management of muscle and tendon injuries. *British Medical Bulletin*, 83(1), 379-396.
<https://doi.org/10.1093/bmb/ldm020>

- Goodall, S., Thomas, K., Barwood, M., Keane, K., Gonzalez, J. T., St Clair Gibson, A., & Howatson, G. (2017). Neuromuscular changes and the rapid adaptation following a bout of damaging eccentric exercise. *Acta Physiologica*, 220(4), 486-500. <https://doi.org/10.1111/apha.12844>
- Goto, K., Oda, H., Kondo, H., Igaki, M., Suzuki, A., Tsuchiya, S., Murase, T., Hase, T., Fujiya, H., Matsumoto, I., Naito, H., Sugiura, T., Ohira, Y. & Yoshioka, T. (2011). Responses of muscle mass, strength and gene transcripts to long-term heat stress in healthy human subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 111(1), 17-27. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1617-1>
- Goto, K., Okuyama, R., Sugiyama, H., Honda, M., Kobayashi, T., Uehara, K., Akema, T., Sugiura, T., Yamada, S., Ohira Y. & Yoshioka, T. (2003). Effects of heat stress and mechanical stretch on protein expression in cultured skeletal muscle cells. *Pflügers Archiv*, 447(2), 247-253. <https://doi.org/10.1007/s00424-003-1177-x>
- 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. *Journal of Biomedical Optics*, 21(9), 091313. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.21.9.091313>
- Green, B. G. (1986). Menthol inhibits the perception of warmth. *Physiology & Behavior*, 38(6), 833-838. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(86\)90050-8](https://doi.org/10.1016/0031-9384(86)90050-8)
- Green, D. J., Carter, H. H., Fitzsimons, M. G., Cable, N. T., Thijssen, D. H., & Naylor, L. H. (2010). Obligatory role of hyperaemia and shear stress in microvascular adaptation to repeated heating in humans. *The Journal of Physiology*, 588(9), 1571-1577. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.186965>
- Guan, S., Lin, N., Yin, Y., Liu, H., Liu, L., & Qi, L. (2021). The Effects of Inter-Set Recovery Time on Explosive Power, Electromyography Activity, and Tissue Oxygenation during Plyometric Training. *Sensors*, 21(9), 3015. <https://doi.org/10.3390/s21093015>
- Gurley, K., Shang, Y., & Yu, G. (2012). Noninvasive optical quantification of absolute blood flow, blood oxygenation, and oxygen consumption rate in exercising skeletal muscle. *Journal of Biomedical Optics*, 17(7), 075010. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.17.7.075010>
- Hafen, P. S., Abbott, K., Bowden, J., Lopiano, R., Hancock, C. R., & Hyldahl, R. D. (2019). Daily heat treatment maintains mitochondrial function and attenuates atrophy in human skeletal muscle subjected to immobilization. *Journal of Applied Physiology*, 127(1), 47-57. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01098.2018>
- Hafen, P. S., Preece, C. N., Sorensen, J. R., Hancock, C. R., & Hyldahl, R. D. (2018). Repeated exposure to heat stress induces mitochondrial

- adaptation in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 125(5), 1447-1455.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00383.2018>
- Halvorson, G. A. (1990). Therapeutic heat and cold for athletic injuries. *The Physician and Sports Medicine*, 18(5), 87-94.
<https://doi.org/10.1080/00913847.1990.11710045>
- Hamaoka, T., McCully, K. K., Niwayama, M., & Chance, B. (2011). The use of muscle near-infrared spectroscopy in sport, health and medical sciences: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4591-4604.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0298>
- Hanya, E., & Katz, A. (2018). Increased temperature accelerates glycogen synthesis and delays fatigue in isolated mouse muscle during repeated contractions. *Acta Physiologica*, 223(1), e13027.
<https://doi.org/10.1111/apha.13027>
- Harper, A. J., Ferreira, L. F., Lutjemeier, B. J., Townsend, D. K., & Barstow, T. J. (2008). Matching of blood flow to metabolic rate during recovery from moderate exercise in humans. *Experimental Physiology*, 93(10), 1118-1125.
<https://doi.org/10.1113/expphysiol.2008.042895>
- Harty, P. S., Cottet, M. L., Malloy, J. K., & Kerksick, C. M. (2019). Nutritional and supplementation strategies to prevent and attenuate exercise-induced muscle damage: a brief review. *Sports Medicine-Open*, 5(1), 1.
<https://doi.org/10.1186/s40798-018-0176-6>
- Hassan, E. S. (2011). Thermal therapy and delayed onset muscle soreness. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(2), 249-254.
- Healy, A., Linyard-Tough, K., & Chockalingam, N. (2019). Agreement between the spatiotemporal gait parameters of healthy adults from the optogait system and a traditional three-dimensional motion capture system. *Journal of Biomechanical Engineering*, 141(1), 014501.
<https://doi.org/10.1115/1.4041619>
- Hedayatpour, N., & Falla, D. (2012). Non-uniform muscle adaptations to eccentric exercise and the implications for training and sport. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 329-333.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.11.010>
- Hedayatpour, N., & Falla, D. (2015). Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. *BioMed Research International*, 2015.
<https://doi.org/10.1155/2015/19371>
- Heiss, R., Lutter, C., Freiwald, J., Hoppe, M. W., Grim, C., Poettgen, Forst, R., Bloch, W., Hüttel, M. & Hotfiel, T. (2019). Advances in delayed-onset muscle soreness (DOMS)–part II: treatment and prevention. *Sportverletzung-Sportschaden*, 33(01), 21-29.
<https://doi.org/10.1055/a-0810-3516>
- Hesketh, K., Shepherd, S. O., Strauss, J. A., Low, D. A., Cooper, R. J.,

- Wagenmakers, A. J., & Cocks, M. (2019). Passive heat therapy in sedentary humans increases skeletal muscle capillarization and eNOS content but not mitochondrial density or GLUT4 content. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 317(1), H114-H123. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00816.2018>
- Hirose, L., Nosaka, K., Newton, M., Laveder, A., Kano, M., Peake, J., & Suzuki, K. (2004). Changes in inflammatory mediators following eccentric exercise of the elbow flexors. *Exerc Immunol Rev*, 10(75-90), 20.
- Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Frontiers in Physiology*, 10, 536. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J. P., Clarys, P., & Clijnen, R. (2015). The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: a systematic review and meta-analysis. *PLoS one*, 10(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139028>
- Holm, I., Bolstad, B., Lütken, T., Ervik, A., Røkkum, M., & Steen, H. (2000). Reliability of goniometric measurements and visual estimates of hip ROM in patients with osteoarthritis. *Physiotherapy Research International*, 5(4), 241-248. <https://doi.org/10.1002/pri.204>
- Hotfiel, T., Freiwald, J., Hoppe, M. W., Lutter, C., Forst, R., Grim, C., Bloch, W., Hüttel, M. & Heiss, R. (2018). Advances in delayed-onset muscle soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and diagnostics. *Sportverletzung· Sportschaden*, 32(04), 243-250. <https://doi.org/10.1055/a-0753-1884>
- Hotfiel, T., Mayer, I., Huettel, M., Hoppe, M. W., Engelhardt, M., Lutter, C., Pöttgen, K., Heiss, R., Kastner, T. & Grim, C. (2019). Accelerating Recovery from Exercise-Induced Muscle Injuries in Triathletes: Considerations for Olympic Distance Races. *Sports*, 7(6), 143. <https://doi.org/10.3390/sports7060143>
- Howell, J. N., Chleboun, G., & Conatser, R. (1993). Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans. *The Journal of Physiology*, 464(1), 183-196. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1993.sp019629>
- Hylldahl, R. D., & Hubal, M. J. (2014). Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle & Nerve*, 49(2), 155-170. <https://doi.org/10.1002/mus.24077>
- Ihsan, M., Watson, G., & Abbiss, C. R. (2016). What are the physiological mechanisms for post-exercise cold water immersion in the recovery from prolonged endurance and intermittent exercise? *Sports Medicine*, 46(8), 1095-1109. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0483-3>
- Ihsan, M., Watson, G., Lipski, M., & Abbiss, C. R. (2013). Influence of post-exercise cooling on muscle oxygenation and blood volume changes. *Medicine & Science in*

- Sports & Exercise*, 45(5), 876-882.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827e13a2>
- Ito, N., Ruegg, U. T., & Takeda, S. I. (2018). ATP-induced increase in intracellular calcium levels and subsequent activation of mTOR as regulators of skeletal muscle hypertrophy. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2804.
<https://doi.org/10.3390/ijms19092804>
- Jamurtas, A. Z., Theocharis, V., Tofas, T., Tsiokanos, A., Yfanti, C., Paschalis, V., Koutedakis, Y. & Nosaka, K. (2005). Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, 95(2), 179-185.
<https://doi.org/10.1007/s00421-005-1345-0>
- Jayaraman, R. C., Reid, R. W., Foley, J. M., Prior, B. M., Dudley, G. A., Weingand, K. W., & Meyer, R. A. (2004). MRI evaluation of topical heat and static stretching as therapeutic modalities for the treatment of eccentric exercise-induced muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1), 30-38.
<https://doi.org/10.1007/s00421-004-1153-y>
- Jeon, S., Kang, M., & Ye, X. (2023). Contralateral protective effect against repeated bout of damaging exercise: A meta-analysis. *Research in Sports Medicine*, 31(2), 137-156.
<https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1954512>
- Johar, P., Grover, V., Topp, R., & Behm, D. G. (2012). A comparison of topical menthol to ice on pain, evoked tetanic and voluntary force during delayed onset muscle soreness. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(3), 314.
- Johnson Jr, W. (2007). Final report on the safety assessment of capsicum annum extract, capsicum annum fruit extract, capsicum annum resin, capsicum annum fruit powder, capsicum frutescens fruit, capsicum frutescens fruit extract, capsicum frutescens resin, and capsaicin. *International Journal of Toxicology*, (RESEARCH).
<https://doi.org/10.1080/10915810601163939>
- Jones, B., Hesford, C. M., & Cooper, C. E. (2013). The use of portable NIRS to measure muscle oxygenation and haemodynamics during a repeated sprint running test. In *Oxygen Transport to Tissue XXXV* (pp. 185-191). Springer, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4614-7411-1_26
- Jones, D. A., Newham, D. J., Round, J. M., & Tolfree, S. E. (1986). Experimental human muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damage. *The Journal of Physiology*, 375(1), 435-448.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1986.sp016126>
- Julian, V., Thivel, D., Miguet, M., Pereira, B., Costes, F., Coudeyre, E., Duclos, M. & Richard, R.(2019). Eccentric cycling is more efficient in reducing fat mass than concentric cycling in adolescents with obesity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(1), 4-15.
<https://doi.org/10.1111/sms.13301>

- Kakigi, R., Naito, H., Ogura, Y., Kobayashi, H., Saga, N., Ichinoseki-Sekine, N., Yoshihara, T. & Katamoto, S. (2011). Heat stress enhances mTOR signaling after resistance exercise in human skeletal muscle. *The Journal of Physiological Sciences*, 61(2), 131-140.
<https://doi.org/10.1007/s12576-010-0130-y>
- Kalsi, K. K., Chiesa, S. T., Trangmar, S. J., Ali, L., Lotlikar, M. D., & González-Alonso, J. (2017). Mechanisms for the control of local tissue blood flow during thermal interventions: influence of temperature-dependent ATP release from human blood and endothelial cells. *Experimental Physiology*, 102(2), 228-244.
<https://doi.org/10.1113/EP085910>
- Kerksick, C. M., Kreider, R. B., & Willoughby, D. S. (2010). Intramuscular adaptations to eccentric exercise and antioxidant supplementation. *Amino Acids*, 39(1), 219-232.
<https://doi.org/10.1007/s00726-009-0432-7>
- Kim, K., Kuang, S., Song, Q., Gavin, T. P., & Roseguini, B. T. (2019). Impact of heat therapy on recovery after eccentric exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 126(4), 965-976.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00910.2018>
- Kim, K., Monroe, J. C., Gavin, T. P., & Roseguini, B. T. (2020). Local Heat Therapy to Accelerate Recovery after Exercise-Induced Muscle Damage. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 48(4), 163-169.
<https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000230>
- Kim, K., Monroe, J. C., Gavin, T. P., & Roseguini, B. T. (2020). Skeletal muscle adaptations to heat therapy. *Journal of Applied Physiology*, 128(6), 1635-1642.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00061.2020>
- Kim, K., Reid, B. A., Casey, C. A., Bender, B. E., Ro, B., Song, Q. & Roseguini, B. T. (2020). Effects of repeated local heat therapy on skeletal muscle structure and function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 128(3), 483-492.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00701.2019>
- Kim, K., Reid, B. A., Ro, B., Casey, C. A., Song, Q., Kuang, S., & Roseguini, B. T. (2019). Heat therapy improves soleus muscle force in a model of ischemia-induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology*, 127(1), 215-228.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00115.2019>
- Kim, S., & Lee, J. Y. (2018). l-Menthol attenuates the magnitude of cold-induced vasodilation on the extremities of young females. *Journal of Physiological Anthropology*, 37(1), 14.
<https://doi.org/10.1186/s40101-018-0174-x>
- Kime, R., Fujioka, M., Osawa, T., Takagi, S., Niwayama, M., Kaneko, Y., Osada, T., Murase, N. & Katsumura, T. (2013). Which is the best indicator of muscle oxygen extraction during exercise using NIRS? evidence that HHb is not the candidate. *In Oxygen Transport*

- To Tissue XXXV* (pp. 163-169). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7411-1_23
- Knotkova, H., Pappagallo, M., & Szallasi, A. (2008). Capsaicin (TRPV1 Agonist) therapy for pain relief: farewell or revival? *The Clinical Journal of Pain*, 24(2), 142-154. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e318158ed9e>
- Koga, S., Poole, D. C., Kondo, N., Oue, A., Ohmae, E., & Barstow, T. J. (2015). Effects of increased skin blood flow on muscle oxygenation/deoxygenation: comparison of time-resolved and continuous-wave near-infrared spectroscopy signals. *European Journal of Applied Physiology*, 115(2), 335-343. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3019-2>
- Köhne, J. L., Ormsbee, M. J., & McKune, A. J. (2016). Supplementation strategies to reduce muscle damage and improve recovery following exercise in females: a systematic review. *Sports*, 4(4), 51. <https://doi.org/10.3390/sports4040051>
- Kojima, A., Goto, K., Morioka, S., Naito, T., Akema, T., Fujiya, H., Sugiura, T., Ohira, Y., Beppu, M., Aoki, H. & Yoshioka, T. (2007). Heat stress facilitates the regeneration of injured skeletal muscle in rats. *Journal of Orthopaedic Science*, 12(1), 74-82. <https://doi.org/10.1007/s00776-006-1083-0>
- Komsis, S., Komsis, G., Gissis, I., Papadopoulos, C., Patikas, D., Mademli, L. & Vrabas, I. S. (2014). The effects of eccentric training on electromyographic activity and performance in soccer players. *Am J Sci*, 2(2), 23-29. <https://doi.org/10.11648/j.ajss.20140202.13>
- Koshinaka, K., Kawamoto, E., Abe, N., Toshinai, K., Nakazato, M., & Kawanaka, K. (2013). Elevation of muscle temperature stimulates muscle glucose uptake in vivo and in vitro. *The Journal of Physiological Sciences*, 63(6), 409-418. <https://doi.org/10.1007/s12576-013-0278-3>
- Kuhlenhoelter, A. M., Kim, K., Neff, D., Nie, Y., Blaize, A. N., Wong, B. J. & Roseguini, B. T. (2016). Heat therapy promotes the expression of angiogenic regulators in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 311(2), R377-R391. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00134.2016>
- Kuipers, H. (1994). Exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, 15(03), 132-135. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021034>
- Kuligowski, L. A., Lephart, S. M., Giannantonio, F. P., & Blanc, R. O. (1998). Effect of whirlpool therapy on the signs and symptoms of delayed-onset muscle soreness. *Journal of athletic training*, 33(3), 222.
- La Mantia, A. M., Neidert, L. E., & Kluess, H. A. (2018). Reliability and validity of near-infrared spectroscopy mitochondrial capacity measurement in skeletal

- muscle. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 3(2), 19.
<https://doi.org/10.3390/jfmk3020019>
- Lastayo, P. C., Reich, T. E., Urquhart, M., Hoppeler, H., & Lindstedt, S. L. (1999). Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 276(2), R611-R615.
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.1999.276.2.R611>
- Lau, W. Y., Blazevich, A. J., Newton, M. J., Wu, S. S. X., & Nosaka, K. (2015). Assessment of muscle pain induced by elbow-flexor eccentric exercise. *Journal of Athletic Training*, 50(11), 1140-1148.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.11.05>
- Lee, T. J. F. (1980). Direct evidence against acetylcholine as the dilator transmitter in the cat cerebral artery. *European Journal of Pharmacology*, 68(3), 393-394.
[https://doi.org/10.1016/0014-2999\(80\)90543-9](https://doi.org/10.1016/0014-2999(80)90543-9)
- Lepley, L. K., Lepley, A. S., Onate, J. A., & Grooms, D. R. (2017). Eccentric exercise to enhance neuromuscular control. *Sports Health*, 9(4), 333-340.
<https://doi.org/10.1177/1941738117710913>
- Lienhard, K., Schneider, D., & Maffiuletti, N. A. (2013). Validity of the Optogait photoelectric system for the assessment of spatiotemporal gait parameters. *Medical Engineering & Physics*, 35(4), 500-504.
<https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.06.015>
- Linnamo, V., Bottas, R., & Komi, P. V. (2000). Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 293-300.
[https://doi.org/10.1016/s1050-6411\(00\)00021-3](https://doi.org/10.1016/s1050-6411(00)00021-3)
- Lohman III, E. B., Bains, G. S., Lohman, T., DeLeon, M., & Petrofsky, J. S. (2011). A comparison of the effect of a variety of thermal and vibratory modalities on skin temperature and blood flow in healthy volunteers. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 17(9), MT72.
<https://doi.org/10.12659/msm.881921>
- Lucero, A. A., Addae, G., Lawrence, W., Neway, B., Credeur, D. P., Faulkner, J., Rowlands, D. & Stoner, L. (2018). Reliability of muscle blood flow and oxygen consumption response from exercise using near-infrared spectroscopy. *Experimental Physiology*, 103(1), 90-100.
<https://doi.org/10.1113/EP086537>
- Machado, A. F., Ferreira, P. H., Micheletti, J. K., de Almeida, A. C., Lemes, Í. R., Vanderlei, F. M., & Pastre, C. M. (2016). Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 503-514.
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0431-7>

- Machle, W., & Hatch, T. F. (1947). Heat: man's exchanges and physiological responses. *Physiological Reviews*, 27(2), 200-227. <https://doi.org/10.1152/physrev.1947.27.2.200>
- MacIntyre, D. L., Reid, W. D., & McKenzie, D. C. (1995). Delayed muscle soreness. *Sports Medicine*, 20(1), 24-40. <https://doi.org/10.2165/00007256-199520010-00003>
- Mair, J., Mayr, M., Mullet, E., Koller, A., Haid, C., Artner-Dworzak, E., Calzolari, C., Larue, C. & Puschendorf, B. (1995). Rapid adaptation to eccentric exercise-induced muscle damage. *International Journal of Sports Medicine*, 16(06), 352-356. <https://doi.org/10.1055/s-2007-973019>
- Malanga, G. A., Yan, N., & Stark, J. (2015). Mechanisms and efficacy of heat and cold therapies for musculoskeletal injury. *Postgraduate Medicine*, 127(1), 57-65. <https://doi.org/10.1080/00325481.2015.992719>
- Mancini, D. M., Bolinger, L., Li, H., Kendrick, K., Chance, B., & Wilson, J. R. (1994). Validation of near-infrared spectroscopy in humans. *Journal of Applied Physiology*, 77(6), 2740-2747. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.6.2740>
- Margaritelis, N. V., Theodorou, A. A., Baltzopoulos, V., Maganaris, C. N., Paschalis, V., Kyparos, A., & Nikolaidis, M. G. (2015). Muscle damage and inflammation after eccentric exercise: can the repeated bout effect be removed? *Physiological Reports*, 3(12), e12648. <https://doi.org/10.14814/phy2.12648>
- Margaritelis, N. V., Theodorou, A. A., Chatzinikolaou, P. N., Kyparos, A., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2021). Eccentric exercise per se does not affect muscle damage biomarkers: Early and late phase adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 121(2), 549-559. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04528-w>
- Margaritelis, N. V., Theodorou, A. A., Kyparos, A., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2019). Effect of body composition on redox homeostasis at rest and in response to exercise: the case of underfat women. *Journal of Sports Sciences*, 37(14), 1630-1637. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1578450>
- Martin, V., Millet, G. Y., Lattier, G., & Perrod, L. (2005). Why does knee extensor muscles torque decrease after eccentric-type exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 45(2), 143-51.
- Mavropalias, G., Koeda, T., Barley, O. R., Poon, W. C., Fisher, A. J., Blazevich, A. J., & Nosaka, K. (2020). Comparison between high- and low-intensity eccentric cycling of equal mechanical work for muscle damage and the repeated bout effect. *European Journal of Applied Physiology*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04341-5>
- Mayer, J. M., Mooney, V., Matheson, L. N., Erasala, G. N., Verna, J. L.,

- Udermann, B. E., & Leggett, S. (2006). Continuous low-level heat wrap therapy for the prevention and early phase treatment of delayed-onset muscle soreness of the low back: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(10), 1310-1317.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.07.259>
- McCully, K. K., & Hamaoka, T. (2000). Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(3), 123-127.
- McGorm, H., Roberts, L. A., Coombes, J. S., & Peake, J. M. (2018). Turning up the heat: an evaluation of the evidence for heating to promote exercise recovery, muscle rehabilitation and adaptation. *Sports Medicine*, 48(6), 1311-1328.
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-0876-6>
- McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(2), 88-97.
<https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.02477.x>
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., & Gleim, G. W. (1999). Exercise-induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Sports Medicine*, 27(3), 157-170.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199927030-00002>
- Meeusen, R., & Lievens, P. (1986). The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports medicine*, 3, 398-414. Meeusen, R., & Lievens, P. (1986). The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Medicine*, 3, 398-414.
<https://doi.org/10.2165/00007256-198603060-00002>
- Menéndez, L., Lastra, A., Hidalgo, A., & Baamonde, A. (2004). The analgesic effect induced by capsaicin is enhanced in inflammatory states. *Life Sciences*, 74(26), 3235-3244.
<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.11.019>
- Mike, J. N., Cole, N., Herrera, C., VanDusseldorp, T., Kravitz, L., & Kerksick, C. M. (2017). The effects of eccentric contraction duration on muscle strength, power production, vertical jump, and soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 773-786.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001675>
- Miranda-Fuentes, C., Chiroso-Ríos, L. J., Guisado-Requena, I. M., Delgado-Floody, P., & Jerez-Mayorga, D. (2021). Changes in muscle oxygen saturation measured using wireless near-infrared spectroscopy in resistance training: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4293.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18084293>
- Miyamoto, N., Hirata, K., Miyamoto-Mikami, E., Yasuda, O., & Kanehisa, H. (2018). Associations of passive muscle stiffness, muscle stretch tolerance, and muscle slack angle with range of motion:

- individual and sex differences. *Scientific Reports*, 8(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-26574-3>
- Muanjai, P., Mickevicius, M., Kamandulis, S., Snieckus, A., & Jones, D. A. (2019). The relationship between stiffness and pain following unaccustomed eccentric exercise: the effects of gentle stretch and repeated bout. *European Journal of Applied Physiology*, 119(5), 1183-1194.
<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04108-7>
- Nadler, S. F., Weingand, K., & Kruse, R. J. (2004). The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician*, 7(3), 395-400.
- Nakagawa, T., Hiraga, S. I., Mizumura, K., Hori, K., Ozaki, N., & Koeda, T. (2018). Topical thermal therapy with hot packs suppresses physical inactivity-induced mechanical hyperalgesia and up-regulation of NGF. *The Journal of Physiological Sciences*, 68(5), 629-637.
<https://doi.org/10.1007/s12576-017-0574-4>
- Naylor, L. H., Carter, H., FitzSimons, M. G., Cable, N. T., Thijssen, D. H., & Green, D. J. (2011). Repeated increases in blood flow, independent of exercise, enhance conduit artery vasodilator function in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 300(2), H664-H669.
<https://doi.org/10.1152/ajpheart.00985.2010>
- Nemet, D., Meckel, Y., Bar-Sela, S., Zaldivar, F., Cooper, D. M., & Eliakim, A. (2009). Effect of local cold-pack application on systemic anabolic and inflammatory response to sprint-interval training: a prospective comparative trial. *European Journal of Applied Physiology*, 107(4), 411.
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1138-y>
- Newham, D. J., Jones, D. A., & Clarkson, P. M. (1987). Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, 63(4), 1381-1386.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1987.63.4.1381>
- Nikolaidis, M., Paschalis, V., Giakas, G., Fatouros, I., Sakellariou, G., Theodorou, A. Koutedakis Y. & Jamurtas, A. (2008). Favorable and prolonged changes in blood lipid profile after muscle-damaging exercise. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 40(8), 1483.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817356f2>
- Nosaka, K., Sakamoto, K. E. I. Newton, M., & Sacco, P. (2001). How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(9), 1490-1495.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200109000-00011>
- Obi, S., Nakajima, T., Hasegawa, T., Nakamura, F., Sakuma, M., Toyoda, S., Tei, C. & Inoue, T. (2019). Heat induces myogenic transcription factors of myoblast cells via transient receptor potential vanilloid 1 (Trpv1). *FEBS open bio*, 9(1),

- 101-113.
<https://doi.org/10.1002/2211-5463.12550>
- Ogura, Y., Naito, H., Tsurukawa, T., Ichinoseki-Sekine, N., Saga, N., Sugiura, T., & Katamoto, S. (2007). Microwave hyperthermia treatment increases heat shock proteins in human skeletal muscle. *British Journal of Sports Medicine*, 41(7), 453-455.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.032938>
- Ohira, T., Higashibata, A., Seki, M., Kurata, Y., Kimura, Y., Hirano, H., Kusakari, Y., Minamisawa, S., Kudo, T., Takahashi, S., Ohira Y. & Furukawa, S. (2017). The effects of heat stress on morphological properties and intracellular signaling of denervated and intact soleus muscles in rats. *Physiological Reports*, 5(15), e13350.
<https://doi.org/10.14814/phy2.13350>
- Oishi, Y., Hayashida, M., Tsukiashi, S., Taniguchi, K., Kami, K., Roy, R. R., & Ohira, Y. (2009). Heat stress increases myonuclear number and fiber size via satellite cell activation in rat regenerating soleus fibers. *Journal of Applied Physiology*, 107(5), 1612-1621.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.91651.2008>
- Oishi, Y., Roy, R. R., Ogata, T., & Ohira, Y. (2015). Heat-Stress effects on the myosin heavy chain phenotype of rat soleus fibers during the early stages of regeneration. *Muscle & Nerve*, 52(6), 1047-1056.
<https://doi.org/10.1002/mus.24686>
- Owens, D. J., Twist, C., Cobley, J. N., Howatson, G., & Close, G. L. (2019). Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *European Journal of Sport Science*, 19(1), 71-85.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1505957>
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Baltzopoulos, V., Mougios, V., Jamurtas, A. Z., & Theoharis, V. (2005). The effects of muscle damage on running economy in healthy males. *International Journal of Sports Medicine*, 26(10), 827-831 <https://doi.org/10.1055/s-2005-837461>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., Owolabi, E. O., & Koutedakis, Y. (2008). Position sense and reaction angle after eccentric exercise: the repeated bout effect. *European Journal of Applied Physiology*, 103(1), 9-18.
<https://doi.org/10.1007/s00421-007-0663-9>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Theodorou, A. A., Sakellariou, G. K., Fatouros, I. G., ... & Jamurtas, A. Z. (2010). Beneficial changes in energy expenditure and lipid profile after eccentric exercise in overweight and lean women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(1), e103-e111.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00920.x>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Theodorou, A. A., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., & Koutedakis, Y. (2010). Eccentric exercise affects the upper limbs more than the lower

- limbs in position sense and reaction angle. *Journal of Sports Sciences*, 28(1), 33-43. <https://doi.org/10.1080/02640410903334764>
- 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. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e91d90>
- Patel, T., Ishiuiji, Y., & Yosipovitch, G. (2007). Menthol: a refreshing look at this ancient compound. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 57(5), 873-878. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2007.04.008>
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 559-570. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00971.2016>
- Peake, J. M., Roberts, L. A., Figueiredo, V. C., Egner, I., Krog, S., Aas, S. N., Suzuki, K., Markworth, J., Coombes, J., Cameron-Smith, D. & Raastad, T. (2017). The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *The Journal of Physiology*, 595(3), 695-711. <https://doi.org/10.1113/JP272881>
- Peake, J., Nosaka, K. K., & Suzuki, K. (2005). Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans.
- Penailillo, L., Blazevich, A. J., & Nosaka, K. (2015). Muscle fascicle behavior during eccentric cycling and its relation to muscle soreness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(4), 708-717. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000473>
- Petrofsky, J. S., Khowailed, I. A., Lee, H., Berk, L., Bains, G. S., Akerkar, S., Shah, J., Al-Dabbak, F. & Laymon, M. S. (2015). Cold vs. Heat after exercise—Is there a clear winner for muscle soreness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(11), 3245-3252. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001127>
- Petrofsky, J., Berk, L., Bains, G., Khowailed, I. A., Lee, H., & Laymon, M. (2017). The efficacy of sustained heat treatment on delayed-onset muscle soreness. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(4), 329-337. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000375>
- Prasartwuth, O., Suteebut, R., Chawawisuttikool, J., Yavuz, U. S., & Turker, K. S. (2019). Using first bout effect to study the mechanisms underlying eccentric exercise induced force loss. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 23(1), 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.11.008>
- Prasartwuth, O., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2005). Maximal force, voluntary activation and muscle soreness after eccentric damage to human elbow flexor muscles. *The Journal of*

- Physiology*, 567(1), 337-348.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.087767>
- Quaresima, V., Lepanto, R., & Ferrari, M. (2003). The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(1), 1.
- Racinais, S., Buchheit, M., & Girard, O. (2014). Breakpoints in ventilation, cerebral and muscle oxygenation, and muscle activity during an incremental cycling exercise. *Frontiers in Physiology*, 5, 142.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00142>
- Rahimi, M. H., Shab-Bidar, S., Mollahosseini, M., & Djafarian, K. (2017). Branched-chain amino acid supplementation and exercise-induced muscle damage in exercise recovery: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*, 42, 30-36.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.05.005>
- Rawson, E. S., Conti, M. P., & Miles, M. (2007). Creatine supplementation does not reduce muscle damage or enhance recovery from resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1208-1213.
<https://doi.org/10.1519/R-21076.1>
- Rinard, J., Clarkson, P. M., Smith, L. L., & Grossman, M. (2000). Response of males and females to high-force eccentric exercise. *Journal of Sports Sciences*, 18(4), 229-236.
<https://doi.org/10.1080/026404100364965>
- Rose, C., Edwards, K. M., Siegler, J., Graham, K., & Caillaud, C. (2017). Whole-body cryotherapy as a recovery technique after exercise: a review of the literature. *International Journal of Sports Medicine*, 38(14), 1049-1060.
<https://doi.org/10.1055/s-0043-114861>
- Rossetti, M. L., Munford, S. N., Snyder, B. W., Davis, S. E., & Moir, G. L. (2020). The Effects of Multiple Sets of Squats and Jump Squats on Mechanical Variables. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(4), 1017-1023.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002009>
- Ruas, C. V., Latella, C., Taylor, J. L., Haff, G. G., & Nosaka, K. (2022). Comparison between eccentric-only and coupled concentric-eccentric contractions for neuromuscular fatigue and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc*, 54(10), 1635-1646.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002959>
- Sabapathy, M., Tan, F., Al Hussein, S., Jaafar, H., Brocherie, F., Racinais, S., & Ihsan, M. (2021). Effect of heat pre-conditioning on recovery following exercise-induced muscle damage. *Current Research in Physiology*, 4, 155-162.
<https://doi.org/10.1016/j.crphys.2021.06.002>
- Saga, N., Katamoto, S., & Naito, H. (2008). Effect of heat preconditioning by microwave hyperthermia on human skeletal muscle after eccentric exercise. *Journal of Sports Science & Medicine*, 7(1), 176.

- SAYERS, S., KNIGHT, C., & CLARKSON, P. (2003). Neuromuscular variables affecting the magnitude of force loss after eccentric exercise. *Journal of Sports Sciences*, 21(5), 403-410. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071146>
- Schoenfeld, B. J. (2012). Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1441-1453. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f207e>
- Schoenfeld, B. J., & Grgic, J. (2020). Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Medicine*, 8, 2050312120901559. <https://doi.org/10.1177/2050312120901559>
- Selsby, J. T., Rother, S., Tsuda, S., Prakash, O., Quindry, J., & Dodd, S. L. (2007). Intermittent hyperthermia enhances skeletal muscle regrowth and attenuates oxidative damage following reloading. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1702-1707. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00722.2006>
- Sewright, K., Hubal, M., Kearns, A., Holbrook, M., & Clarkson, P. (2008). Sex differences in response to maximal eccentric exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(2), 242-251. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815aedd>
- Shibaguchi, T., Sugiura, T., Fujitsu, T., Nomura, T., Yoshihara, T., Naito, H., Yoshioka, T., Ogura, A. & Ohira, Y. (2016). Effects of icing or heat stress on the induction of fibrosis and/or regeneration of injured rat soleus muscle. *The Journal of Physiological Sciences*, 66(4), 345-357. <https://doi.org/10.1007/s12576-015-0433-0>
- Simonsen, E. B. (2014). Contributions to the understanding of gait control. Copenhagen: University of Copenhagen.
- Siqueira, A. F., Vieira, A., Bottaro, M., Ferreira-Júnior, J. B., de Toledo Nóbrega, O., de Souza, V. C., Marqueti, R. C., Babault, N. & Durigan, J. L. Q. (2018). Multiple Cold-Water Immersions Attenuate Muscle Damage but not Alter Systemic Inflammation and Muscle Function Recovery: A Parallel Randomized Controlled Trial. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28942-5>
- Skurvydas, A., Brazaitis, M., Kamandulis, S., & Sipaviciene, S. (2010). Muscle damaging exercise affects isometric force fluctuation as well as intraindividual variability of cognitive function. *Journal of Motor Behavior*, 42(3), 179-186. <https://doi.org/10.1080/00222891003751835>
- Skurvydas, A., Dudonienė, V., Kalvėnas, A., & Zuoza, A. (2002). Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(1), 34-39. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.120107.x>

- Slivka, D., Tucker, T., Cuddy, J., Hailes, W., & Ruby, B. (2012). Local heat application enhances glycogenesis. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(2), 247-251.
<https://doi.org/10.1139/h11-157>
- Song, C. W. (1984). Effect of local hyperthermia on blood flow and microenvironment: a review. *Cancer Research*, 44(10 Supplement), 4721s-4730s.
- Souron, R., Nosaka, K., & Jubeau, M. (2018). Changes in central and peripheral neuromuscular fatigue indices after concentric versus eccentric contractions of the knee extensors. *European Journal of Applied Physiology*, 118, 805-816.
<https://doi.org/10.1007/s00421-018-3816-0>
- Stadnyk, A. M., Rehrer, N. J., Handcock, P. J., Meredith-Jones, K. A., & Cotter, J. D. (2018). No clear benefit of muscle heating on hypertrophy and strength with resistance training. *Temperature*, 5(2), 175-183.
<https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1391366>
- Starbuck, C., & Eston, R. G. (2012). Exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect: evidence for cross transfer. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 1005-1013
<https://doi.org/10.1007/s00421-011-2053-6>
- Stevens, C. J., & Best, R. (2017). Menthol: a fresh ergogenic aid for athletic performance. *Sports Medicine*, 47(6), 1035-1042.
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0652-4>
- Stupka, N., Lowther, S., Chorneyko, K., Bourgeois, J. M., Hogben, C., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Gender differences in muscle inflammation after eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 89(6), 2325-2332.
<https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.6.2325>
- Suarez-Arrones, L., Saez de Villarreal, E., Núñez, F. J., Di Salvo, V., Petri, C., Buccolini, A., Maldonado, R. A., Torreno, N. & Mendez-Villanueva, A. (2018). In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. *PloS one*, 13(10), e0205332.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205332>
- Sun, Y. I., Ferguson, B. S., Rogatzki, M. J., McDonald, J. R., & Gladden, L. B. (2016). Muscle Near-Infrared Spectroscopy Signals versus Venous Blood Hemoglobin Oxygen Saturation in Skeletal Muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(10), 2013-2020.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001001>
- Takeuchi, K., Hatade, T., Wakamiya, S., Fujita, N., Arakawa, T., & Miki, A. (2014). Heat stress promotes skeletal muscle regeneration after crush injury in rats. *Acta histochemica*, 116(2), 327-334.
<https://doi.org/10.1016/j.acthis.2013.08.010>
- Tamura, Y., Matsunaga, Y., Masuda, H., Takahashi, Y., Takahashi, Y., Terada, S., Hoshino, D. & Hatta, H.

- (2014). Postexercise whole body heat stress additively enhances endurance training-induced mitochondrial adaptations in mouse skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 307(7), R931-R943. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00525.2013>
- Teague, B. N., & Schwane, J. A. (1995). Effect of intermittent eccentric contractions on symptoms of muscle microinjury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(10), 1378.
- Tee, J. C., Bosch, A. N., & Lambert, M. I. (2007). Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 37(10), 827-836. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737100-00001>
- Theodorou, A. A., Panayiotou, G., Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Mademli, L., Grivas, G. V. & Vrabas, I. S. (2013). Stair descending exercise increases muscle strength in elderly males with chronic heart failure. *BMC Research Notes*, 6(1), 87. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-6-87>
- Tøien, T., Pedersen Haglo, H., Unhjem, R., Hoff, J., & Wang, E. (2018). Maximal strength training: the impact of eccentric overload. *Journal of Neurophysiology*, 120(6), 2868-2876. <https://doi.org/10.1152/jn.00609.2018>
- Topp, R., Winchester, L., Mink, A. M., Kaufman, J. S., & Jacks, D. E. (2011). Comparison of the effects of ice and 3.5% menthol gel on blood flow and muscle strength of the lower arm. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(3), 355-366. <https://doi.org/10.1123/jsr.20.3.355>
- Touchberry, C. D., Gupte, A. A., Bomhoff, G. L., Graham, Z. A., Geiger, P. C., & Gallagher, P. M. (2012). Acute heat stress prior to downhill running may enhance skeletal muscle remodeling. *Cell Stress and Chaperones*, 17, 693-705. <https://doi.org/10.1007/s12192-012-0343-5>
- Tsuboshima, K., Urakawa, S., Takamoto, K., Taguchi, T., Matsuda, T., Sakai, S., Mizumura, K., Ono, T. & Nishijo, H. (2020). Distinct effects of thermal treatments after lengthening contraction on mechanical hyperalgesia and exercise-induced physiological changes in rat muscle. *Journal of Applied Physiology*, 128(2), 296-306. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00355.2019>
- Twist, C., & Eston, R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 94(5-6), 652-658. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1357-9>
- Uchida, M. C., Nosaka, K., Ugrinowitsch, C., Yamashita, A., Martins Jr, E., Moriscot, A. S., & Aoki, M. S. (2009). Effect of bench press exercise intensity on muscle soreness and inflammatory mediators. *Journal of Sports Sciences*, 27(5), 499-507.

- <https://doi.org/10.1080/02640410802632144>
- Vaile, J., Halson, S., Gill, N., & Dawson, B. (2008). Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 447-455.
<https://doi.org/10.1007/s00421-007-0605-6>
- Vardiman, J. P., Moodie, N., Siedlik, J. A., Kudrna, R. A., Graham, Z., & Gallagher, P. (2015). Short-wave diathermy pretreatment and inflammatory myokine response after high-intensity eccentric exercise. *Journal of Athletic Training*, 50(6), 612-620.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.1.12>
- Versey, N. G., Halson, S. L., & Dawson, B. T. (2013). Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine*, 43(11), 1101-1130.
<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0063-8>
- Viitasalo, J. T., Niemelä, K., Kaappola, R., Korjus, T., Levola, M., Mononen, H. V., Rusko, H. K. & Takala, T. E. S. (1995). Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(5), 431-438.
<https://doi.org/10.1007/BF00635877>
- Vila-Chã, C., Hassanlouei, H., Farina, D., & Falla, D. (2012). Eccentric exercise and delayed onset muscle soreness of the quadriceps induce adjustments in agonist-antagonist activity, which are dependent on the motor task. *Experimental Brain Research*, 216(3), 385-395.
<https://doi.org/10.1007/s00221-011-2942-2>
- Vogt, M., & Hoppeler, H. H. (2014). Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *Journal of Applied Physiology*, 116(11), 1446-1454.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00146.2013>
- White, G. E., Rhind, S. G., & Wells, G. D. (2014). The effect of various cold-water immersion protocols on exercise-induced inflammatory response and functional recovery from high-intensity sprint exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2353-2367.
<https://doi.org/10.1007/s00421-014-2954-2>
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Water immersion: does it enhance recovery from exercise? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 195-206.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.1.3.195>
- WILLCOCK IM, C. J., & Hing, W. A. (2006). Physiological response to water immersion: a method for sport recovery. *Sports Med*, 36(9), 747-65.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00003>
- Willoughby, D. S., & Wilborn, C. D. (2006). Estradiol in females may negate skeletal muscle myostatin mRNA expression and serum myostatin propeptide levels after

- eccentric muscle contractions. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(4), 672.
- Wong, G. Y., & Gavva, N. R. (2009). Therapeutic potential of vanilloid receptor TRPV1 agonists and antagonists as analgesics: Recent advances and setbacks. *Brain Research Reviews*, 60(1), 267-277. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.12.006>
- Xia, Z., Cholewa, J. M., Dardevet, D., Huang, T., Zhao, Y., Shang, H., Yang, Y., Ding, X., Zhang, C., Wang, H. & Liu, S. (2018). Effects of oat protein supplementation on skeletal muscle damage, inflammation and performance recovery following downhill running in untrained collegiate men. *Food & Function*, 9(9), 4720-4729. <https://doi.org/10.1039/c8fo00786a>
- Ye, X., Miller, W. M., Jeon, S., Song, J. S., & West, T. J. (2021). Effect of arm eccentric exercise on muscle damage of the knee flexors after high-intensity eccentric exercise. *Frontiers in Physiology*, 12, 464. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.661618>
- Yoshihara, T., Naito, H., Kakigi, R., Ichinoseki-Sekine, N., Ogura, Y., Sugiura, T., & Katamoto, S. (2013). Heat stress activates the Akt/mTOR signalling pathway in rat skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 207(2), 416-426. <https://doi.org/10.1111/apha.12040>
- Yoshihara, T., Sugiura, T., Yamamoto, Y., Shibaguchi, T., Kakigi, R., & Naito, H. (2015). The response of apoptotic and proteolytic systems to repeated heat stress in atrophied rat skeletal muscle. *Physiological Reports*, 3(10), e12597. <https://doi.org/10.14814/phy2.12597>
- Yu, J. G., Liu, J. X., Carlsson, L., Thornell, L. E., & Stål, P. S. (2013). Re-evaluation of sarcolemma injury and muscle swelling in human skeletal muscles after eccentric exercise. *PloS one*, 8(4), e62056. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062056>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡ-I Έγκριση Βιοηθικής

ΠΑΡ-II Ενημερωτικό Έντυπο Συγκατάθεσης

ΠΑΡ-III Φύλλο Καταγραφής Δεδομένων

ΠΑΡ-IV Ερωτηματολόγιο Φυσικής Κατάστασης

ΠΑΡ-Ι Έγκριση Βιοηθικής



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΒΙΟΗΘΙΚΗΣ

Δάφνη, Τετάρτη, 14 Ιουλίου 2021

Αριθμός πρωτοκόλλου έγκρισης: 1298/14-07-2021

Αγαπητή κυρία Κοτσώνη,

Η εσωτερική Επιτροπή Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, στη συνεδρίασή της στις 14-07-2021 εξέτασε την αίτησή σας από 05-07-2021, με τίτλο "Θερμοθεραπεία: Ταχύτερη αποκατάσταση ύστερα από μυϊκό μικρο-τραυματισμό;"* και αποφάσισε ότι η μελέτη εγκρίνεται ως έχει.

Ο συντονιστής της Επιτροπής

*

Γρηγόρης Μπογδάνης,
Καθηγητής ΣΕΦΑΑ, ΕΚΠΑ

*Η υπογραφή έχει τεθεί επί του πρωτοτύπου που τηρείται στη Γραμματεία της Επιτροπής

ΠΑΡ-Π Ενημερωτικό Έντυπο Συγκατάθεσης

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Ενημερωτικό έντυπο συγκατάθεσης

Οι δοκιμαζόμενοι θα πρέπει να ολοκληρώσουν 6 σετ των 20 επαναλήψεων με άλματα πτώσης με το ένα πόδι (DJ's) - όπως έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες μελέτες (Dias et al. 2021)- με το επιλεγμένο για τη συγκεκριμένη συνεδρία πόδι, ενώ το άλλο θα χρησιμοποιηθεί ως έλεγχος. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, δε θα υπάρχει ανάπαυση μεταξύ των αλμάτων πτώσης, αλλά μόνο ένα διάστημα ξεκούρασης 2 λεπτών μεταξύ των σετ. Για την εκτέλεση των αλμάτων οι συμμετέχοντες θα πηδούν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα από υπερυψωμένη πλατφόρμα, ύψους 0,20m, με το επιλεγμένο για τη συνεδρία πόδι να ακουμπά στο έδαφος. Έπειτα, θα τους ζητηθεί να κάμπτουν το γόνατο στις 90° και να πηδούν όσο το δυνατόν ψηλότερα με το πόδι που εκτελεί την άσκηση εκτεταμένο. Κατά την εκτέλεση της άσκησης, τα χέρια των συμμετεχόντων θα είναι τοποθετημένα στη μέση, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε κίνηση αιώρησης βραχίονα αυτών. Κάθε επανάληψη θα εποπτεύεται από τους ερευνητές, χρησιμοποιώντας ένα μετρονόμο, ώστε να βοηθήσει στη σωστή χρονική στιγμή κάθε άλματος. Οι δοκιμαζόμενοι θα ενθαρρυνθούν, ακόμη, προφορικά, ώστε να καταβάλουν τη μέγιστη προσπάθεια, αν και η απόδοση θα μειωθεί με τη συνέχιση της άσκησης, λόγω της κόπωσης.

Αμέσως μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου έκκεντρης άσκησης με το ένα πόδι, η ερευνήτρια θα εφαρμόσει έμπλαστρο με καψαϊκίνη στον τετρακέφαλο μηριαίο του ασκούμενου άκρου των δοκιμαζομένων, ή καθόλου θεραπεία. Η εφαρμογή του έμπλαστρου θα γίνεται σε υγιές, καθαρό και στεγνό δέρμα. Ακόμη, η τοποθέτηση του έμπλαστρου (ολόκληρου) με καψαϊκίνη θα γίνει σε οριζόντια θέση στο επάνω μέρος της πρόσθιας μοίρας του τετρακέφαλου μηριαίου του ασκούμενου άκρου.

Έπειτα, θα επαναληφθεί η αξιολόγηση της μυϊκής λειτουργικότητας και απόδοσης, με την εκτίμηση των δεικτών της MD, και συγκεκριμένα του ύψους άλματος αντίθετης κίνησης, της εμφάνισης καθυστερημένου μυϊκού πόνου και του εύρους κίνησης, καθώς και της περιφέρειας του ασκούμενου άκρου.

Σε όσους δοκιμαζόμενους εφαρμοστεί θεραπεία με έμπλαστρο καψαϊκίνης, θα τους δοθούν οδηγίες να εναλλάσσουν – ανά 12 ώρες- το έμπλαστρο στο επάνω και στο κάτω μέρος του τετρακέφαλου μηριαίου του ασκούμενου άκρου, προκειμένου να έχει παρέλθει ένα χρονικό διάστημα μέχρι την επανατοποθέτηση νέου στο ίδιο σημείο, ώστε να μην υπάρχει ερύθημα και να έχει επανέλθει το δέρμα σε φυσιολογική όψη. Επίσης, για την απομάκρυνση τυχόν υπολειμμάτων του έμπλαστρου θα συμβουλευτούν από την ερευνήτρια να χρησιμοποιούν φυτικό έλαιο ή κρέμα ενυδάτωσης.

Πιο συγκεκριμένα, το βράδυ της ίδιας ημέρας, δηλαδή μόλις περάσουν οι 12 ώρες από την τοποθέτηση του πρώτου έμπλαστρου στον τετρακέφαλο μηριαίο, οι συμμετέχοντες θα αφαιρέσουν το υπάρχον και θα τοποθετήσουν νέο, αυτή τη φορά, όμως, στο κάτω μέρος του τετρακέφαλου μηριαίου του ασκούμενου ποδιού.

Την επόμενη ημέρα από την εκτέλεση της 1ης περιόδου έκκεντρης άσκησης, και εφόσον θα έχουν παρέλθει άλλες 12 ώρες, οι δοκιμαζόμενοι θα αφαιρέσουν το έμπλαστρο με καψαϊκίνη από το κάτω μέρος του τετρακέφαλου ορθού μηριαίου, το οποίο εφάρμοσαν το προηγούμενο βράδυ, και θα επανατοποθετήσουν καινούργιο στο επάνω μέρος της πρόσθιας μοίρας αυτού. Έπειτα από 12 ώρες, θα αφαιρέσουν το έμπλαστρο από το επάνω μέρος του τετρακέφαλου ορθού μηριαίου, το οποίο τοποθέτησαν το πρωί, και θα βάλουν ξανά νέο στο κάτω μέρος αυτού.

Το επόμενο πρωί, 12 ώρες μετά την τελευταία εφαρμογή του έμπλαστρου με καψαϊκίνη, και 48 ώρες μετά την εκτέλεση της 1ης περιόδου έκκεντρης άσκησης, οι δοκιμαζόμενοι θα πραγματοποιήσουν την 3η επίσκεψη στο εργαστήριο, προκειμένου να αξιολογηθούν, για ακόμη μια φορά, οι δείκτες MD που προαναφέρθηκαν (ύψος άλματος αντίθετης κίνησης, εμφάνιση καθυστερημένου μυϊκού πόνου, εύρος κίνησης, εμφάνιση οιδήματος). Η εκτίμηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης θα λάβει χώρα εφόσον αφαιρεθεί το έμπλαστρο με καψαϊκίνη από το πόδι των δοκιμαζομένων.

Μετά την πάροδο δύο εβδομάδων, οι δοκιμαζόμενοι θα προσέλθουν για τέταρτη φορά στο εργαστήριο Εργοφυσιολογίας. Σε ετούτη την επίσκεψη, οι συμμετέχοντες θα εκτελέσουν τη 2η περίοδο έκκεντρης άσκησης. Το πρωτόκολλο της τελευταίας θα είναι το ίδιο και στις δύο περιόδους, με τη διαφορά ότι η εκτέλεση των

αλμάτων πτώσης (DJ's) θα γίνει με το ετερόνυμο πόδι από αυτό που ασκήθηκε την προηγούμενη (περίοδο άσκησης). Μια, ακόμη, διαφορά – εκτός από το ασκούμενο πόδι- θα είναι η θεραπευτική παρέμβαση ή όχι, που θα ακολουθήσουν οι δοκιμαζόμενοι. Οι συμμετέχοντες, δηλαδή, οι οποίοι μετά την 1η περίοδο έκκεντρης άσκησης, ακολούθησαν θερμική θεραπεία με τη διαδοχική εφαρμογή – ανά 12ωρο- έμπλαστρων με καψαϊκίνη, και για 48 ώρες συνολικά στον τετρακέφαλο μηριαίο, μετά τη 2η περίοδο άσκησης δε θα υποστούν καμία θεραπεία. Αντιστρόφως, όσοι συμμετέχοντες δεν υποβλήθηκαν σε θερμοθεραπεία με την εφαρμογή έμπλαστρων με καψαϊκίνη στο ασκούμενο τετρακέφαλο μηριαίο κατά την εβδομάδα της 1ης περιόδου έκκεντρης άσκησης, θα ακολουθήσουν τη θερμοθεραπεία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Κατά τ'άλλα, οι πειραματικές διαδικασίες για την αξιολόγηση των δεικτών της ασκησιογενούς βλάβης του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου, θα είναι όμοιες, όπως και κατά την 1η εβδομάδα συλλογής δεδομένων. Το γεγονός ετούτο, σημαίνει ότι ο προσδιορισμός του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ), της εμφάνισης καθυστερημένου μυϊκού πόνου (DOMS), και του εύρους κίνησης (ROM), καθώς και της μέτρησης της περιφέρειας των μηρών των δοκιμαζομένων (CIR), θα πραγματοποιηθεί μετά την προθέρμανση αυτών, κατά την τέταρτη επίσκεψή τους στο εργαστήριο, μετά την ολοκλήρωση της δεύτερης περιόδου έκκεντρης άσκησης με την εκτέλεση αλμάτων πτώσης με το ένα πόδι (DJ's), και έπειτα από 48 ώρες, όπου θα πραγματοποιηθεί και η πέμπτη επίσκεψη των δοκιμαζομένων στο εργαστήριο.

Η επιλογή του ποδιού που θα εκτελέσει τα άλματα πτώσης κατά την 1η περίοδο έκκεντρης άσκησης, καθώς και η επιλογή της θεραπευτικής παρέμβασης ή όχι που θα ακολουθήσει ο εκάστοτε δοκιμαζόμενος, θα γίνει με τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά.

Κάθε ένα έμπλαστρο που θα εφαρμοστεί στο ασκούμενο άκρο των συμμετεχόντων στην έρευνα, θα περιέχει 100mg με περιεκτικότητα σε καψαϊκίνη 0,9-1,1 %. Τα έμπλαστρα θα τοποθετούνται τοπικά στο δέρμα, και συγκεκριμένα στον τετρακέφαλο μηριαίο των δοκιμαζομένων, προκαλώντας σε πρώτη φάση ερεθισμό στην περιοχή, που εκδηλώνεται με συμπτώματα όπως ερυθρίμα και αίσθημα καύσου με ή χωρίς κνησμό. Σε δεύτερη φάση, η δράση της καψαϊκίνης συνδέεται με απευαισθητοποίηση των διασθητικών νεύρων του άλγους, φέροντας έτσι αναλγητικά αποτελέσματα στον ασκούμενο μυ (Johnson, 2007). Τα έμπλαστρα που θα χρησιμοποιήσει συνολικά ο κάθε ένας δοκιμαζόμενος κατά την περίοδο που θα υποστεί θερμοθεραπεία, για την εξέταση της αποκατάστασης από την προκληθείσα ασκησιογενή βλάβη, θα είναι τέσσερα.

Άτομα με ευαίσθητο δέρμα πρέπει πρώτα να τοποθετήσουν δοκιμαστικά ένα μικρό κομμάτι του εμπλάστρου στην εσωτερική πλευρά του βραχίονα για να διαπιστώσουν ότι δεν προκαλεί εξάνθημα, έντονη ερυθρότητα ή κνησμός. Εάν κάποιος εκδηλώσει ευαισθησία στο καψαϊκίνοειδές, η θεραπεία θα διακοπεί και θα εφαρμοστεί άμεσα γιαούρτι στην πάσχουσα περιοχή. Το γιαούρτι θα δημιουργήσει μια μεμβράνη πρωτεΐνης που βοηθά στην ανακούφιση της δυσφορίας, λειτουργώντας ως καταπραυντικό.

Επίσης, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της έκκεντρης άσκησης με το ένα πόδι ενδέχεται ο κίνδυνος τραυματισμού στον ασκούμενο πρόσθιο μηριαίο, καθώς και διαστρέμματος στον αστράγαλο, σε περίπτωση που κάποιος δοκιμαζόμενος στραβοπατήσει. Σε περίπτωση τραυματισμού, η άσκηση θα διακοπεί και θα τοποθετηθεί άμεσα πάγος στο σημείο τραυματισμού, καθώς και ανάπαυση σε ανάρροπη θέση του τραυματισμένου άκρου.

Όργανα μέτρησης των δεικτών MD:

Εκτίμηση του επιπέδου της καθυστερημένης έναρξης μυϊκού πόνου (DOMS)

Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος θα αξιολογηθεί με οπτική αναλογική κλίμακα, πριν, αμέσως μετά και 48 ώρες μετά την εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης. Η κλίμακα αποτελείται από 10 υποδεικνυόμενα χρονικά σημεία, σχεδιάζοντας μια γραμμή κάθετη που επεκτείνεται από το 0-10 cm, και κυμαίνεται από το 1 (κανονικό) έως το 10 (πολύ επώδυνο). Θα ζητηθεί από τους συμμετέχοντες να επισημάνουν τον αντιληπτό τους πόνο στην κλίμακα όταν ο ερευνητής ψηλαφήσει την κεντρική και περιφερειακή περιοχή του ασκούμενου τετρακέφαλου μηριαίου σε καθιστή θέση με το μυ χαλαρό. Η αξιολόγηση του πόνου του ασκούμενου κάτω άκρου θα πραγματοποιηθεί επίσης κατά την κίνηση (περπάτημα), χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα. Παρά το γεγονός ότι η εκτίμηση του

αντιλαμβανόμενου μυϊκού πόνου είναι υποκειμενική, η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης του πόνου έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές προηγούμενες έρευνες και είναι συνήθως αποδεκτή για το σκοπό ετούτο (Clarkson et al., 1992; Jamurtas et al., 2005; Kerkick et al., 2010; Mike et al., 2017; Paschalis et al., 2008; 2009; 2010; 2011).

Προσδιορισμός του εύρους κίνησης (ROM)

Η αξιολόγηση του εύρους κίνησης (ROM) θα πραγματοποιηθεί με παθητική κάμψη του ασκούμενου άκρου από τον ερευνητή. Ο τελευταίος θα μετακινήσει το ασκούμενο άκρο σε πολύ χαμηλή γωνιακή ταχύτητα από πλήρη έκταση (0ο) του γόνατος, όπου όλοι οι συμμετέχοντες δε θα νιώθουν πόνο, στη θέση όπου θα αρχίσουν να αισθάνονται οποιαδήποτε δυσφορία. Η γωνία ετούτη θα καταγραφεί για να υποδείξει το τέλος τους εύρους κίνησης (ROM) χωρίς πόνο.

Προσδιορισμός του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ)

○ Πριν και μετά τις δύο περιόδους έκκεντρης άσκησης, θα αξιολογηθεί, ακόμη, το ύψος άλματος αντίθετης κίνησης. Το σύστημα Optojump θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους κάθετου άλματος από ημικάθισμα (SJ) με τη μέτρηση της διαφοράς μεταξύ του ύψους της πλήρως εκτεταμένης στάσης και του ύψους του μέγιστου κάθετου άλματος. Το ύψος προσέγγισης για το Optojump θα καθοριστεί χρησιμοποιώντας μια θέση σώματος όρθιας στάσης, με τα δύο πόδια μαζί και επίπεδα στο έδαφος, και οι δύο βραχίονες να εκτείνονται πλήρως πάνω, και με το κεφάλι και τα μάτια σε ουδέτερη θέση. Θα ανατεθεί στους δοκιμαζόμενους να πραγματοποιήσουν ένα άλμα με προδιάταση (CMJ). Οι συμμετέχοντες θα ξεκινήσουν σε όρθια θέση με το πόδια παράλληλα το ένα με το άλλο και στο πλάτος των ώμων. Τα χέρια θα είναι τοποθετημένα στη μέση, για την αποφυγή οποιασδήποτε κίνησης αιώρησης του βραχίονα των δοκιμαζομένων. Μετά από μια προφορική ένδειξη από τους ερευνητές, οι συμμετέχοντες θα εκτελέσουν ένα γρήγορο κάθισμα, κάμπτοντας τα γόνατα και τους γοφούς. Αφού οι δοκιμαζόμενοι πετύχουν το επιλεγμένο βάθος καθίσματος, θα εκτείνουν εκρηκτικά τους γοφούς, τα γόνατα και τους αστραγάλους, ώστε να πηδήξουν όσο το δυνατόν ψηλότερα, προκειμένου να επιτύχουν το μέγιστο ύψος άλματος. Μετά την αρχική περιγραφή του CMJ, οι δοκιμαζόμενοι θα εκτελέσουν 2 άλματα για προθέρμανση. Στη συνέχεια, οι συμμετέχοντες στη μελέτη θα εκτελέσουν 3 άλματα μέγιστης προσπάθειας. Ανάμεσα σε κάθε προσπάθεια θα υπάρχει διάστημα ανάπαυσης 1 λεπτού. Θα καταγραφεί το καλύτερο από τις 3 δοκιμές.

○ Ο χρόνος απασχόλησης των συμμετεχόντων στην έρευνα πρόκειται να είναι τέσσερις ώρες συνολικά. Σε αυτό το χρονικό διάστημα περιλαμβάνεται η προφορική και η γραπτή ενημέρωση για τις πειραματικές διαδικασίες, για τα οφέλη και τους κινδύνους από τη συμμετοχή τους στη μελέτη, οδηγίες για τις απαραίτητες προϋποθέσεις που πρέπει να τηρηθούν από τους δοκιμαζόμενους για τη συμμετοχή τους στην έρευνα, η εξοικείωση με τις μετρήσεις αξιολόγησης και με το πρωτόκολλο πρόκλησης της ασκησιογενούς βλάβης, καθώς και ο χρόνος εκτέλεσης αυτού, αλλά και της - πριν και μετά την άσκηση- αξιολόγησης των δεικτών μυϊκού μικρο-τραυματισμού.

○ Δηλώνω υπεύθυνα ότι θα μεριμνήσω ώστε τα προσωπικά σας δεδομένα να παραμείνουν ανώνυμα και να προστατευτούν, με τη χρήση αρχικών γραμμάτων ή ψευδώνυμου. Θα υπάρχει απόλυτη εχεμύθεια και εμπιστευτικότητα.

○ Θα πληροφορηθείτε για τα ατομικά σας αποτελέσματα στο τέλος της διάρκειας συλλογής δεδομένων. Ακόμη, θα ενημερωθείτε, εάν το επιθυμείτε, για τα γενικά ευρήματα της μελέτης.

Δήλωση συγκατάθεσης δοκιμαζομένων

Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο έρευνας με τίτλο “Θερμοθεραπεία για ταχύτερη αποκατάσταση από μυϊκό μικρο-τραυματισμό” που διεξάγεται από επιστημονικό προσωπικό του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, β) μου δόθηκε το δικαίωμα να κάνω διευκρινιστικές ερωτήσεις, γ) μου δόθηκε το δικαίωμα να αποφασίσω αν θα συμμετάσχω ή όχι, δ) η συμμετοχή μου είναι εντελώς εθελοντική, ε) έχω δικαίωμα να διατηρήσω την ανωνυμία μου και στ) έχω δικαίωμα να διακόψω όποτε θελήσω, χωρίς να έχω την υποχρέωση να εξηγήσω τους λόγους για τους οποίους θα το κάνω.

Σας ευχαριστώ για την πιθανή συμμετοχή σας στην έρευνα.

Ονοματεπώνυμο δηλούντος ή χρήση κωδικού ή αρχικών.....

Υπογραφή

Υπογραφή γονέα ή κηδεμόνα ή άλλου νόμιμου υπευθύνου (ισχύει για τις ειδικές περιπτώσεις)
.....

Ημερομηνία.....

Υπογραφή ατόμου που πήρε τη συγκατάθεση Ημερομηνία.....

Υπογραφή ερευνητή (εάν δεν είναι το άτομο που πήρε τη συγκατάθεση): Ημερομηνία.....

ΠΑΡ-III Φύλλο Καταγραφής Δεδομένων

Δοκιμαζόμενος: _____

Ψευδώνυμο: _____

Ηλικία: _____

Συνεδρία: _____

Ημερομηνία συνεδρίας: _____

Επόμενες συνεδρίες: _____

Περιγραφικά Χαρακτηριστικά:

ύψος _____ m, βάρος _____ kg

Δερματοπτυχές: τρικεφαλική _____, υπερλαγόνια _____, μηριαία _____,
έξω πλατύ μηριαίου _____ (για nirs)

Πυκνότητα Σώματος: Db(g/cc) _____

%Λίπους= _____

CIR (δεξί): _____ CIR (αριστερό): _____

Π.Α: _____

NIRS (1^η) / (3^η) _____ CAP / PLBASELINE

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> 3 λεπτά)

6217 → πόδι: _____, συνθήκη: _____

1256 → πόδι: _____, συνθήκη: _____

Προθέρμανση (8 λεπτά ποδηλασία, 2 λεπτά διατάσεις)

Αξιολόγηση δεικτών EIMD:

DOMS: με ημικάθισμα (δεξί) _____, (αριστερό) _____

στο περπάτημα (δεξί) _____, (αριστερό) _____

CIR (δεξί): _____ CIR (αριστερό): _____ ROM

(δεξί): _____ ROM (αριστερό): _____

SJ από ημικάθισμα (90°): _____, _____, _____

NIRS (1^η) / (3^η) _____ CAP / PL A'

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> 3 λεπτά)

EIMD (6x20 DJ'S από 20 cm) με 2 λεπτά ανάπαυση/ σετ

1° _____, 2° _____, 3° _____, 4° _____, 5° _____, 6° _____

RPE: 1° _____, 2° _____, 3° _____, 4° _____, 5° _____, 6° _____

SJ από ημικάθισμα (90°): _____, _____, _____

NIRS (1^η) / (3^η) _____ CAP / PL B'

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> 3 λεπτά)

Τοποθέτηση έμπλαστρου: _____

Θερμική αίσθηση(TS): _____

NIRS (1^η) / (3^η)_____CAP / PLC’

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> **3 λεπτά**)

Θερμική αίσθηση(TS): _____

15 λεπτά ανάπαυση_____Θερμική αίσθηση(TS): _____

Θερμική αίσθηση(TS): _____

NIRS (1^η) / (3^η)_____CAP / PLD’

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> **3 λεπτά**)

Οδηγίες για έμπλαστρα _____

Ψευδώνυμο: _____

Συνεδρία: _____

Ημερομηνία συνεδρίας: _____

Επόμενες συνεδρίες: _____

NIRS (2^η) / (4^η)_____CAP / PLBASELINE

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> **3 λεπτά**)

6217 → πόδι:_____, **συνθήκη:**_____

1256 → πόδι:_____, **συνθήκη:**_____

Π.Α: _____

Αξιολόγηση δεικτών EIMD:

DOMS: με ημικάθισμα (δεξί)_____, **(αριστερό)**_____

στο περπάτημα (δεξί)_____, **(αριστερό)**_____

CIR (δεξί): _____ **CIR(αριστερό):** _____

ROM (δεξί): _____ **ROM (αριστερό):** _____

SJ από ημικάθισμα (90°):_____,_____,_____

NIRS (2^η) / (4^η)_____CAP / PL A’

(τοποθέτηση, Fn-F6 για μηδενισμό, Fn-F4 για mark-> **3 λεπτά**)

ΠΑΡ-IV Ερωτηματολόγιο Φυσικής Κατάστασης

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

- 1) Πόση ώρα εκτελείτε καθημερινά σωματικές δραστηριότητες (οικιακές εργασίες, επαγγελματική απασχόληση, κ.τ.λ.) ;
- 2) Πόση ώρα ασκείστε καθημερινά;
- 3) Τι είδους άσκηση εκτελείτε;
- 4) Πόσες φορές την εβδομάδα εκτελείτε το πρόγραμμα άσκησης;
- 5) Πόσες ώρες ασκείστε εβδομαδιαίως συνολικά;