



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΟΠΑΙΔΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΜΥΙΚΗΣ ΟΞΥΓΟΝΩΣΗΣ ΤΟΥ
ΓΑΣΤΡΟΚΝΗΜΙΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ»**

**Ασημάκης Βασίλης (201700010)
Ασημάκη Μαρίνα (201800008)**

Επιβλέπων Καθηγητής: Χ.Κ. Γιαννακόπουλος

ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

© Copyright

Ασημάκης Βασίλης, Ασημάκη Μαρίνα
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα έρευνα, σκοπός ήταν η μελέτη και παρατήρηση της οξυγόνωσης του γαστροκνημίου μυός του κάτω άκρου κατά τη διάρκεια ισομετρικής συστολής μέχρι εξάντλησης. Για τις ανάγκες της έρευνας, αναλύθηκε αρχικά η ανατομία των σκελετικών μυών με έμφαση στο γαστροκνήμιο μυ. Στην συνέχεια περιγράφηκαν φυσιολογικές και εργοφυσιολογικές λειτουργίες που σχετίζονται με την μυϊκή οξυγόνωση, όπως ο μηχανισμός μυϊκής συστολής, ο μυϊκός κάματος και η οξυγόνωση κατά την άσκηση. Οι μετρήσεις έγιναν με το μηχάνημα Nirs Invos και συμμετείχαν εθελοντικά 10 αθλητές (5 γυναίκες και 5 άνδρες) ηλικίας 20-24 ετών. Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία t και repeated measurement ANOVA μέσω του στατιστικού πακέτου SPSS 28.0. Το πείραμα έδειξε ότι κατά την ισομετρική σύσπαση του γαστροκνημίου μυός μειώνεται σημαντικά η αιμάτωση κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα της συστολής και στη συνέχεια παραμένει στα ίδια επίπεδα μέχρι να κοπωθεί πλήρως ο μυς. Επίσης σημαντική διαφορά παρατηρήθηκε στην οξυγόνωση μεταξύ των δύο άκρων, υπέρ της αριστερής γαστροκνημίας, η οποία διαφορά παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας.

Λέξεις-κλειδιά: αιμάτωση, γαστροκνήμιος, ισομετρική άσκηση/συστολή, μυϊκή οξυγόνωση

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	iii
Πίνακας Περιεχομένων.....	iv
Κατάλογος Εικόνων.....	vi
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	vii
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ορισμός του προβλήματος και σκοπός της έρευνας.....	1
1.2 Σημασία της έρευνας.....	1
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις.....	1
1.3.1 Ερευνητικά ερωτήματα.....	1
1.3.2 Μεταβλητές.....	1
1.3.2.1 Ανεξάρτητες μεταβλητές.....	1
1.3.2.2 Εξαρτημένες μεταβλητές.....	2
1.3.3 Ερευνητικές υποθέσεις.....	2
1.4 Οριοθετήσεις.....	2
1.5 Περιορισμοί.....	2
1.6 Διευκρίνηση όρων /λειτουργικοί ορισμοί.....	3
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	4
2.1 Δομή και λειτουργία σκελετικών μυών.....	4
2.1.1 Γαστροκνήμιος μυς.....	7
2.2 Μηχανισμός μυϊκής συστολής.....	8
2.2.1 Είδη μυϊκής συστολής.....	9
2.2.2 Ισομετρική άσκηση.....	11
2.3 Είδη και αίτια μυϊκού κάματος.....	14
2.4 Οξυγόνωση σκελετικών μυών.....	15
2.4.1 Οξυγόνωση κατά την άσκηση – Φάσεις μυϊκής προσπάθειας.....	19

2.5 Συσκευή Nirs Invos.....	23
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	27
3.1 Δείγμα.....	27
3.2 Όργανα μέτρησης.....	27
3.3 Περιγραφή διαδικασιών.....	27
3.4 Στατιστική ανάλυση.....	30
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	31
V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	47
VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	49
VII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	54

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Αισθητήρας προβολής φωτός που τοποθετείται στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	24
Εικόνα 2.2. Η συσκευή INVOS 7100 Regional Oximeter (Medtronic).....	24
Εικόνα 2.3. Ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής INVOS.....	25
Εικόνα 3.1. Ο αισθητήρας της συσκευής NIRS INVOS.....	28
Εικόνα 3.2. Απεικόνιση της δοκιμασίας. Οι αισθητήρες τοποθετούνται στις έσω κεφαλές των γαστροκνημίων μυών αμφοτερόπλευρα και ο εξεταζόμενος κάμπτει την ποδοκνημική με την δράση των γαστροκνημίων μυών ώστε να παραμείνει στη θέση αυτή μέχρι την εξάντληση.....	29
Εικόνα 3.3. Η οθόνη της συσκευής μέτρησης στην οποία παρουσιάζονται οι μετρήσεις και για τους δύο γαστροκνήμιους.....	29

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1. Τα περιγραφικά στατιστικά δεδομένα των συμμετεχόντων στην μελέτη. Παρουσιάζεται επίσης η μέτρηση της τοπικής οξυγόνωσης του γαστροκνημίου αριστερά και δεξιά ανά 15 δευτερόλεπτα.....	31
Πίνακας 4.2. Περίμετρος αριστερής και δεξιάς γαστροκνημίας.....	32
Πίνακας 4.3. Συσχέτιση περιμέτρου αριστερής και δεξιάς γαστροκνημίας.....	33
Πίνακας 4.4. Δοκιμασία κατά ζεύγη, Paired Samples Test	33
Πίνακας 4.5. Παρουσίαση των μετρήσεων της αγγείωσης στους γαστροκνήμιους μύες στις διάφορες χρονικές στιγμές μέτρησης.....	34
Πίνακας 4.6. Συσχετίσεις κατά ζεύγη, Paired Samples Correlations.....	35
Πίνακας 4.7. Δοκιμασία κατά ζεύγη, Paired Samples Test.....	35
Πίνακας 4.8. Δοκιμασία κατά ζεύγη, Paired Samples Test.....	36
Πίνακας 4.9. Η επίδραση του μεγέθους του δείγματος, Paired Samples Effect Sizes.....	37
Πίνακας 4.10. Μετρήσεις του δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r για την αριστερή πλευρά του σώματος.....	39
Πίνακας 4.11. Δοκιμασία Within-Subjects Effects.....	39
Πίνακας 4.12. Δοκιμασία Within-Subjects Contrasts.....	40

Πίνακας 4.13. Μετρήσεις του δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r για την δεξιά πλευρά του σώματος.....	41
Πίνακας 4.14. Δοκιμασία Within-Subjects Effects.....	42
Πίνακας 4.15. Δοκιμασία Within-Subjects Contrasts.....	42
Πίνακας 4.16. Μετρήσεις του δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r και για τις δύο πλευρές του σώματος.....	43
Πίνακας 4.17. Δοκιμασία σφαιρικότητας, Mauchly's Test of Sphericity.....	44
Πίνακας 4.18. Δοκιμασία Within-Subjects Effects.....	44
Πίνακας 4.19. Δοκιμασία Within-Subjects Contrasts.....	45
Πίνακας 4.20. Δοκιμασία Between-Subjects Effects.....	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1. Απεικόνιση των μετρήσεων της αγγείωσης του γαστροκνημίου μυός αμφοτερόπλευρα. Είναι σαφής η μείωση της αγγείωσης του μυός και στις δύο πλευρές και η βαθμιαία επάνοδος στο φυσιολογικό επίπεδο.....	30
Διάγραμμα 4.1. Η μεταβολή της οξυγόνωσης του αριστερού γαστροκνήμιου μυός με τον χρόνο.....	41
Διάγραμμα 4.2. Η μεταβολή της οξυγόνωσης του δεξιού γαστροκνήμιου μυός με τον χρόνο.....	43
Διάγραμμα 4.3. Η μεταβολή της οξυγόνωσης και των δύο γαστροκνήμιων μυών με τον χρόνο.....	4

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός του προβλήματος και σκοπός της έρευνας

Τα επίπεδα οξυγόνου σε έναν ενεργοποιημένο μυ είναι γνωστό ότι μειώνονται σημαντικά κατά τη διάρκεια της μυϊκής συστολής. Ο σκοπός της έρευνας είναι η μελέτη της μεταβολής της οξυγόνωσης του γαστροκνήμιου μύος στο κάτω άκρο κατά την διάρκεια ισομετρικής συστολής μέχρι την κόπωση, με την χρήση συσκευής υπέρυθρης φασματοσκοπίας Invos (Medtronic). Σημειωτέον ότι η συσκευή Invos, αν και βρίσκεται σε κλινική χρήση πολλά χρόνια για την μελέτη της μικτής αγγείωσης του εγκεφαλικού παρεγχύματος κατά την διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την μελέτη της μυϊκής οξυγόνωσης. Η συσκευή αυτή μετρά σε δύο θέσεις την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας και υπολογίζει τον δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r.

1.2 Σημασία της έρευνας

Στην παρούσα έρευνα μελετάται με τη βοήθεια της συσκευής Invos ο βαθμός επίδρασης της ισομετρικής μυϊκής συστολής στην μυϊκή οξυγόνωση. Έτσι θα εμπλουτιστούν οι γνώσεις μας σχετικά με τους μηχανισμούς που διέπουν την μυϊκή αιμάτωση κατά τη διάρκεια της άσκησης και ειδικότερα της ισομετρικής άσκησης. Επίσης θα προκύψουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο εμφάνισης του καμάτου και της πιθανής μείωσης του οξυγόνου στον μυ.

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις

1.3.1 Ερευνητικά ερωτήματα

Ερώτημα πρώτο: Σε ποιο βαθμό επηρεάζεται η μυϊκή οξυγόνωση του γαστροκνήμιου μύος κατά την ισομετρική συστολή;

Ερώτημα δεύτερο: Υπάρχει διαφορά στην οξυγόνωση των 2 κάτω άκρων;

1.3.2 Μεταβλητές

1.3.2.1 Ανεξάρτητες μεταβλητές

1. Η οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου μύος κατά τη διάρκεια ισομετρικής σύσπασης, όπως μετράται με τον δείκτη rSO₂, πριν την έναρξη του πειράματος σε κατάσταση ηρεμίας

2. Η οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου μυός κατά τη διάρκεια ισομετρικής σύσπασης, όπως μετράται με τον δείκτη rSO₂, κατά την διάρκεια του πειράματος

3. Η οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου μυός κατά τη διάρκεια ισομετρικής σύσπασης, όπως μετράται με τον δείκτη rSO₂, κατά την λήξη του πειράματος

1.3.2.2 Εξαρτημένες μεταβλητές

Η μυϊκή οξυγόνωση όπως μετράται με τον δείκτη rSO₂

1.3.3 Ερευνητικές υποθέσεις

Μηδενική υπόθεση: Δεν υπάρχει διαφορά στην οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου μυός κατά την εκτέλεση ισομετρικής συστολής του μυός μέχρι την κόπωση.

1.4 Οριοθετήσεις

Οι συμμετέχοντες στην μελέτη ήταν νεαροί ενήλικες και ενεργοί αθλητές και αθλήτριες, ηλικίας 20-30 ετών, χωρίς ιστορικό άλγους, κάκωσης ή τραυματισμού των κάτω άκρων. Κανένας από τους εξεταζόμενους δεν παρουσιάζει συστηματικές παθήσεις και δεν λαμβάνει φάρμακα που θα ήταν δυνατό να επηρεάσουν την μυϊκή δύναμη και απόδοση. Οι εξεταζόμενοι δεν είχαν καταναλώσει αλκοόλ ή άλλα φάρμακα που επηρεάζουν την μυϊκή απόδοση.

1.5 Περιορισμοί

Στην μελέτη οι δοκιμαζόμενοι είναι ενεργοί αθλητές και αθλήτριες ηλικίας 20-30 ετών και επομένως τα συμπεράσματα δεν είναι δυνατό να γενικευθούν σε άλλες πληθυσμιακές ομάδες.

1.6 Διευκρίνιση όρων / λειτουργικοί ορισμοί

- **Ισομετρική άσκηση:** κάθε είδος άσκησης κατά την οποία καταβάλλεται μυϊκή προσπάθεια χωρίς να παρατηρείται μεταβολή στο μήκος του μυός και χωρίς να υπάρχει κίνηση στην άρθρωση.
- **%MVC, maximal voluntary contraction:** το ποσοστό της μέγιστης εκούσιας συστολής του μυός. Η μέγιστη εκούσια συστολή ενός μυ πραγματοποιείται με τη θέληση του ατόμου και χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη δυνατή ενεργοποίηση των μυϊκών ινών του.
- **Υπέρυθρη Φασματοσκοπία:** Η υπέρυθη φασματοσκοπία αναφέρεται στη μέθοδο ανάλυσης και μέτρησης του φάσματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή απορροφάται από αντικείμενα. Η υπέρυθη ακτινοβολία βρίσκεται στο εύρος μεταξύ της ορατής ακτινοβολίας και των υπέρυθρων μικροκυμάτων. Η υπέρυθη φασματοσκοπία χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως η ανίχνευση θερμότητας, η αναγνώριση χημικών ουσιών και η μελέτη της δομής και σύνθεσης των χημικών ενώσεων.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Δομή και φυσιολογία σκελετικών μυών

Η κίνηση του ανθρώπινου σώματος και των μελών του, είναι αποτέλεσμα της μυϊκής δράσης και επιτυγχάνεται με την μετατροπή της χημικής ενέργειας από την διάσπαση κυρίως του γλυκογόνου σε γλυκόζη σε μηχανική μέσω του μηχανισμού παραγωγής ΑΤΡ. Ο ενεργειακός αυτός μετασχηματισμός γίνεται από τα διαφοροποιημένα μυϊκά κύτταρα, που είναι οργανωμένα σε μία θαυμάσια αρχιτεκτονική διάταξη μέσα στο σκελετικό μυ και λειτουργούν με τον έλεγχο της βούλησης, δηλαδή εκούσια μέσω της ενεργοποίησης του κεντρικού νευρικού συστήματος. Οι σκελετικοί μύες συνδέονται με τα οστά με παρεμβολή των τενόντων και η παραγωγή δύναμης και κίνησης οφείλεται στη συστολή τους.

Οι μύες έχουν ιδιαίτερη σημασία για την κίνηση και την στήριξη του σώματος. Επίσης χρησιμεύουν στη διακίνηση ενέργειας, την κυκλοφορία του αίματος, στην καρδιακή σύσπαση, στην αναπνοή και στην παραγωγή ενός σημαντικού μέρους της θερμότητας του ανθρώπινου σώματος. Η πρωταρχική λειτουργία του σκελετικού μυός είναι να μετατρέπει ηλεκτρικά σήματα σε μηχανικά γεγονότα προκαλώντας κίνηση. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες που δίνουν τη δυνατότητα στον μυ να προκαλεί κίνηση είναι η διεγερσιμότητα, η συσταλτικότητα, η διατατικότητα και η ελαστικότητα (Craig 1994, Plowman et al 2003). Η διεγερσιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα του μυός να δέχεται και να ανταποκρίνεται σε ερεθίσματα. Η συσταλτικότητα παραπέμπει στη βράχυνση του μυός και είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης και διολίσθησης των μυϊκών ινιδίων μυοσίνης και ακτίνης. Η διατατικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του μυός να επιμηκύνεται όταν ασκείται εξωτερική δύναμη. Τέλος, η ελαστικότητα δηλώνει την ικανότητα του μυός να επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις, μόλις ελευθερωθεί από την τάση που προκάλεσε την επιμήκυνση του.

Ο όρος μυς αναφέρεται σε έναν αριθμό ινών, οι οποίες είναι όλες συνδεδεμένες μεταξύ τους με ινώδη συνδετικό ιστό, το επιμύιο, που περικλείει χιλιάδες μυϊκά κύτταρα, τις μυϊκές ίνες. Οι ίνες αυτές είναι λεπτές, επιμήκεις, κυλινδρικές και οργανωμένες σε δεμάτια. Κάθε δεμάτιο (150 περίπου μυϊκές ίνες) περιβάλλεται από έναν υμένα συνδετικού ιστού, το περιμύιο. Κάθε μυϊκή ίνα διαχωρίζεται από τις γειτονικές της με έναν άλλο λεπτό υμένα, το ενδομύιο. Όλοι αυτοί οι προστατευτικοί υμένες συγχωνεύονται και συνεχίζουν σε έναν ανθεκτικό συνδετικό ιστό, τον τένοντα, με τον οποίο μεταβιβάζεται στο οστό η δύναμη που παράγει ο μυς.

Γύρω από το ενδομύιο που περιβάλλει την μυϊκή ίνα υπάρχει ένα πλούσιο δίκτυο τριχοειδών αγγείων, το σαρκοπλασματικό δίκτυο, το οποίο διευκολύνει την προμήθεια οξυγόνου, θρεπτικών ουσιών και ορμονών στα ενεργά κύτταρα, ενώ ταυτόχρονα βοηθά και στην απομάκρυνση των μεταβολικών προϊόντων.

Ο μυς αποτελείται από μυϊκές ίνες (δηλαδή τα κύτταρα του μυός) και κάθε μυϊκή ίνα από πολλά μυοϊνίδια. Το μυοϊνίδιο, που βρίσκεται στο μεγαλύτερο μέρος του κυτταροπλάσματος, αποτελείται από σαρκομέρια, τα οποία είναι στοιχισμένα κατά τον επιμήκη άξονα του μυός. Τα σαρκομέρια, είναι η λειτουργική μονάδα του συστατικού συστήματος του μυός και αποτελούνται από παχιά και λεπτά μυοϊνίδια. Το βασικότερο χαρακτηριστικό του σαρκομερίου, είναι ο γραμμωτός σχηματισμός ανοιχτής και σκούρας απόχρωσης.

Τα παχιά νημάτια περιέχουν και αποτελούνται σχεδόν ολοκληρωτικά από μία πρωτεΐνη που ονομάζεται μυοσίνη. Το μόριο της μυοσίνης αποτελείται από δύο μεγάλες πολυπεπτιδικές αλυσίδες και τέσσερις μικρότερες ελαφρές αλυσίδες. Αυτά τα πολυπεπτίδια ενώνονται για να σχηματίσουν ένα μόριο που αποτελείται από δύο σφαιρικές κεφαλές και μία μακρά ουρά που σχηματίζεται από το πλέξιμο των δύο βαρέων αλυσίδων. Η ουρά κάθε μορίου μυοσίνης κείται κατά μήκος του άξονα των παχίων νηματίων και οι δύο σφαιρικές κεφαλές προεξέχουν πλευρικά σχηματίζοντας τις εγκάρσιες γέφυρες. Οι εγκάρσιες γέφυρες ονομάζονται έτσι διότι κατά την μυϊκή

συστολή προεκβάλλουν προς την ακτίνη, γεφυρώνοντας έτσι το κενό μεταξύ ακτίνης και μυοσίνης. Ουσιαστικά οι εγκάρσιες γέφυρες είναι οι θέσεις της συστολής του μυός και έχουν από δύο χημικά ενεργές θέσεις. Η μία έχει την ικανότητα σύνδεσης με την ακτίνη και η άλλη διάσπασης της τριφοσφορικής αδενοσίνης (ATP).

Τα λεπτά νηματία, αποτελούνται από μία άλλη σφαιροειδή πρωτεΐνη συστολής, την ακτίνη, καθώς επίσης και από άλλες δύο πρωτεΐνες, την τροπονίνη και την τροπομυοσίνη, οι οποίες παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη μυϊκή συστολή. Η ακτίνη, αποτελεί μία μονή πολυπεπτιδική αλυσίδα που πολυμερίζεται με άλλη μονή αλυσίδα ακτίνης και σχηματίζουν δύο πλεξιδωτές ελικοειδείς αλυσίδες, που αποτελούν τον πυρήνα των λεπτών νηματίων. Κάθε μόριο ακτίνης, περιέχει και ένα σημείο πρόσδεσης με την μυοσίνη.

Τα παχιά μυοϊνιδιαβρίσκονται στο κεντρικό μέρος του σαρκομερίου, όπου με τη συστηματική παράλληλη διάταξή τους σχηματίζουν μία πλατιά, σκούρα λωρίδα, που είναι γνωστή ως ζώνη A. Τα λεπτά μυοϊνιδια ακτίνης συνδέονται στις δύο άκρες του σαρκομερίου με ένα δομικό στοιχείο που λέγεται γραμμή ή δίσκος Z. Στο δίκτυο αυτό αγκυροβολούν τα λεπτά νηματία ακτίνης, τα οποία εκτείνονται προς το κεντρικό μέρος του σαρκομερίου, όπου και αλληλοκαλύπτονται με τα παχιά μυοϊνιδια. Μία φωτεινή λωρίδα, γνωστή ως ζώνη I, κείται μεταξύ δύο ζωνών A γειτονικών σαρκομερίων και περιέχει μόνο το κομμάτι των λεπτών νηματίων τα οποία δεν επικαλύπτονται από νηματία μυοσίνης. Η ζώνη I διχοτομείται από τον δίσκο Z. Η ανοιχτή απόχρωση της ζώνης I οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελείται μόνο από λεπτά νηματία. Ανάμεσα στις άκρες των λεπτών νηματίων και στο κέντρο της ζώνης A (δηλαδή των παχιών νηματίων) παρατηρείται μια ελαφρά φωτεινότερη περιοχή, η ζώνη H. Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στο διάστημα που ορίζουν οι άκρες δύο σειρών λεπτών νηματίων σε κάθε σαρκομέριο, όπου δηλαδή υπάρχουν μόνο παχιά νηματία και πιο συγκεκριμένα το κεντρικό τους μέρος. Τέλος, κάθετα στη ζώνη H και στο κέντρο της, διακρίνεται μία λεπτή βαθύχρωμη πρωτεϊνική αλυσίδα, η γραμμή

M, η οποία συγκρατεί το κεντρικό μέρος των παχιών νηματίων μαζί, διατηρώντας έτσι την παράλληλη κανονική τους διάταξη.

2.1.1 Γαστροκνήμιος Μυς

Ο γαστροκνήμιος μυς μαζί με τον υποκνημίδιο αποτελούν τον τρικέφαλο μυ της γαστροκνημιάς, ο οποίος εντοπίζεται στο επιπολής οπίσθιο διαμέρισμα της κνήμης. Πιο συγκεκριμένα, ο γαστροκνήμιος μυς αποτελείται από την έσω και την έξω κεφαλή, οι οποίες εκφύονται αντίστοιχα από τον έσω και έξω κόνδυλο του μηριαίου οστού και καταφύονται μέσω του αχίλλειου τένοντα στο κύρτωμα της πτέρνας. Η κύρια ενέργειά του είναι η πελματιαία κάμψη στην άρθρωση της ποδοκνημικής, κίνηση η οποία είναι απαραίτητη για την βάρδιση, ενώ δευτερευόντως βοηθάει και στην κάμψη του γόνατος. Ο υποκνημίδιος μυς εκφύεται από την οπίσθια επιφάνεια της κνήμης και της περόνης και καταφύεται μαζί με τον γαστροκνήμιο στην πτέρνα μέσω του αχίλλειου τένοντα. Από αυτά λοιπόν τα σημεία έκφυσης και κατάφυσης προκύπτει ότι ο υποκνημίδιος δεν συμμετέχει σε καμία άλλη κίνηση πέρα από την πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής άρθρωσης, στην οποία βέβαια συμμετέχει και ο γαστροκνήμιος μυς. Κοινό χαρακτηριστικό των δύο μυών είναι επίσης η νεύρωσή τους από το κνημιαίο νεύρο το οποίο προέρχεται από τις ιερές ρίζες I1 έως I5.

Η ενεργοποίηση του γαστροκνημίου και του υποκνημίδιου είναι εκτεταμένη τόσο στην καθημερινότητα, όσο και στον αθλητισμό. Είναι δύο απαραίτητοι μύες που χωρίς την δράση τους ο άνθρωπος δεν μπορεί να εκτελέσει βασικές φυσικές δραστηριότητες όπως το περπάτημα, αλλά παίζουν ταυτόχρονα καθοριστικό ρόλο και στην αθλητική απόδοση. Η εκρηκτική σύσπασή τους δίνει στον άλτη την απαραίτητη ώθηση για ένα μεγάλο άλμα, ενώ η ικανότητά τους να αντιστέκονται στον κάματο δίνει την δυνατότητα στους δρομείς αντοχής να φέρνουν εις πέρας προσπάθειες μεσαίας και μεγάλης διάρκειας. Όπως και στους περισσότερους μύες του ανθρώπου, έτσι και στον γαστροκνήμιο παρατηρείται ίση περίπου κατανομή των τύπων των μυϊκών ινών, γεγονός που σημαίνει ότι αποτελείται περίπου από 50% μυϊκές ίνες

ταχείας συστολής. Από την άλλη πλευρά, ο υποκνημίδιος αποτελεί εξαίρεση σε αυτόν τον κανόνα αφού έχει 70-90% μυϊκές ίνες βραδείας συστολής, δηλαδή 20-40% περισσότερες ίνες βραδείας συστολής από τους υπόλοιπους μύες των ποδιών (Astrand et al. 2004).

2.2 Μηχανισμός μυϊκής συστολής

Μυϊκή συστολή ονομάζεται η ικανότητα των μυών να συστέλλονται και επομένως να παράγουν δύναμη και να προκαλούν κίνηση. Ο μηχανισμός με τον οποίο γίνεται η μυϊκή συστολή βασίζεται στη θεωρία ολίσθησης των μυοϊνιδίων, η οποία μέχρι και σήμερα είναι γενικώς αποδεκτή (Huxley, 1974; Craig, 1994; Huxley, 1996; Holmes et al., 2000). Σύμφωνα με αυτή, τα λεπτά νημάτια της ακτίνης που βρίσκονται στα άκρα του σαρκομερίου ολισθαίνουν προς τα παχιά νημάτια της ακτίνης και παρασύρουν τα άκρα του σαρκομερίου προς το κέντρο. Έτσι μειώνεται το μήκος της μυϊκής ίνας, χωρίς όμως να μεταβάλλεται το μήκος των μυοϊνιδίων. Η κίνηση αυτή προκαλείται από την κάμψη των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης, όταν αυτές είναι συνδεδεμένες με τα νημάτια ακτίνης και επαναλαμβάνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της μυϊκής συστολής. Η αλληλουχία γεγονότων που συμβαίνει κάθε φορά είναι γνωστή ως κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών και περιλαμβάνει τέσσερα στάδια. Αρχικά (α) οι εγκάρσιες γέφυρες προσδένονται σε ένα λεπτό νημάτιο ακτίνης και από εκεί (β) γίνεται κίνηση των εγκάρσιων γεφυρών που μετατοπίζει τα νημάτια ακτίνης προς το κέντρο του σαρκομερίου. Στη συνέχεια (γ) οι εγκάρσιες γέφυρες αποδεσμεύονται από τα λεπτά νημάτια της ακτίνης και (δ) κινούνται προς νέες ενεργοποιημένες θέσεις όπου είναι δυνατό να επανασυνδεθούν με ένα νημάτιο ακτίνης και να επαναληφθεί έτσι ο κύκλος.

Για να πραγματοποιηθεί ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών και να συσταλεί ο μυς, πρέπει να υπάρχει και ένα ερέθισμα από το κεντρικό νευρικό σύστημα. Το ερέθισμα αυτό ή αλλιώς νευρική ώση, διαβιβάζεται από τους κινητικούς νευρώνες στη νευρομυϊκή σύναψη, η οποία αποτελεί το σημείο συνάντησης του κινητικού νευρώνα

με τις μυϊκές ίνες. Κάθε κινητικός νευρώνας νευρώνει πολλές μυϊκές ίνες και κάθε τέτοιο σύνολο ονομάζεται κινητική μονάδα. Όλες οι μυϊκές ίνες μίας κινητικής μονάδας συστέλλονται ταυτόχρονα όταν ο κινητικός νευρώνας μεταφέρει ένα δυναμικό ενέργειας. Φτάνοντας λοιπόν στη νευρομυϊκή σύναψη, η νευρική ώση προκαλεί απελευθέρωση του νευροδιαβιβαστή που λέγεται ακετυλοχολίνη στη συναπτική σχισμή μεταξύ νευρικής και μυϊκής μεμβράνης. Αυτό αυξάνει τη διαπερατότητα της μυϊκής μεμβράνης σε ιόντα Νατρίου και Καλίου και προκαλείται έτσι εκπόλωση. Με την εκπόλωση αυτή παράγεται το μυϊκό δυναμικό ενέργειας, το οποίο μεταφέρεται κατά μήκος της μυϊκής ίνας και έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ασβεστίου από τους πλευρικούς θύλακες του σαρκοπλασματικού δικτύου. Αφού απελευθερωθεί το ασβέστιο, ενώνεται με την τροπονίνη, μία μικρή σφαιρική πρωτεΐνη που βρίσκεται ανά τακτά διαστήματα πάνω στο νημάτιο της ακτίνης. Η ένωση αυτή προκαλεί τη μετατόπιση μίας άλλης πρωτεΐνης, της τροπομυοσίνης, η οποία είναι μία διπλή έλικα τυλιγμένη γύρω από το νημάτιο της ακτίνης. Η τροπομυοσίνη λοιπόν απομακρύνεται από την αποφρακτική της θέση πάνω στην ακτίνη και απελευθερώνει τα σημεία πρόσδεσης των εγκάρσιων γεφυρών της μυοσίνης. Με τον τρόπο αυτό ξεκινάει ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, και μέσω της συστολής του μυός παράγεται δύναμη.

2.2.1 Είδη Μυϊκής Συστολής

Τα είδη μυϊκής συστολής είναι τρία και η ονομασία του κάθε είδους προέρχεται από το πως μεταβάλλεται το μήκος του μυός όταν αυτός συσπάται. Τα είδη αυτά είναι η πλειομετρική, όπου το μήκος του μυός αυξάνεται, η μειομετρική, κατά την οποία ο μυς βραχύνεται και η ισομετρική συστολή, όπου το μήκος του μυός παραμένει αμετάβλητο. Κατά τη διάρκεια κάθε τύπου μυϊκής συστολής, οι εγκάρσιες γέφυρες επαναλαμβάνουν συνεχώς τα τέσσερα στάδια του μηχανισμού της διολίσθησης νηματίων, ωστόσο η μεταβολή του μήκους ολόκληρου του μυός θα εξαρτηθεί και από εξωτερικές δυνάμεις. Από των των εξωτερικών δυνάμεων οι μυϊκές ίνες μόνο

βραχύνονται και ποτέ δεν επιμηκύνονται. Όλα τα είδη μυϊκής συστολής συμβαίνουν φυσικά κατά την κίνηση του σώματος.

Κατά την πλειομετρική συστολή, ο μυς έρχεται αντιμέτωπος με ένα εξωτερικό φορτίο, το οποίο είναι μεγαλύτερο από την τάση που παράγεται από τις εγκάρσιες γέφυρες. Αποτέλεσμα είναι η επιμήκυνση ολόκληρου του μυός, παρόλο που η ακτίνη και η μυοσίνη βρίσκονται συνεχώς σε επαφή. Αυτός ακριβώς είναι και ο λόγος για τον οποίο η πλειομετρική συστολή μπορεί να προκαλέσει βλάβη και τραυματισμό στα μυοϊνίδια, ιδιαίτερα όταν εφαρμόζονται μεγάλα φορτία. Ένα παράδειγμα πλειομετρικής συστολής, αποτελεί η δράση του δικέφαλου βραχιόνιου μυός κατά την έκταση της άρθρωσης του αγκώνα και το κατέβασμα του αλτήρα. Το εξωτερικό φορτίο σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερο από την δύναμη που ασκεί ο μυς, κάτι που σημαίνει ότι οι εγκάρσιες γέφυρες παράγουν αρκετή δύναμη ώστε να μειώσουν τη ταχύτητα πτώσης του αλτήρα, αλλά όχι τόσο ώστε να αποτρέψουν την πτώση του ή να προκαλέσουν την ανύψωσή του.

Η μειομετρική συστολή είναι μία διαδικασία κατά την οποία ο μυς συμπεριφέρεται ακριβώς αντίθετα απ'ότι στην πλειομετρική συστολή. Χαρακτηριστικό αυτού του είδους συστολής είναι το γεγονός ότι κατά την σύσπασή του ο μυς βραχύνεται. Σε μοριακό επίπεδο, η βράχυνση του μυός οφείλεται στη δράση του κύκλου των εγκάρσιων γεφυρών, όπου οι γέφυρες της μυοσίνης προσδένονται στα λεπτά νημάτια της ακτίνης και με την κίνηση τους προκαλούν βράχυνση των σαρκομερίων. Οι διαδικασίες αυτές συμβαίνουν όταν η συνολική δύναμη που παράγει ο μυς ξεπερνά κάποια εξωτερική αντίσταση και την μετατοπίζει. Στο παράδειγμα του δικέφαλου βραχιόνιου λοιπόν, ο μυς συσπάται μειομετρικά, υπερνικά την εξωτερική αντίσταση του αλτήρα και κάμπει την άρθρωση του αγκώνα.

Η μεγάλη διαφορά της ισομετρικής συστολής από τα δύο προηγούμενα είδη, είναι το γεγονός ότι δεν παρατηρείται καθόλου κίνηση. Κατά την ισομετρική συστολή λοιπόν, το μήκος του ενεργοποιημένου μυός παραμένει αμετάβλητο, με αποτέλεσμα

να μην αλλάζει η γωνία της άρθρωσης. Παρόλο που δεν υπάρχει κίνηση κατά τη διάρκεια μίας ισομετρικής συστολής, είναι αυτονόητο ότι παράγεται δύναμη και ότι δραστηριοποιείται ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών. Ωστόσο, οι εγκάρσιες γέφυρες, αν και προσδεμένες στην ακτίνη, παραμένουν στην κανονική τους θέση, διότι η τάση που παράγουν είναι ίση με την εξωτερική αντίσταση. Στο παράδειγμα του δικέφαλου βραχιόνιου, όταν συσπάται ο μυς ισομετρικά διατηρεί τον αλτήρα σε σταθερή θέση, δίχως μεταβολή της γωνίας της άρθρωσης του αγκώνα.

2.2.2 Ισομετρική άσκηση

Με βάση τα είδη της μυϊκής συστολής διακρίνουμε δύο τύπους άσκησης, τη δυναμική και την ισομετρική ή στατική άσκηση. Η δυναμική άσκηση περιλαμβάνει ρυθμικές μειομετρικές (σύγκεντρες) και πλειομετρικές (έκκεντρες) συστολές που μεταβάλλουν το μήκος των μυών και τις γωνίες των αρθρώσεων. Εδώ κατατάσσονται σχεδόν όλες οι δραστηριότητες όπως το τρέξιμο, η ποδηλασία, η κολύμβηση ή ακόμα και η άσκηση με αντιστάσεις όταν εκτελείται με δυναμικές συστολές. Αντίθετα η ισομετρική άσκηση περιλαμβάνει μια παρατεταμένη ισομετρική μυϊκή συστολή κατά την οποία δεν μεταβάλλεται ούτε το μήκος των μυών ούτε οι γωνίες των αρθρώσεων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ισομετρικής άσκησης είναι οι σανίδες, οι γέφυρες, τα καθίσματα στον τοίχο, οι γυμναστικές ασκήσεις όπως το κατακόρυφο, οι κρίκοι κλπ.

Κοινό σημείο κάθε ισομετρικής συστολής είναι η απουσία κίνησης, η οποία συνεπάγεται μηδενική ταχύτητα κίνησης. Για αυτό είναι φανερό ότι η ισομετρική άσκηση εστιάζει πάντα στο σημείο αυτό της ταχοδυναμικής σχέσης του μυός όπου η ταχύτητα ισούται με μηδέν. Με βάση την ταχοδυναμική σχέση του μυός, όσο πιο γρήγορα συστέλλεται ένας μυς, τόσο πιο λίγη δύναμη παράγει. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα κίνησης είναι μέγιστη όταν το φορτίο είναι μηδενικό, ενώ όταν το φορτίο είναι μέγιστο ή ανυπέρβλητο, η ταχύτητα κίνησης είναι μηδενική και η συστολή γίνεται ισομετρικά. Σημαντικός παράγοντας στην ταχοδυναμική αυτή σχέση είναι αφενός οι προπονητικές προσαρμογές που έχει δεχτεί ένας μυς και αφετέρου η

κατανομή των μυϊκών ινών. Σύμφωνα με τους Gollnick και συνεργάτες (1974) στην ισομετρική συστολή, όπου η ταχύτητα της μυϊκής συστολής είναι μηδενική, δραστηριοποιούνται κυρίως οι γρήγορες μυϊκές ίνες. Για αυτό υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ μέγιστης ισομετρικής συστολής και ποσοστού μυϊκών ινών ταχείας συστολής (Tesch et al 1978).

Με βάση την μηκοδυναμική σχέση του μυός, η δύναμη που μπορεί να αναπτύξει ένας μυς εξαρτάται άμεσα από το αρχικό μήκος συστολής του μυός, το οποίο βέβαια κατά την ισομετρική συστολή παραμένει σταθερό. Για κάθε σκελετικό μυ υπάρχει ένα βέλτιστο αρχικό μήκος που του επιτρέπει να παράγει την μέγιστη ισομετρική δύναμη. Το βέλτιστο αυτό μήκος αντιστοιχεί περίπου στο μήκος ηρεμίας του μυός, οπότε όταν το αρχικό μήκος συστολής είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το μήκος ηρεμίας, η ισομετρική δύναμη που παράγεται είναι χαμηλότερη. Αυτή η αντίληψη επεκτείνεται και σε επίπεδο μυϊκών ομάδων, όπου οι ερευνητές συγκλίνουν στην ύπαρξη μιας βέλτιστης γωνίας για κάθε σωματικό μέλος, στην οποία οι αντίστοιχοι μύες αποδίδουν καλύτερα (Clarke, 1966 ; Kulig et al., 1984). Σύμφωνα με τον Clarke (1966), η μέγιστη ισομετρική δύναμη αποδίδεται από τους καμπτήρες της κνήμης όταν το γόνατο βρίσκεται σε γωνία 160° , ενώ από τους εκτεινόντες της κνήμης όταν το γόνατο βρίσκεται στις 120° . Αντίστοιχα, οι καμπτήρες του αντιβραχίου αποδίδουν τα μέγιστα όταν ο αγκώνας βρίσκεται σε γωνία 120° ενώ οι εκτεινόντες στις 40° . Τέλος, οι αντίστοιχες γωνίες του ισχίου που υποστηρίζει ο Clarke είναι 80° για τους καμπτήρες του ισχίου και 150° για τους εκτεινόντες.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά της ισομετρικής άσκησης είναι η αιτία που παρουσιάζονται κάποιες ιδιαιτερότητες στις νευρομυϊκές προσαρμογές. Πρακτικά, η πιο σημαντική ιδιαιτερότητα είναι το γεγονός ότι η μυϊκή δύναμη αυξάνεται κυρίως στη γωνία της άρθρωσης όπου εκτελείται η ισομετρική μυϊκή δράση. Χαρακτηριστικό είναι ότι με την ισομετρική άσκηση σε ορισμένη γωνία, παρατηρείται αύξηση της μυϊκής δύναμης και σε εκατέρωθεν γωνίες μέχρι 20% μόνο (Knapik et al 1983 , Graves et al 1989). Το φαινόμενο αυτό της εξειδίκευσης των

προσαρμογών στη γωνία προπόνησης αποδίδεται σε νευρικές προσαρμογές που σχετίζονται με την επιστράτευση των μυϊκών ινών και την αναστολή των ανταγωνιστών μυών (Thepaut-Mathieu et al 1988 , Weir et al 1994, Fleck et al 2004). Αυτή όμως η εξειδίκευση των προσαρμογών σε ορισμένη γωνία, σύμφωνα με τους Wilson και συνεργάτες (1996), είναι ο λόγος που η μέγιστη ισομετρική δύναμη δεν φαίνεται να έχει υψηλή συσχέτιση με την απόδοση σε αθλητικές δραστηριότητες.

Παρ' όλα αυτά η ισομετρική προπόνηση μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για τον ασκούμενο, αφού αποδεδειγμένα μπορεί να προκαλέσει αύξηση της μυϊκής δύναμης. Σημαντικοί παράγοντες για την αποτελεσματικότητα της ισομετρικής άσκησης είναι η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα της προπόνησης, μαζί βέβαια και με την γωνία που εκτελείται η μυϊκή δράση. Η ένταση της μυϊκής δράσης μπορεί να μετρηθεί είτε με την απόλυτη ένταση της συστολής είτε με το ποσοστό της μέγιστης εκούσιας συστολής του ατόμου (%MVC, maximal voluntary contraction). Μυϊκή συστολή μεγαλύτερη από το 15% της μέγιστης εκούσιας συστολής προκαλεί μηχανική στένωση των αιμοφόρων αγγείων και έτσι παρατηρείται ανεπαρκής αιμάτωση των μυών (Sejersted et al 1984 , Sjogaard et al 1988 , Gafney et al 1990), η οποία πυροδοτεί την πιο χαρακτηριστική καρδιαγγειακή απόκριση της ισομετρικής άσκησης, την αύξηση της αρτηριακής πίεσης. Διάφορες έρευνες λοιπόν έχουν δείξει ότι σημαντική αύξηση στη μυϊκή δύναμη μπορεί να επέλθει με υπομέγιστες ισομετρικές δράσεις (Alway et al 1990, Garfinkel et al 1992 , Lyle et al 1998) , όμως ακόμη πιο αποτελεσματική είναι η ισομετρική προπόνηση με μέγιστη δράση, η οποία προκαλεί περιφερικές νευρικές προσαρμογές που έχουν ως αποτέλεσμα την ταχύτερη μετάδοση του ενεργειακού δυναμικού στην κυτταρική μεμβράνη (Maffiuletti et al 2001). Όσον αφορά τη διάρκεια της προπόνησης, το καθοριστικό στοιχείο για την αύξηση της μυϊκής δύναμης είναι ο συνολικός χρόνος της μυϊκής δράσης. Φαίνεται ότι ο ρυθμός αύξησης της μυϊκής δύναμης είναι ταχύτερος όταν εκτελούνται υπομέγιστες μυϊκές δράσεις (70% 1-ME) μακράς διάρκειας λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης μεταβολιτών στους μύες, όπως τα ιόντα υδρογόνου και η ADP (Schott

et al 1995, Takarada et al 2000). Πάντως ο Fleck (2004), βάζοντας στην εξίσωση και την συχνότητα προπόνησης, υποστηρίζει ως αποτελεσματικότερο συνδυασμό τις μέγιστες ή σχεδόν μέγιστες ισομετρικές μυϊκές δράσεις διάρκειας 3-5 sec που επαναλαμβάνονται 15-20 φορές, τρεις ημέρες την εβδομάδα.

2.3 Είδη και αίτια μυϊκού κάματος

Ο μυϊκός κάματος, αποτελεί ένα πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο έχει απασχολήσει τον άνθρωπο από τα πολύ παλιά χρόνια. Ορίζεται ως η ασκησιογενής μείωση της μέγιστης ικανότητας για παραγωγή δύναμης ή ισχύος (Vollestad 1997). Αυτό σημαίνει ότι όταν η μυϊκή ίνα υπόκειται σε συνεχώς επαναλαμβανόμενη διέγερση, η αναπτυσσόμενη τάση μειώνεται αν και η διέγερση συνεχίζεται κανονικά. Φυσικό αποτέλεσμα του μυϊκού καμάτου, αποτελεί η μειωμένη ταχύτητα συστολής, καθώς επίσης και ο αργός ρυθμός χαλάρωσης του μυός.

Παρά τις διεξοδικές έρευνες και την συστηματική μελέτη της γενεσιουργού αιτίας του μυϊκού καμάτου, τόσο σε κυτταρικό όσο και σε μοριακό επίπεδο, η επιστημονική αντίληψη για το ζήτημα αυτό, παραμένει περίπου ίδια με αυτήν που διατυπώθηκε από τον Foster 1883: «Η κόπωση που αισθανόμαστε στο σώμα μας μετά από παρατεταμένη ή ασυνήθιστη μυϊκή προσπάθεια δεν είναι πλήρως κατανοητή. Κατ' αρχήν φαίνεται να είναι αποτέλεσμα μεταβολών στους μυς, πιθανόν όμως να προκαλείται και από νευρικές μεταβολές που σχετίζονται με την μυϊκή δράση και ειδικότερα με εκείνα τα τμήματα του νευρικού συστήματος που συνδέονται με την παραγωγή εκούσιων ώσεων. Σε κάθε περίπτωση η αίσθηση της κόπωσης αυτή καθαυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκές μέτρο του πραγματικού μυϊκού καμάτου, αφού όταν κάποιος που αισθάνεται κουρασμένος μέχρι εξάντλησης μπορεί μετά από διέγερση να εκτελέσει και άλλο έργο με τους ήδη εξουθενωμένους μυς του. Η θέληση σπάνια επιβάλλει στους μυς να φτάσουν στα όριά τους.»

Ο κάματος, διακρίνεται στον κεντρικό και τον περιφερικό. Ο διαχωρισμός μεταξύ των δύο ειδών καμάτου, έγκειται στη νευρομυϊκή σύναψη. Ο κεντρικός κάματος,

αναφέρεται στην αδυναμία του εγκεφάλου να μεταφέρει σήμα διέγερσης στον μυ. Ο περιφερικός κάματος αναφέρεται αποκλειστικά στον μυ και την αδυναμία του να ενεργοποιηθεί. Οποιοσδήποτε αδύναμος κρίκος της αλυσιδωτής πορείας της συστολής του μυός, από το διεγερτικό σήμα του εγκεφαλικού φλοιού που παράγεται η κεντρική εντολή, μέχρι τις εγκάρσιες γέφυρες των μυοϊνιδίων που παράγεται η δύναμη, μπορεί να οδηγήσει στην εκδήλωση του καμάτου. Έρευνες ωστόσο συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι οι κύριες πηγές καμάτου εντοπίζονται μέσα στον μυ (Fitts 1994).

Δυνητικές πηγές κεντρικού καμάτου είναι η μειωμένη ικανότητα του εγκεφαλικού φλοιού να στείλει νευρικές ώσεις στους κινητικούς νευρώνες και η αντανακλαστική αναστολή των κεντρικών εντολών από μυϊκούς αισθητήρες. Πηγές περιφερικού καμάτου μπορεί να είναι η μειωμένη διεγερσιμότητα του σαρκειλλήματος, η αποτυχία ζεύξης διέγερσης-συστολής λόγω ανεπαρκούς απελευθέρωσης ασβεστίου, η αδρανοποίηση του κύκλου των εγκάρσιων, η έλλειψη μεταβολικής ενέργειας και η συσσώρευση μεταβολιτών (Fitts 1996).

Όλες αυτές οι κεντρικές και περιφερικές δυσλειτουργίες μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται και εξαρτώνται από την ένταση, την διάρκεια και το είδος της άσκησης, καθώς επίσης και από το επίπεδο φυσικής κατάστασης του ατόμου. Αν για παράδειγμα η άσκηση είναι μεγάλης διάρκειας και μέτριας έντασης, η αιτία εμφάνισης του καμάτου μπορεί να είναι η εξάντληση των αποθεμάτων του μυϊκού γλυκογόνου, η υπογλυκαιμία ή η υπερθερμία και η αφυδάτωση. Οι παραπάνω δεν μπορούν να είναι γενεσιουργές αιτίες σε μία φυσική δραστηριότητα μικρής διάρκειας αλλά μέγιστης έντασης.

2.4 Οξυγόνωση των Σκελετικών Μυών

Για την ομαλή λειτουργία κάθε μυϊκού κυττάρου και τη διατήρηση της οξεοβασικής ισορροπίας είναι απαραίτητη η παρουσία οξυγόνου. Όταν το οξυγόνο φτάνει στα μυϊκά κύτταρα, καταναλώνεται στα μιτοχόνδρια και από την καύση του παράγεται η

απαιτούμενη ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται η ανάλογη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται κυτταρική αναπνοή και συμβαίνει φυσιολογικά σε κατάσταση ηρεμίας ή σε υπομέγιστες και παρατεταμένες προσπάθειες, όπου η προσφορά του οξυγόνου είναι επαρκής. Υπεύθυνα για την προσφορά του οξυγόνου στα κύτταρα είναι τόσο το αναπνευστικό όσο και το καρδιαγγειακό σύστημα. Τα δύο αυτά συστήματα συνεργάζονται ώστε να μεταφέρεται το οξυγόνο από την ατμόσφαιρα στα μιτοχόνδρια αλλά και να αποβάλλεται το διοξείδιο του άνθρακα που είναι το πιο διαδεδομένο παραπροϊόν του οξυγονικού μεταβολισμού. Το αναπνευστικό σύστημα είναι κυρίως υπεύθυνο για την εισπνοή και την εκπνοή, την μετακίνηση δηλαδή οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα από το εξωτερικό περιβάλλον προς τους πνεύμονες και το αντίστροφο. Στους πνεύμονες γίνεται η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων μεταξύ κυψελίδων και πνευμονικών τριχοειδών και στη συνέχεια αναλαμβάνει το καρδιαγγειακό σύστημα, το οποίο μεταφέρει το οξυγόνο από τους πνεύμονες στους ιστούς και το διοξείδιο του άνθρακα από τους ιστούς στους πνεύμονες.

Για να φτάσει λοιπόν το απαραίτητο οξυγόνο σε έναν σκελετικό μυ ακολουθείται μια σειρά από στάδια, τα οποία είναι τα ίδια και προς την αντίθετη κατεύθυνση όταν ο οργανισμός αποβάλλει το διοξείδιο του άνθρακα. Το πρώτο στάδιο αφορά την μεταφορά των αναπνευστικών αερίων από το εξωτερικό περιβάλλον στις κυψελίδες και το αντίστροφο, μεταφορά η οποία γίνεται μέσα από κάποιους σωλήνες (φάρυγγας, λάρυγγας, τραχεία, βρόγχοι, βρογχιόλια) που ονομάζονται αεραγωγοί. Αυτή η διαδικασία εκτελείται από τους πνεύμονες που λειτουργούν σαν μια αναπνευστική αντλία, η οποία όμως δεν κινείται ενεργά από μόνη της αλλά ρυθμίζεται από δύο μηχανισμούς. (α) Η κίνηση του διαφράγματος προς τα κάτω και προς τα πάνω επεκτείνει ή μικραίνει τη θωρακική κοιλότητα αντίστοιχα και (β) οι αναπνευστικοί μύες προκαλούν ανύψωση και πτώση των πλευρών και έτσι αντίστοιχα αυξάνεται ή μειώνεται η προσθιοπίσθια διάμετρος της θωρακικής κοιλότητας. Αυτή η μεταβολή των διαστάσεων της θωρακικής κοιλότητας επηρεάζει

κάθε φορά την κυψελιδική πίεση και όπως ξέρουμε από τους νόμους της χημείας και της φυσικής, ο αέρας (όπως και το αίμα) μετακινείται με ροή όγκου από μια περιοχή υψηλής πίεσης προς μια περιοχή χαμηλής πίεσης. Συνεπώς, όταν η κυψελιδική πίεση είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, έχουμε εκπνοή του πλούσιου σε διοξείδιο του άνθρακα αέρα προς το περιβάλλον, ενώ όταν είναι μικρότερη έχουμε εισπνοή του πλούσιου σε οξυγόνο αέρα προς τις κυψελίδες.

Η λειτουργία λοιπόν των πνευμόνων είναι να φέρνουν τον αέρα σε στενή επαφή με το αίμα που κυκλοφορεί στα πνευμονικά τριχοειδή για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων. Αυτή η πρώτη ανταλλαγή αερίων γίνεται μεταξύ κυψελίδων και αίματος. Από εκείνο το σημείο μεσολαβεί το κυκλοφορικό σύστημα που μεταφέρει το οξυγονωμένο και το αποξυγονωμένο αίμα από και προς τους ιστούς και έπειτα έχουμε μια δεύτερη ανταλλαγή αερίων μεταξύ ιστών και αίματος. Όλες οι ανταλλαγές αερίων γίνονται με διάχυση και η κατεύθυνση της διάχυσης του κάθε αερίου, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι από μια περιοχή όπου η μερική πίεσή του είναι υψηλή προς μια περιοχή όπου είναι χαμηλή. Ο ρυθμός διάχυσης των αναπνευστικών αερίων εξαρτάται από το μέγεθος της επιφάνειας διάχυσης αλλά και τη διαφορά της μερικής πίεσης του κάθε αερίου μεταξύ των δύο περιοχών διάχυσης. Στο επίπεδο των πνευμόνων, η ανταλλαγή των αερίων γίνεται μεταξύ κυψελίδων και αίματος και εξαρτάται από την διαφορά των μερικών πιέσεων του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στις δύο πλευρές της κυψελιδοτριχοειδικής μεμβράνης. Το αίμα που εισέρχεται στα πνευμονικά τριχοειδή προέρχεται από τους ιστούς και είναι αίμα της φλεβικής κυκλοφορίας, πράγμα που σημαίνει ότι έχει υψηλή μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα και χαμηλή μερική πίεση οξυγόνου. Έτσι, προκαλείται διάχυση οξυγόνου από τις κυψελίδες στο αίμα και διοξειδίου του άνθρακα από το αίμα στις κυψελίδες. Κατά τον ίδιο τρόπο συμβαίνει και η ανταλλαγή των αερίων μεταξύ ιστών και αίματος. Το αρτηριακό αίμα που εισέρχεται στα ιστικά τριχοειδή του σώματος είναι πλούσιο σε οξυγόνο. Αντίθετα η μερική πίεση του οξυγόνου μέσα στα κύτταρα είναι

χαμηλή επειδή κατά τις μεταβολικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στα μιτοχόνδρια καταναλώνεται συνεχώς οξυγόνο και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Έτσι ευνοείται η καθαρή διάχυση οξυγόνου από το αίμα στα κύτταρα και διοξειδίου του άνθρακα από τα κύτταρα στο αίμα.

Για να πραγματοποιηθούν όλες αυτές οι ανταλλαγές των αναπνευστικών αερίων και να λειτουργούν όλα ομαλά, πολύ σημαντικός είναι ο ρόλος του κυκλοφορικού συστήματος. Δύο από τις πιο βασικές λειτουργίες του αίματος είναι η μεταφορά του οξυγόνου από τους πνεύμονες προς τους ιστούς για να χρησιμοποιηθεί στον κυτταρικό μεταβολισμό και η απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα από τους ιστούς προς τους πνεύμονες ώστε να το αποβάλει ο οργανισμός με την εκπνοή. Επειδή θα απαιτούνταν τεράστιες και ανέφικτες ποσότητες αίματος για να μεταφερθούν το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα στη διαλυτή τους μορφή, μεταφέρονται οικονομικότερα και αποτελεσματικότερα κυρίως σε χημικές ενώσεις μέσα στο αίμα. Χαρακτηριστικό είναι ότι πάνω από το 98% του οξυγόνου μεταφέρεται μέσα στα ερυθροκύτταρα, συνδεδεμένο αναστρέψιμα με την αιμοσφαιρίνη, και μόνο μια μηδαμινή ποσότητα μεταφέρεται διαλυμένη στο πλάσμα. Η αιμοσφαιρίνη είναι μια πρωτεΐνη που αποτελείται από τέσσερα μόρια αίμης και το καθένα από αυτά περιέχει ένα άτομο σιδήρου το οποίο συνδέεται με τα μόρια οξυγόνου. Δεδομένου ότι κάθε άτομο σιδήρου μπορεί να δεσμεύσει ένα μόριο οξυγόνου, κάθε μόριο αιμοσφαιρίνης μπορεί να δεσμεύσει τέσσερα μόρια οξυγόνου. Έτσι, η αιμοσφαιρίνη συναντάται σε δύο μορφές. Οξυαιμοσφαιρίνη ονομάζεται η μορφή της αιμοσφαιρίνης που έχει δεσμευμένο οξυγόνο και αντίθετα η αποξυγονωμένη μορφή της ονομάζεται δεοξυαιμοσφαιρίνη. Παρομοίως το διοξείδιο του άνθρακα, παρά το ότι είναι 20 φορές περισσότερο διαλυτό στο αίμα από το οξυγόνο, πρέπει να μεταφερθεί με άλλες μορφές. Μόνο ένα 10% του διοξειδίου του άνθρακα μεταφέρεται διαλυτό στο αίμα ως φυσικό διάλυμα. Το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα (60%) μεταφέρεται με τη μορφή διττανθρακικών ιόντων μέσα στο αίμα και περίπου το 30% μεταφέρεται με την καρβαμινοαιμοσφαιρίνη, η

οποία σχηματίζεται από αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη που δεσμεύει διοξείδιο του άνθρακα.

Κατά την άσκηση το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα πρέπει να προσαρμοστούν στην αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα των κυττάρων. Αυτή η αύξηση στη μεταβολική δραστηριότητα των κυττάρων συνεπάγεται αυξημένη ανάγκη για οξυγόνο στους ιστούς αλλά και μεγαλύτερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα που πρέπει να απομακρυνθούν ώστε να διατηρηθεί η οξεοβασική ισορροπία. Πρέπει λοιπόν, ανάλογα την ένταση και τις απαιτήσεις της άσκησης, να γίνουν οι κατάλληλες καρδιοαναπνευστικές προσαρμογές και μία από τις σημαντικότερες είναι η ταχύτερη μεταφορά των αναπνευστικών αερίων από τους πνεύμονες προς τους ιστούς και το αντίστροφο.

2.4.1 Οξυγόνωση Κατά την Άσκηση - Φάσεις Μυϊκής Προσπάθειας

Ο ανθρώπινος οργανισμός, για να διατηρήσει τις ζωτικές του λειτουργίες, χρειάζεται ενέργεια την οποία παίρνει από το οξυγόνο που διαθέτει το οποίο χρησιμεύει στην αερόβια διάσπαση της γλυκόζης. Σε κατάσταση ηρεμίας η πρόσληψη και η κατανάλωση οξυγόνου βρίσκεται στην χαμηλότερη τιμή της (περίπου $\frac{1}{4}$ του λίτρου). Όταν ξεκινάει η μυϊκή προσπάθεια, δημιουργούνται νέες ενεργειακές απαιτήσεις, ανάλογες με την ένταση της. Για τον λόγο αυτό, με την έναρξη μίας μυϊκής προσπάθειας, διακρίνουμε τρεις φάσεις ενεργειακής δαπάνης, οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους από την πρόσληψη οξυγόνου σε κάθε φάση. Σε γενικές γραμμές, στην αρχή της άσκησης η πρόσληψη οξυγόνου αυξάνεται, έτσι ώστε να ανταπεξέλθει ο οργανισμός στις νέες ενεργειακές απαιτήσεις. Στην συνέχεια, υπάρχει σταθεροποίηση της πρόσληψης οξυγόνου και η προσπάθεια του οργανισμού για ισοστάθμιση της τιμής των ενεργειακών απαιτήσεων και του παρεχόμενου οξυγόνου. Τέλος, μετά την άσκηση η πρόσληψη οξυγόνου μειώνεται σταδιακά, μέχρι να φτάσει τελικά στην τιμή που επικρατεί στην κατάσταση ηρεμίας. Ωστόσο, η σειρά και οι διεργασίες του οργανισμού και της πρόσληψης οξυγόνου, εξαρτώνται και διαφέρουν

σε μεγάλο βαθμό από την διάρκεια αλλά κυρίως από την ένταση της άσκησης. Παρακάτω αναλύεται ξεχωριστά η κάθε μία από τις ενεργειακές φάσεις της μυϊκής προσπάθειας :

Μεταβατική φάση - έλλειμα οξυγόνου

Στην μεταβατική φάση, παρατηρείται το φαινόμενο της έλλειψης οξυγόνου. Η έλλειψη οξυγόνου, ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της πρόσληψης οξυγόνου κατά τα πρώτα λεπτά της άσκησης και του απαιτούμενου οξυγόνου κατά την περίοδο αυτή. Είναι φυσικό ότι οι ενεργειακές απαιτήσεις και η διάρκεια κατά την οποία θα επικρατεί αυτή η έλλειψη οξυγόνου, είναι δύο παράγοντες που εξαρτώνται από την ένταση της άσκησης. Οι λόγοι για τους οποίους ο οργανισμός δεν παίρνει την ενέργεια που χρειάζεται από το οξυγόνο κατά την έναρξη της άσκησης είναι δύο. Πρώτον, η αυξημένη ανάγκη για ταχεία και μεγαλύτερη μεταφορά οξυγόνου στους ιστούς, θα καλυφθεί μέσω καρδιοαναπνευστικών προσαρμογών, οι οποίες χρειάζονται χρόνο για να πραγματοποιηθούν. Δεύτερον, οι αερόβιες πολυενζυματικές διεργασίες που πραγματοποιούνται μέσα στα μυϊκά κύτταρα δρουν με αργό ρυθμό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα προπονημένα άτομα έχουν μικρότερο έλλειμα οξυγόνου για την ίδια ένταση άσκησης, από ότι τα απροπόνητα (Hickson et al 1978, Powers et al 1985). Το έλλειμα που περιγράφηκε παραπάνω, καλύπτουν στα αρχικά λεπτά της άσκησης , η διάσπαση της φωσφοκρεατίνης σε ήπιας και μέτριας έντασης άσκησης, ενώ σε υψηλής έντασης, η παραγωγή γαλακτικού (Bangsbo et al., 1990; Scott et al., 1991; Barstow et al., 1994).

Φάση Σταθεροποίησης - Ισοστάθμιση Οξυγόνου

Η αμέσως επόμενη ενεργειακή φάση μυϊκής προσπάθειας είναι η φάση της ισοστάθμισης οξυγόνου ή αλλιώς σταθεροποίησης. Ορίζεται ως η ταύτιση (ή η προσπάθεια ταύτισης) της τιμής του προσλαμβανόμενου και του απαιτούμενου οξυγόνου όσον αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις της άσκησης. Εξακολουθεί όμως, όπως ακριβώς και στην πρώτη φάση, να εξαρτάται η ενεργειακή κάλυψη μέσω

οξυγόνου, από την ένταση της άσκησης. Αυτό σημαίνει ότι μόνο στην χαμηλής και μέτριας έντασης μυϊκή προσπάθεια, συμβαίνει πραγματική ισοστάθμιση απαιτούμενου και προσλαμβανόμενου οξυγόνου. Όσο εντονότερη η μυϊκή προσπάθεια, τόσο μεγαλύτερη και η ανάγκη του οργανισμού για κατανάλωση οξυγόνου. Σε μεγαλύτερες λοιπόν εντάσεις, όπως αναφέρουν ο Bangsbo και οι συνεργάτες του (1990), παρατηρείται μία φαινομενική ισοστάθμιση, αφού στην πραγματικότητα η οξυγονική απαίτηση δεν ισοσταθμίζεται με την οξυγονική κατανάλωση. Επόμενες έρευνες συμφωνούν με το παραπάνω, έχοντας ανακαλύψει, ότι σε περιπτώσεις που η προσπάθεια ξεπερνά το αναερόβιο κατώφλι δεν υπάρχει πραγματική ισοστάθμιση οξυγόνου. Η πρόσληψη οξυγόνου συνεχίζει να αυξάνεται με αργό ρυθμό και μπορεί να υπερβεί τις απαιτήσεις αυτού καθ' αυτού του μυϊκού έργου, ένα φαινόμενο που αποκαλείται αργή συνιστώσα της οξυγονικής κινητικής. Οι ερευνητές, αποδίδουν το φαινόμενο αυτό, σε παράγοντες όπως η αυξανόμενη θερμοκρασία του σώματος, το πρόσθετο ενεργειακό κόστος των αναπνευστικών μυών, τη μεγαλύτερη επιστράτευση μυϊκών ινών ταχείας συστολής και την μετακίνηση του ενεργειακού μεταβολισμού από τα λίπη στους υδατάνθρακες (Gaesser et al 1996, Bartow et al 1996). Τέλος, ένα παρόμοιο φαινόμενο, κατά το οποίο δεν υπάρχει ισοστάθμιση οξυγόνου, παρατήρησε και ο Kalis με τους συνεργάτες του (1988), σε προσπάθειες που δεν ξεπερνούν το αναερόβιο κατώφλι, αλλά έχουν παρατεταμένη διάρκεια, κάτι που οφείλεται στην αύξηση του πνευμονικού αερισμού και στις κατεχολαμίνες.

Φάση Αποκατάστασης - Περίσσεια Οξυγόνου

Η φάση της αποκατάστασης αφορά την πρόσληψη οξυγόνου μετά από την άσκηση και για όσο χρόνο κάνει ο οργανισμός να επιστρέψει στην κατάσταση ηρεμίας. Η πρόσληψη οξυγόνου, μετά την άσκηση παραμένει αυξημένη, ενώ το διάστημα για το οποίο παραμένει αυξημένη εξαρτάται από την ένταση της άσκησης (Gore and Winters 1990). Αν η άσκηση είναι ήπιας ή μέτριας έντασης, η φάση της

αποκατάστασης μπορεί να διαρκεί μερικά μόνο λεπτά, ενώ αν είναι υψηλής έντασης έως και εξάντλησης, μπορεί να διαρκέσει έως και 24 ώρες.

Ένα ζήτημα που έχει απασχολήσει τους ερευνητές ανά τα χρόνια, είναι η χρησιμότητα του περίσσειου οξυγόνου που φαίνεται να παραμένει σε υψηλά επίπεδα ακόμη και μετά το τέλος της άσκησης. Αρχικά υπήρχε η άποψη που υποστήριζε, ότι η περίσσεια οξυγόνου που συμβαίνει κατά την αποκατάσταση, χρησιμεύει για να αντιστρέψει τις αναερόβιες διεργασίες που συνέβησαν κατά την άσκηση και να απομακρύνει το γαλακτικό οξύ που συσσωρεύτηκε, μετατρέποντάς το σε γλυκογόνο (A.V Hill et al 1924). Επόμενες όμως έρευνες παρατήρησαν ότι η περίσσεια οξυγόνου κατά την αρχή της αποκατάστασης δεν μπορεί να συνδέεται με την μετατροπή του γαλακτικού σε γλυκογόνο, για τον λόγο ότι κατά το στάδιο αυτό η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα παραμένει αμετάβλητη. Επιπλέον, σε ήπιας έντασης άσκηση δεν παράγεται καθόλου γαλακτικό, όμως υπάρχει περίσσεια οξυγόνου κατά την αποκατάσταση. Με βάση τις δύο αυτές παρατηρήσεις οι ερευνητές Margaria, Edwards and Dill (1933), έφτασαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν δύο συνιστώσες που χαρακτηρίζουν την περίσσεια οξυγόνου κατά την αποκατάσταση. Αυτές είναι η βραδεία και η ταχεία συνιστώσα. Η ταχεία διαρκεί περίπου 2 με 3 λεπτά μετά την άσκηση και συνδέεται με την επανασύνθεση της μυϊκής τριφωσφορικής αδενοσίνης και φωσφοκρεατίνης, καθώς επίσης και με την αναπλήρωση των αποθηκών οξυγόνου που κενώθηκαν κατά την μυϊκή προσπάθεια. Η βραδεία συνιστώσα της περίσσειας οξυγόνου διαρκεί πολύ περισσότερο συγκριτικά με την ταχεία, και συγκεκριμένα περισσότερο από δύο ώρες. Μετά από έντονη προσπάθεια, το οξυγόνο χρησιμεύει και για την μετατροπή ενός μέρους του γαλακτικού (20%) σε γλυκογόνο, μία διαδικασία που διαρκεί περίπου μία ώρα (Bahr 1992, MacRae et al 1992). Φαίνεται να αφορά επιπλέον, τις αυξημένες φυσιολογικές λειτουργίες, όπως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος και ο αυξημένος μεταβολισμός λόγω αναπνευστικών, καρδιαγγειακών, θερμικών, ορμονικών και ιοντικών προσαρμογών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αερόβια προπόνηση φαίνεται να

συντομεύει την διάρκεια της βραδείας συνιστώσας (Bahr 1992, Gore and Withers 1990, Quinn et al 1994, Short and Sedlock 1997).

2.5 Συσσκευή NIRS INVOS

Η συσκευή NIRS INVOS δημιουργήθηκε από την εταιρεία Somanetics Corporation το 1982 και είναι μία ιατρική συσκευή που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ποσότητας οξυγόνου σε ιστό του σώματος σε πραγματικό χρόνο. Πλέον διατίθεται από την εταιρεία Medtronic. Η συσκευή λειτουργεί με μία μη επεμβατική τεχνική που χρησιμοποιεί το φως για την μέτρηση των επιπέδων οξυγόνου στους ιστούς. Χρησιμοποιείται συνήθως σε νοσοκομεία κατά την διάρκεια χειρουργείων ή σε μονάδες εντατικής θεραπείας για την παρακολούθηση των επιπέδων οξυγόνου ασθενών στον εγκέφαλο και άλλους ιστούς. Η συσκευή NIRS INVOS λειτουργεί εκπέμποντας φως κοντά στο υπέρυθρο φάσμα στον ιστό και μετρώντας την ποσότητα του φωτός που απορροφάται και που αντανακλάται πίσω. Η ποσότητα του αντανακλώμενου φωτός σχετίζεται με τον κορεσμό οξυγόνου του ιστού, ο οποίος εμφανίζεται στην οθόνη συσκευής για την παρακολούθηση από το ιατρικό προσωπικό.

Το μηχάνημα NIRS INVOS αποτελείται από δύο βασικά μέρη: τον αισθητήρα προβολής φωτός και την οθόνη παρακολούθησης.

Ο αισθητήρας προβολής φωτός είναι ο μη επεμβατικός αισθητήρας που τοποθετείται στο δέρμα του ασθενούς πάνω από την περιοχή του ενδιαφέροντος (**Εικόνα 1**). Είναι δυνατή η μέτρηση έως και 4 θέσεων ταυτόχρονα. Διαθέτει μία πηγή LED που εκπέμπει φως κοντά στο υπέρυθρο φάσμα και διαθέτει επίσης δύο ανιχνευτές οι οποίοι μετρούν την ποσότητα του φωτός που απορροφάται και αντανακλάται από τον ιστό.



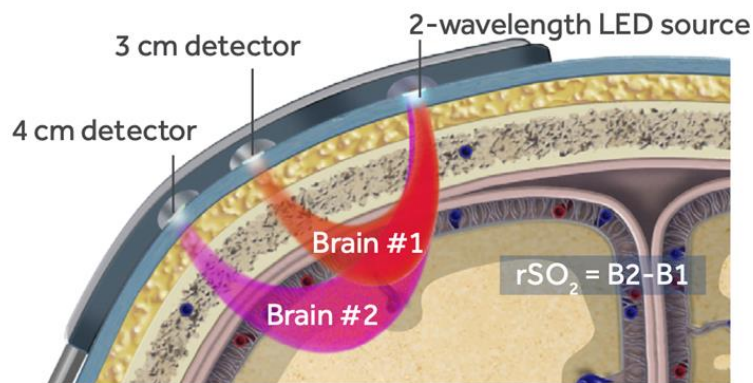
Εικόνα 2.1. Αισθητήρες φωτός.

Η οθόνη παρακολούθησης είναι η συσκευή που εμφανίζει τα αποτελέσματα της μέτρησης του αισθητήρα φωτός (**Εικόνα 2**). Τα αποτελέσματα μπορούν να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή να παρακολουθείται ο κορεσμός του οξυγόνου των ιστών σε διάφορες περιοχές του σώματος όπως ο εγκέφαλος και οι μυς.



Εικόνα 2.2. Η συσκευή INVOS 7100 Regional Oximeter (Medtronic).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από το μηχάνημα για την μέτρηση του οξυγόνου στους ιστούς είναι η φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και βασίζεται στην απορρόφηση του φωτός από τον ιστό καθώς επίσης και την αλλαγή της απορρόφησης του φωτός ανάλογα με το αν ο ιστός περιέχει οξυγόνο ή όχι. Η συσκευή εκπέμπει από μια πηγή LED δύο διαφορετικά κύματα φωτός μέσω δύο ξεχωριστών καλωδίων τοποθετημένων στο δέρμα πάνω από την περιοχή που εξετάζεται ο ιστός. Το ένα κύμα είναι ευαίσθητο στο οξυγόνο και το άλλο στο νερό. Τα φωτόνια από τα κύματα απορροφούνται από τον ιστό και επιστρέφουν ως διασκορπία φωτός στους δύο ανιχνευτές που βρίσκονται 3 και 4 cm περιφερικότερα (Εικόνα 3). Η διαφορά μεταξύ των δύο θέσεων είναι ο δείκτης rSO₂, ο οποίος συμβολίζει τον περιοχικό κορεσμό του οξυγόνου (regional oxygen saturation – rSO₂). Μετρώντας δηλαδή το ποσοστό της απορρόφησης των δύο κυμάτων φωτός και συγκρίνοντας τα με το φάσμα απορρόφησης του οξυγόνου και του νερού, η συσκευή μπορεί να υπολογίσει τον κορεσμό του οξυγόνου στον ιστό που εξετάζεται.



Εικόνα 2.3. Μέθοδος λειτουργίας της συσκευής INVOS.

Η συσκευή NIRS INVOS έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε μία ποικιλία ερευνών σε διάφορους τομείς της ιατρικής αλλά και όχι μελέτες αθλητικού περιεχομένου που ασχολήθηκαν με την οξυγόνωση του μυός. Στον χώρο του αθλητισμού και της εργοφυσιολογίας έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες άλλες συσκευές παρόμοιας τεχνολογίας. Επειδή είναι μία μη επεμβατική μέθοδος που παρέχει πληροφορίες για

την μυϊκή οξυγόνωση σε πραγματικό χρόνο, η συσκευή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές έρευνες με σκοπό να παρατηρηθεί το πώς μεταβάλλει τη μυϊκή οξυγόνωση το κάθε είδος άσκησης αλλά και τι ρόλο μπορεί να παίζουν οι διάφορες συνθήκες άσκησης. Ερευνητές λοιπόν έχουν χρησιμοποιήσει την υπέρυθρη φασματοσκοπία για να παρατηρήσουν τις μεταβολές του οξυγόνου με πρωτόκολλα άσκησης με αυξανόμενη ένταση (Rooks et al 2010, Paredes-Ruiz et al 2020), πιο συγκεκριμένα ακόμη και με πρωτόκολλα στατικής ποδηλασίας με αυξανόμενη ένταση (Ganesan et al 2016, Thiel et al 2011), αλλά και κατά τη διάρκεια ασκήσεων με αντιστάσεις (Wickerson et al 2020, Miranda-Fuentes et al 2021). Πέρα από αυτό όμως, η συσκευή Nirs μας έχει δώσει σημαντικές πληροφορίες όσον αφορά την μυϊκή οξυγόνωση υπό ασυνήθιστες συνθήκες άσκησης. Η Marshall και οι συνεργάτες της (2018) παρατήρησαν το πως επηρεάζεται η μυϊκή οξυγόνωση κατά τη διάρκεια της άσκησης σε πολύ ψυχρό περιβάλλον, ενώ άλλοι ερευνητές έκαναν παρόμοιες παρατηρήσεις σε περιβάλλον υποξίας (Willis et al 2017, Horiuchi et al 2017) ή σε συνθήκες εκούσιου υποαερισμού (Lapointe et al 2020). Τέλος, αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί και για τη διερεύνηση των προσαρμογών που μπορεί να προκαλέσουν κάποια προπονητικά προγράμματα. Για παράδειγμα οι Vasquez-Bonilla et al. (2021) διερεύνησαν τις μεταβολές στον κορεσμό του οξυγόνου σε κατάσταση ηρεμίας πριν και μετά την περίοδο προετοιμασίας ποδοσφαιριστών. Σε άλλη έρευνα αποδείχθηκε η βελτίωση κάποιων παραμέτρων της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας μέσω της αύξησης της ικανότητας οξυγόνωσης των μυών έπειτα από 6 εβδομάδες διαλειμματικής προπόνησης σε φυσικά δραστήριους φοιτητές (Caen et al 2019).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δείγμα

Στην μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 10 νεαροί ενήλικες, 5 άνδρες και 5 γυναίκες ηλικίας 20-24 ετών. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν ενεργοί αθλητές και αθλήτριες προερχόμενοι από διαφορετικά αθλήματα, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν οξύ ή χρόνια άλγος στα κάτω άκρα, δεν έχουν ιστορικό κάκωσης ή τραυματισμού στα κάτω άκρα και κανένας δεν παρουσιάζει άλλα συστηματικά προβλήματα υγείας.

3.2 Όργανα μέτρησης

- Μεζούρα για την μέτρηση της περιμέτρου της γαστροκνημίας
- Ψηφιακό χρονόμετρο
- Συσκευή μέτρησης μυϊκής οξυγόνωσης NIRS INVOS

3.3 Περιγραφή διαδικασιών

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε κατόπιν έγκριση της ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΒΙΟΗΘΙΚΗΣ της ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ με αριθμό έγκρισης 12/6/2022 1441/14-12-2022.

Οι δοκιμαζόμενοι ενημερώθηκαν για την διαδικασία της έρευνας και υπέγραψαν συγκατάθεση ότι συμφωνούν να λάβουν μέρος. Καταγράφηκαν το ύψος, το βάρος, και η διάμετρος της αριστερής και της δεξιάς γαστροκνημίας.

Ακολούθως όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε δοκιμασία μέγιστης ισομετρικής κόπωσης του γαστροκνημίου μυός. Η μυϊκή οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μετρήθηκε με την συσκευή NIRS Invos.

Έγινε τοποθέτηση των αισθητήρων της συσκευής στα κάτω άκρα στη μεσότητα της έσω κεφαλής του γαστροκνημίου μυός αμφοτερόπλευρα. Η μεταβολή της μυϊκής οξυγόνωσης καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο και παρακολουθείται ο δείκτης ιστικής αγγείωσης rSO₂.

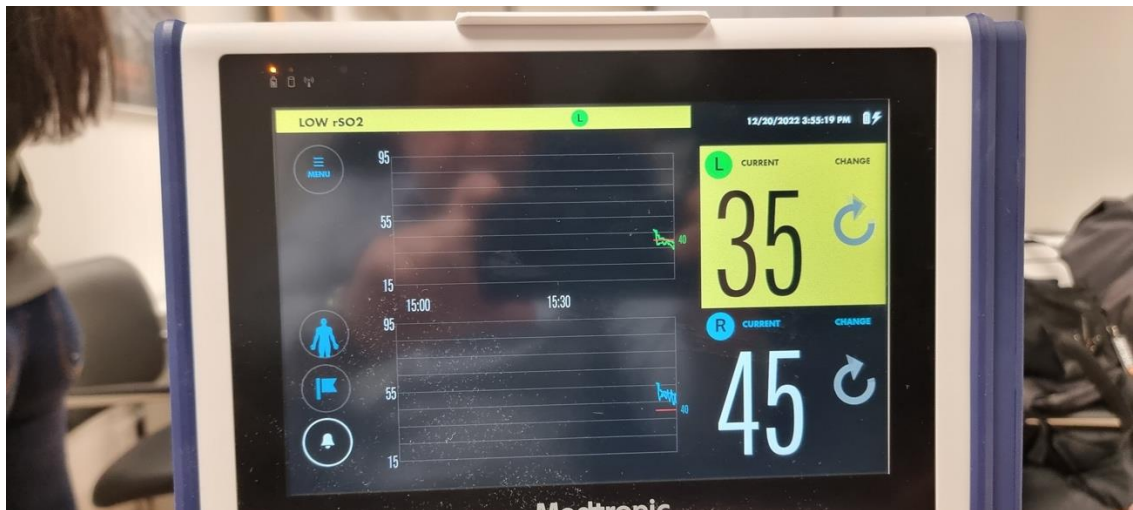
Μετά από διαδικασία προθέρμανσης και διατάσεων των γαστροκνημίων, ζητήθηκε από τους δοκιμαζόμενους να πραγματοποιήσουν μέγιστη πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής αμφοτερόπλευρα ενώ με το δεξί χέρι στηρίζονταν στον τοίχο για διατήρηση της ισορροπίας και αποφυγή της πρώιμης διακοπής της εξέτασης. Καταγράφηκε ανά 30 δευτερόλεπτα η κόπωση του εξεταζόμενου με την χρήση της κλίμακας Borg. Η εξέταση θα διακοπεί όταν ο εξεταζόμενος εξαντληθεί ή όταν η πτέρνα ακουμπήσει το έδαφος.



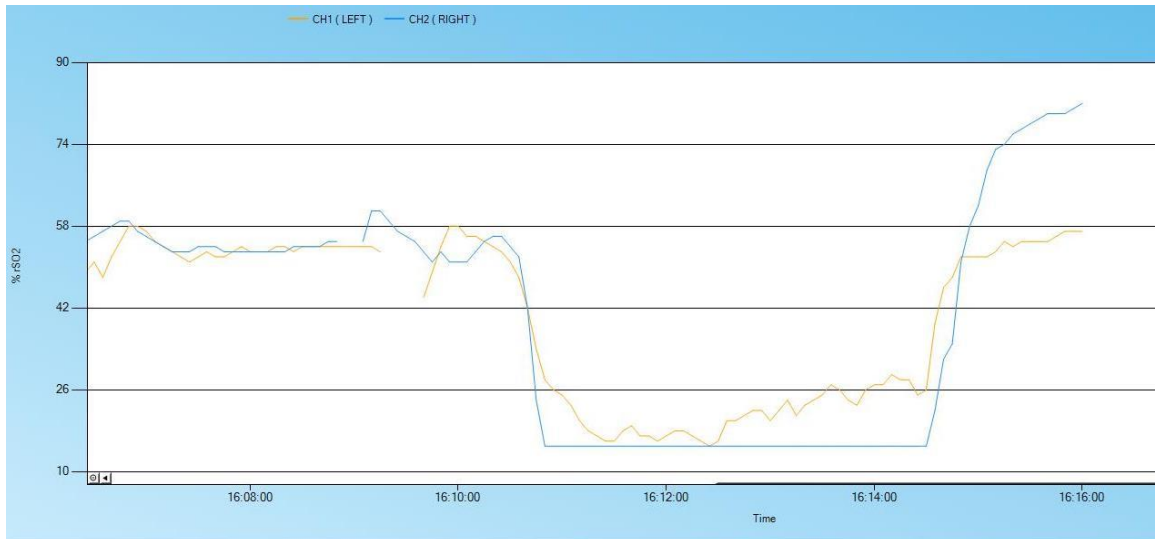
Εικόνα 3.1. Ο αισθητήρας της συσκευής NIRS INVOS.



Εικόνα 3.2. Οι αισθητήρες τοποθετούνται στις έσω κεφαλές των γαστροκνημίων μυών αμφοτερόπλευρα και ο εξεταζόμενος κάμπει την ποδοκνημική με την δράση των γαστροκνημίων μυών και παραμένει στη θέση αυτή.



Εικόνα 3.3. Η οθόνη της συσκευής μέτρησης στην οποία παρουσιάζονται οι μετρήσεις και για τους δύο γαστροκνημίους.



Διάγραμμα 3.1. Απεικόνιση των μετρήσεων της αγγείωσης του γαστροκνημίου μύος αμφοτερόπλευρα. Είναι σαφής η μείωση της αγγείωσης του μύος και στις δύο πλευρές και η βαθμιαία επάνοδος στο φυσιολογικό επίπεδο.

3.4 Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία τ και repeated measurement ANOVA μέσω του στατιστικού πακέτου SPSS 28.0.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά δεδομένα των συμμετεχόντων στην μελέτη.

Πίνακας 4.1. Τα περιγραφικά στατιστικά δεδομένα των συμμετεχόντων στην μελέτη. Παρουσιάζεται επίσης η μέτρηση της τοπικής οξυγόνωσης του γαστροκνημίου αριστερά και δεξιά ανά 15 δευτερόλεπτα. r0L: δείκτης αγγείωσης r της αριστερής γαστροκνημίας σε ηρεμία, r0R: δείκτης αγγείωσης r της δεξιάς γαστροκνημίας σε ηρεμία, r15L: δείκτης r στο αριστερό στα 15 δευτερόλεπτα, r15R: δείκτης r στο δεξί στα 15 δευτερόλεπτα, r30L: δείκτης r στο αριστερό στα 30 δευτερόλεπτα, r30R: δείκτης r στο δεξί στα 30 δευτερόλεπτα, r45L: δείκτης r στο αριστερό στα 45 δευτερόλεπτα, r45R: δείκτης r στο δεξί στα 45 δευτερόλεπτα, r60L: δείκτης r στο αριστερό στα 60 δευτερόλεπτα, r60R: δείκτης r στο δεξί στα 60 δευτερόλεπτα, κ.ο.κ.

	N	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Ηλικία	10	20	24	22.40	1.174
Ύψος	10	160	185	171.60	8.072
Βάρος	10	60	80	67.40	6.736
Περίμετρος ΔΕ γαστροκνημίας	10	32.0	39.0	36.000	2.5495
Περίμετρος ΑΡ γαστροκνημίας	10	32.0	39.0	35.850	2.2858
r0L	10	53	74	61.30	6.684
r0R	10	45	73	56.60	8.746
r15L	10	24	68	52.10	14.208
r15R	10	17	63	47.80	15.354
r30L	10	15	68	49.00	16.145
r30R	10	15	60	42.90	16.155
r45L	10	15	69	49.90	16.462
r45R	10	15	60	41.90	17.464
r60L	10	15	70	51.00	16.526
r60R	10	15	61	45.70	16.425
r75L	10	17	69	50.70	16.083
r75R	10	15	60	41.10	17.610
r90L	9	17	72	52.44	15.733

r90R	9	15	60	43.33	16.194
r105L	8	18	69	52.00	15.353
r105R	8	15	59	40.50	16.186
r120L	8	16	70	51.13	16.181
r120R	8	15	60	40.00	17.452
r135L	8	20	69	51.00	14.697
r135R	8	15	57	40.25	16.499
r150L	7	20	68	48.00	14.877
r150R	7	15	57	38.29	16.039
r165L	6	22	65	45.50	14.707
r165R	6	15	58	35.50	16.814
r180L	6	25	66	47.33	14.404
r180R	6	15	56	34.17	16.412
r195L	6	25	63	46.17	13.060
r195R	6	15	54	35.33	16.391
r210L	6	27	63	47.33	13.292
r210R	6	15	54	33.33	16.071
r225L	6	30	61	46.50	11.256
r225R	6	15	56	35.33	17.694
r240L	6	25	60	44.17	12.906
r240R	5	17	54	37.40	14.639

Σύγκριση ΔΕ και ΑΡ περιμέτρου γαστροκνημίας με την δοκιμασία τ κατά ζεύγη. Παρατηρείται σημαντική διαφορά υπέρ της Δεξιάς γαστροκνημίας (Πίνακες 4.2, 4.3, και 4.4).

Πίνακας 4.2. *Περίμετρος αριστερής και δεξιάς γαστροκνημίας.*

	Μέση τιμή	N	Τυπική απόκλιση	Τυπικό λάθος
ΔΕ	36.000	10	2.5495	.8062
ΑΡ	35.850	10	2.2858	.7228

Πίνακας 4.3. Συσχέτιση περιμέτρου αριστερής και δεξιάς γαστροκνημίας.

	N	Συσχέτιση	Σημαντικότητα	
			One-Sided p	Two-Sided p
Rigthcalfwidth & Leftcalfwidth	10	.963	<.001	<.001

Πίνακας 4.4. Δοκιμασία κατά ζεύγη.

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Τυπικό λάθος	Διαστήμα αξιοπιστίας 95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Σημαντικότητα	
				Κατώτερο	Ανώτερο			One-Sided p	Two-Sided p
ζεύγο 1 Rigthcalfwidth - Leftcalfwidth	.1500	.7091	.2242	-.3572	.6572	.669	9	.260	.520

Με την δοκιμασία **T-Test** συγκρίθηκε η αγγείωση μεταξύ της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του σώματος ανά 15 δευτερόλεπτα έως τα 240 sec (**Πίνακες 4.5, 4.6, 4.7, και 4.8**). Διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά στην αγγείωση της έσω κεφαλής των γαστροκνημίων μυών με υπερίσχυση της αριστερής πλευράς. Διαπιστώθηκε επίσης σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο πλευρών καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Πίνακας 4.5. Παρουσίαση των μετρήσεων της αγγείωσης στους γαστροκνήμιους μύες στις διάφορες χρονικές στιγμές μέτρησης.

		Μέση τιμή	N	Τυπική απόκλιση	Τυπικό λάθος
Ζεύγος 2	r0L	61.30	10	6.684	2.114
	r0R	56.60	10	8.746	2.766
Ζεύγος 3	r15L	52.10	10	14.208	4.493
	r15R	47.80	10	15.354	4.855
Ζεύγος 4	r30L	49.00	10	16.145	5.106
	r30R	42.90	10	16.155	5.109
Ζεύγος 5	r45L	49.90	10	16.462	5.206
	r45R	41.90	10	17.464	5.523
Ζεύγος 6	r60L	51.00	10	16.526	5.226
	r60R	45.70	10	16.425	5.194
Ζεύγος 7	r75L	50.70	10	16.083	5.086
	r75R	41.10	10	17.610	5.569
Ζεύγος 8	r90L	52.44	9	15.733	5.244
	r90R	43.33	9	16.194	5.398
Ζεύγος 9	r105L	52.00	8	15.353	5.428
	r105R	40.50	8	16.186	5.723
Ζεύγος 10	r120L	51.13	8	16.181	5.721
	r120R	40.00	8	17.452	6.170
Ζεύγος 11	r135L	51.00	8	14.697	5.196
	r135R	40.25	8	16.499	5.833
Ζεύγος 12	r150L	48.00	7	14.877	5.623
	r150R	38.29	7	16.039	6.062
Ζεύγος 13	r165L	45.50	6	14.707	6.004
	r165R	35.50	6	16.814	6.864
Ζεύγος 14	r180L	47.33	6	14.404	5.880
	r180R	34.17	6	16.412	6.700
Ζεύγος 15	r195L	46.17	6	13.060	5.332
	r195R	35.33	6	16.391	6.692
Ζεύγος 16	r210L	47.33	6	13.292	5.426
	r210R	33.33	6	16.071	6.561
Ζεύγος 17	r225L	46.50	6	11.256	4.595
	r225R	35.33	6	17.694	7.223
Ζεύγος	r240L	48.00	5	9.899	4.427

18	r240R	37.40	5	14.639	6.547
----	-------	-------	---	--------	-------

Πίνακας 4.6. Συσχετίσεις κατά ζεύγη, *Paired Samples Correlations*.

		N	Συσχέτιση	Σημαντικότητα	
				One-Sided p	Two-Sided p
Ζεύγος 2	r0L & r0R	10	.920	<.001	<.001
Ζεύγος 3	r15L & r15R	10	.808	.002	.005
Ζεύγος 4	r30L & r30R	10	.810	.002	.004
Ζεύγος 5	r45L & r45R	10	.848	<.001	.002
Ζεύγος 6	r60L & r60R	10	.264	.231	.462
Ζεύγος 7	r75L & r75R	10	.896	<.001	<.001
Ζεύγος 8	r90L & r90R	9	.871	.001	.002
Ζεύγος 9	r105L & r105R	8	.854	.003	.007
Ζεύγος 10	r120L & r120R	8	.844	.004	.008
Ζεύγος 11	r135L & r135R	8	.895	.001	.003
Ζεύγος 12	r150L & r150R	7	.910	.002	.004
Ζεύγος 13	r165L & r165R	6	.952	.002	.003
Ζεύγος 14	r180L & r180R	6	.962	.001	.002
Ζεύγος 15	r195L & r195R	6	.937	.003	.006
Ζεύγος 16	r210L & r210R	6	.833	.020	.040
Ζεύγος 17	r225L & r225R	6	.960	.001	.002
Ζεύγος 18	r240L & r240R	5	.980	.002	.003

Πίνακας 4.7. Δοκιμασία κατά ζεύγη, *Paired Samples Test*.

		Διαφορές κατά ζεύγη				
		Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Τυπικό λάθος	Διάστημα αξιοπιστίας 95% Confidence Interval of the Difference	
					Κατώτερο Lower	Ανώτερο Upper
Ζεύγος 2	r0L - r0R	4.700	3.683	1.165	2.065	7.335

Ζεύγος 3	r15L - r15R	4.300	9.226	2.918	-2.300	10.900
Ζεύγος 4	r30L - r30R	6.100	9.949	3.146	-1.017	13.217
Ζεύγος 5	r45L - r45R	8.000	9.393	2.970	1.281	14.719
Ζεύγος 6	r60L - r60R	5.300	19.995	6.323	-9.003	19.603
Ζεύγος 7	r75L - r75R	9.600	7.834	2.477	3.996	15.204
Ζεύγος 8	r90L - r90R	9.111	8.131	2.710	2.861	15.361
Ζεύγος 9	r105L - r105R	11.500	8.552	3.024	4.350	18.650
Ζεύγος 10	r120L - r120R	11.125	9.463	3.346	3.214	19.036
Ζεύγος 11	r135L - r135R	10.750	7.363	2.603	4.594	16.906
Ζεύγος 12	r150L - r150R	9.714	6.651	2.514	3.563	15.866
Ζεύγος 13	r165L - r165R	10.000	5.329	2.176	4.407	15.593
Ζεύγος 14	r180L - r180R	13.167	4.665	1.905	8.271	18.063
Ζεύγος 15	r195L - r195R	10.833	6.178	2.522	4.350	17.317
Ζεύγος 16	r210L - r210R	14.000	8.899	3.633	4.661	23.339
Ζεύγος 17	r225L - r225R	11.167	7.574	3.092	3.218	19.115
Ζεύγος 18	r240L - r240R	10.600	5.320	2.379	3.995	17.205

Πίνακας 4.8. Δοκιμασία κατά ζεύγη, *Paired Samples Test*.

		t	df	Σημαντικότητα	
				One-Sided p	Two-Sided p
Ζεύγος 2	r0L - r0R	4.035	9	.001	.003
Ζεύγος 3	r15L - r15R	1.474	9	.087	.175
Ζεύγος 4	r30L - r30R	1.939	9	.042	.084
Ζεύγος 5	r45L - r45R	2.693	9	.012	.025
Ζεύγος 6	r60L - r60R	.838	9	.212	.424
Ζεύγος 7	r75L - r75R	3.875	9	.002	.004
Ζεύγος 8	r90L - r90R	3.362	8	.005	.010
Ζεύγος 9	r105L - r105R	3.803	7	.003	.007
Ζεύγος 10	r120L - r120R	3.325	7	.006	.013
Ζεύγος 11	r135L - r135R	4.129	7	.002	.004
Ζεύγος 12	r150L - r150R	3.864	6	.004	.008
Ζεύγος 13	r165L - r165R	4.596	5	.003	.006
Ζεύγος 14	r180L - r180R	6.913	5	<.001	<.001
Ζεύγος 15	r195L - r195R	4.295	5	.004	.008
Ζεύγος 16	r210L - r210R	3.853	5	.006	.012

Ζεύγος 17	r225L - r225R	3.611	5	.008	.015
Ζεύγος 18	r240L - r240R	4.456	4	.006	.011

Πίνακας 4.9. Η επίδραση του μεγέθους του δείγματος, *Paired Samples Effect Sizes*.

			Standardiz er	Point Estimate	Διάστημα αξιοπιστίας 95%	
					Ανώτερο	Κατώτερο
Ζεύγος 2	r0L - r0R	Cohen's d	3.683	1.276	.409	2.107
		Hedges' correction	4.030	1.166	.374	1.925
Ζεύγος 3	r15L - r15R	Cohen's d	9.226	.466	-.200	1.110
		Hedges' correction	10.096	.426	-.183	1.014
Ζεύγος 4	r30L - r30R	Cohen's d	9.949	.613	-.081	1.279
		Hedges' correction	10.887	.560	-.074	1.169
Ζεύγος 5	r45L - r45R	Cohen's d	9.393	.852	.104	1.566
		Hedges' correction	10.278	.778	.095	1.431
Ζεύγος 6	r60L - r60R	Cohen's d	19.995	.265	-.373	.890
		Hedges' correction	21.879	.242	-.341	.813
Ζεύγος 7	r75L - r75R	Cohen's d	7.834	1.225	.374	2.041
		Hedges' correction	8.573	1.120	.341	1.865
Ζεύγος 8	r90L - r90R	Cohen's d	8.131	1.121	.253	1.948
		Hedges' correction	9.007	1.012	.229	1.758
Ζεύγος 9	r105L - r105R	Cohen's d	8.552	1.345	.344	2.300
		Hedges' correction	9.629	1.194	.306	2.043
Ζεύγος 10	r120L - r120R	Cohen's d	9.463	1.176	.234	2.072
		Hedges' correction	10.654	1.044	.208	1.840
Ζεύγος 11	r135L - r135R	Cohen's d	7.363	1.460	.417	2.458

		Hedges' correction	8.290	1.297	.371	2.183
Ζεύγος 12	r150L - r150R	Cohen's d	6.651	1.461	.341	2.530
		Hedges' correction	7.657	1.269	.296	2.198
Ζεύγος 13	r165L - r165R	Cohen's d	5.329	1.876	.469	3.233
		Hedges' correction	6.339	1.578	.395	2.719
Ζεύγος 14	r180L - r180R	Cohen's d	4.665	2.822	.938	4.678
		Hedges' correction	5.549	2.373	.788	3.933
Ζεύγος 15	r195L - r195R	Cohen's d	6.178	1.754	.404	3.050
		Hedges' correction	7.348	1.474	.340	2.564
Ζεύγος 16	r210L - r210R	Cohen's d	8.899	1.573	.306	2.784
		Hedges' correction	10.585	1.323	.258	2.341
Ζεύγος 17	r225L - r225R	Cohen's d	7.574	1.474	.251	2.640
		Hedges' correction	9.009	1.240	.211	2.219
Ζεύγος 18	r240L - r240R	Cohen's d	5.320	1.993	.378	3.556
		Hedges' correction	6.667	1.590	.301	2.837

Η μεταβολή της αγγείωσης του γαστροκνημίου μελετήθηκε σε σχέση με τον χρόνο τόσο στην αριστερή και την δεξιά πλευρά όσο και συνολικά για 10 χρονικές στιγμές από την έναρξη της άσκησης και για 15 δευτερόλεπτα. Χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία repeated measurement analysis.

Τα αποτελέσματα για την αριστερή πλευρά παρουσιάζονται στους πίνακες 4.10, 4.11 και 4.12. Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μείωση στην αγγείωση του μυός για την δεδομένη χρονική περίοδο.

Πίνακας 4.10. Μετρήσεις του δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r για την αριστερή πλευρά του σώματος.

rSo2 Εξαρτημένη Μεταβλητή

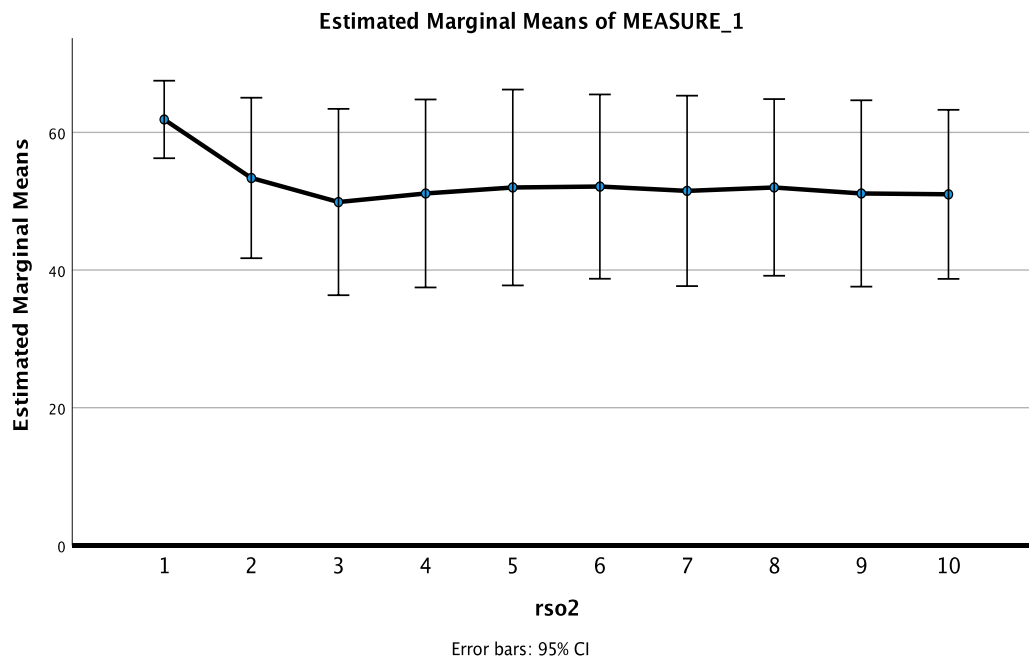
1	r0L
2	r15L
3	r30L
4	r45L
5	r60L
6	r75L
7	r90L
8	r105L
9	r120L
10	r135L

Πίνακας 4.11. Δοκιμασία *Within-Subjects Effects*.

		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Σημαντι κότητα
rSo2	Sphericity Assumed	824.950	9	91.661	4.713	<.001
	Greenhouse- Geisser	824.950	1.740	474.152	4.713	.034
	Huynh-Feldt	824.950	2.266	364.079	4.713	.022
	Lower-bound	824.950	1.000	824.950	4.713	.067
Error(rSo2)	Sphericity Assumed	1225.250	63	19.448		
	Greenhouse- Geisser	1225.250	12.179	100.604		
	Huynh-Feldt	1225.250	15.861	77.249		
	Lower-bound	1225.250	7.000	175.036		

Πίνακας 4.12. Δοκιμασία *Within-Subjects Contrasts*.

Source	rSo2	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
rSo2	Linear	250.983	1	250.983	5.106	.058
	Quadratic	218.182	1	218.182	3.463	.105
	Cubic	245.140	1	245.140	8.322	.023
	Order 4	93.676	1	93.676	4.043	.084
	Order 5	7.339	1	7.339	4.832	.064
	Order 6	1.065	1	1.065	.530	.490
	Order 7	7.729	1	7.729	2.675	.146
	Order 8	.027	1	.027	.016	.903
	Order 9	.809	1	.809	.382	.556
Error(rso2)	Linear	344.102	7	49.157		
	Quadratic	441.076	7	63.011		
	Cubic	206.210	7	29.459		
	Order 4	162.171	7	23.167		
	Order 5	10.633	7	1.519		
	Order 6	14.063	7	2.009		
	Order 7	20.225	7	2.889		
	Order 8	11.939	7	1.706		
	Order 9	14.830	7	2.119		



Διάγραμμα 4.1. Η μεταβολή της οξυγόνωσης του αριστερού γαστροκνήμιου μύος με τον χρόνο.

Τα αποτελέσματα για την δεξιά πλευρά παρουσιάζονται στους πίνακες 4.13, 4.14 και 4.15. Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μείωση στην αγγείωση του μύος για την δεδομένη χρονική περίοδο.

Πίνακας 4.13. Μετρήσεις του δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r για την δεξιά πλευρά του σώματος.

rSo2	Εξαρτημένη Μεταβλητή
1	r0R
2	r15R
3	r30R
4	r45R
5	r60R
6	r75R

7	r90R
8	r105R
9	r120R
10	r135R

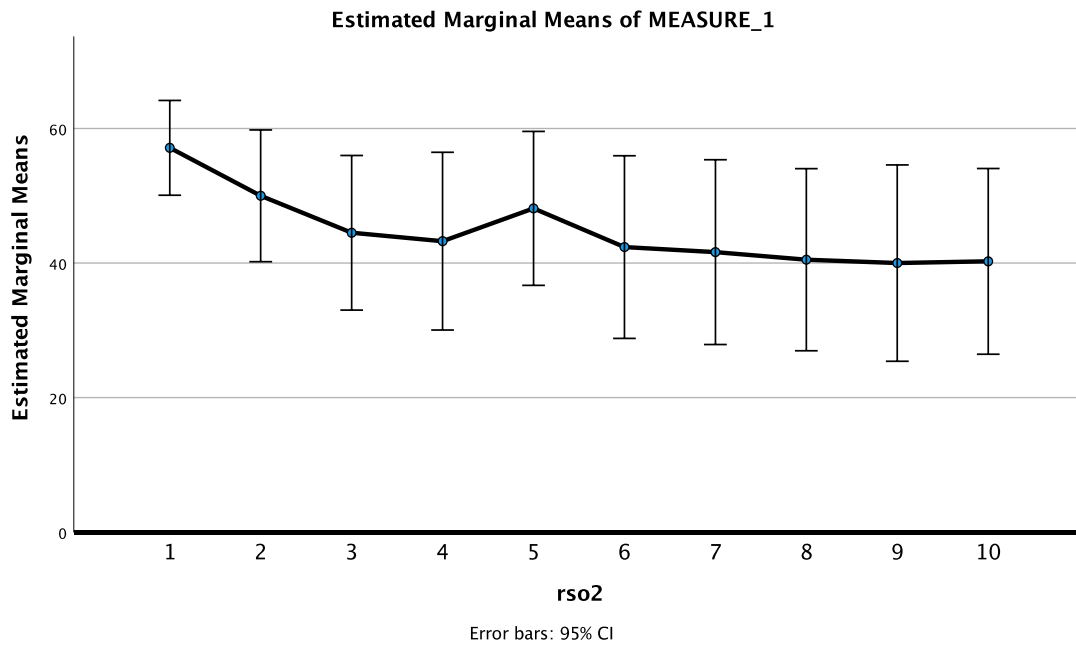
Πίνακας 4.14. Δοκιμασία *Within-Subjects Effects*.

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
rSo2	Sphericity Assumed	2165.450	9	240.606	5.617	<.001
	Greenhouse-Geisser	2165.450	1.894	1143.326	5.617	.018
	Huynh-Feldt	2165.450	2.576	840.698	5.617	.009

Πίνακας 4.15. Δοκιμασία *Within-Subjects Contrasts*.

Source	rso2	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
rSo2	Linear	1545.606	1	1545.606	13.406	.008
	Quadratic	237.690	1	237.690	4.678	.067
	Cubic	89.243	1	89.243	6.292	.040
	Order 4	124.977	1	124.977	3.778	.093
	Order 5	3.186	1	3.186	.196	.672
	Order 6	47.538	1	47.538	2.173	.184
	Order 7	36.410	1	36.410	1.524	.257
	Order 8	9.369	1	9.369	.439	.529
	Order 9	71.430	1	71.430	.805	.400
Error(rSo2)	Linear	807.042	7	115.292		
	Quadratic	355.666	7	50.809		
	Cubic	99.283	7	14.183		
	Order 4	231.592	7	33.085		
	Order 5	114.074	7	16.296		

Order 6	153.106	7	21.872	
Order 7	167.246	7	23.892	
Order 8	149.262	7	21.323	
Order 9	621.479	7	88.783	



Διάγραμμα 4.2. Η μεταβολή της οξυγόνωσης του δεξιού γαστροκνήμιου μύος με τον χρόνο.

Τα αποτελέσματα και για τις δύο πλευρές του σώματος παρουσιάζονται στους πίνακες 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 και 4.20.

Πίνακας 4.16. Μετρήσεις του δείκτη ιστικής οξυγόνωσης r και για τις δύο πλευρές του σώματος.

rSo2 Εξαρτημένη

μεταβλητή	
1	r0
2	r15
3	r30
4	r45
5	r60
6	r75
7	r90
8	r115
9	r130
10	r145

Πίνακας 4.17. Δοκιμασία σφαιρικότητας, *Mauchly's Test of Sphericity*.

Within Subjects Effect	Mauchly's W	Approx. Chi-Square	df	Sig.	Greenhouse-Geisser	Epsilon Huynh-Feldt	Lower-bound
rso2	.000	310.386	44	<.001	.145	.153	.111

Πίνακας 4.18. Δοκιμασία *Within-Subjects Effects*.

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
rso2	Sphericity Assumed	2411.431	9	267.937	2.573	.009
	Greenhouse-Geisser	2411.431	1.303	1850.114	2.573	.118

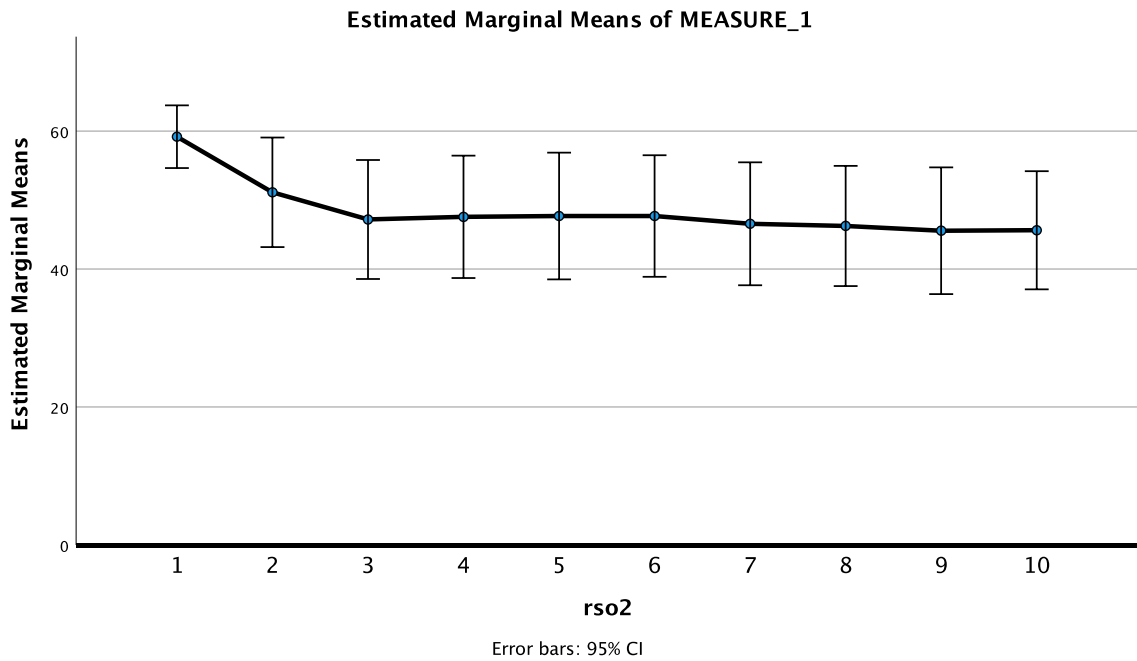
	Huynh-Feldt	2411.431	1.377	1751.767	2.573	.115
	Lower-bound	2411.431	1.000	2411.431	2.573	.130
Error(rso2)	Sphericity Assumed	14060.469	135	104.152		
	Greenhouse-Geisser	14060.469	19.551	719.171		
	Huynh-Feldt	14060.469	20.649	680.942		
	Lower-bound	14060.469	15.000	937.365		

Πίνακας 4.19. Δοκιμασία *Within-Subjects Contrasts*.

Source	rSo2	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
rSo2	Linear	1379.659	1	1379.659	2.469	.137
	Quadratic	511.137	1	511.137	4.030	.063
	Cubic	341.502	1	341.502	2.724	.120
	Order 4	162.035	1	162.035	4.358	.054
	Order 5	4.889	1	4.889	1.132	.304
	Order 6	4.097	1	4.097	.110	.745
	Order 7	5.567	1	5.567	2.649	.124
	Order 8	.069	1	.069	.003	.958
	Order 9	2.477	1	2.477	.114	.740
Error(rso2)	Linear	8380.326	15	558.688		
	Quadratic	1902.522	15	126.835		
	Cubic	1880.812	15	125.387		
	Order 4	557.706	15	37.180		
	Order 5	64.751	15	4.317		
	Order 6	557.712	15	37.181		
	Order 7	31.519	15	2.101		
	Order 8	360.122	15	24.008		
	Order 9	324.998	15	21.667		

Πίνακας 4.20. Δοκιμασία *Between-Subjects Effects*.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	375487.506	1	375487.506	238.965	<.001
Error	23569.594	15	1571.306		



Διάγραμμα 4.3. Η μεταβολή της οξυγόνωσης και των δύο γαστροκνήμιων μυών με τον χρόνο.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη της επίδρασης της ισομετρικής άσκησης στην μυϊκή οξυγόνωση του γαστροκνημίου μυός. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν μια δοκιμασία στην οποία οι συμμετέχοντες έπρεπε να κάμψουν την ποδοκνημική με τη δράση του γαστροκνημίου μυός και να μείνουν σε αυτή τη θέση ακροστασίας μέχρι την εξάντληση. Με τη βοήθεια της συσκευής NIRS Invos παρατηρήθηκε η μεταβολή στα επίπεδα του μυϊκού οξυγόνου κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμασίας και καταγράφηκαν οι τιμές του οξυγόνου κάθε 15 δευτερόλεπτα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των μετρήσεων έδειξαν ότι η ισομετρική συστολή του γαστροκνημίου προκάλεσε σημαντική μείωση της τοπικής ιστικής αγγείωσης και επομένως της μυϊκής οξυγόνωσης σύντομα μετά την έναρξη της δοκιμασίας. Ήδη από τα πρώτα 15 δευτερόλεπτα εμφανίστηκε μεγάλο έλλειμα οξυγόνου, το οποίο συνέχισε να μεγαλώνει μέχρι και τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα. Οι Powers και συνεργάτες (1985) λένε ότι τα προπονημένα άτομα έχουν μικρότερο έλλειμα οξυγόνου για την ίδια ένταση άσκησης, από ότι τα απροπόνητα. Στη συνέχεια παρατηρήθηκε μια φάση σταθεροποίησης του οξυγόνου, το οποίο και παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα καθ' όλη την υπόλοιπη διάρκεια της δοκιμασίας. Το μοτίβο αυτό της μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης φαίνεται να επιβεβαιώνει την θεωρία ύπαρξης τριών φάσεων κατά τη μυϊκή προσπάθεια. Στο διάγραμμα 4.3 παρατηρεί κανείς τόσο την μεταβατική φάση που χαρακτηρίζεται από το έλλειμα οξυγόνου, όσο και την φάση σταθεροποίησής του. Δεν μπορεί να παρατηρηθεί μόνο η φάση της αποκατάστασης με την περίσσεια οξυγόνου διότι δεν καταγράφηκαν οι τιμές του οξυγόνου μετά το τέλος της άσκησης, πράγμα που θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο επόμενων ερευνών.

Από τα αποτελέσματα της έρευνας έχει επίσης ενδιαφέρον το ότι καταγράφηκε σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δύο κάτω άκρα. Στην αρχική μέτρηση που έγινε σε

συνθήκες ηρεμίας υπήρχε σημαντική διαφορά στην αιμάτωση υπέρ του αριστερού γαστροκνημίου μύος. Στη συνέχεια παρατηρήθηκε μείωση της μυϊκής οξυγόνωσης και στα δύο κάτω άκρα, όμως η διαφορά υπέρ του αριστερού γαστροκνημίου παρέμεινε καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας.

BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

1. Alway, S. E., Stray-Gundersen, J., Grumbt, W. H., & Gonyea, W. J. (1990). Muscle cross-sectional area and torque in resistance-trained subjects. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 60, 86-90. <https://doi.org/10.1007/BF00846026>
2. Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H., & StrÅ, S. B. (2003). Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. *Human kinetics*.
3. Bahr, R. O. A. L. D., Grønnerød, O., & Sejersted, O. M. (1992). Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 66-71.
4. Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *The Journal of physiology*, 422, 539-559. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1990.sp018000>
5. Barstow T. J. (1994). Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(11), 1327-1334.
6. Barstow, T. J., Jones, A. M., Nguyen, P. H., & Casaburi, R. (1996). Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 81(4), 1642-1650. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.4.1642>
7. Caen, K., Vermeire, K., Pogliaghi, S., Moerman, A., Niemeijer, V., Bourgois, J. G., & Boone, J. (2019). Aerobic interval training impacts muscle and brain oxygenation responses to incremental exercise. *Frontiers in physiology*, 10, 1195. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01195>
8. Clarke, E.C. (1966). "The influence of posture on the action of muscles." *The Journal of Bone & Joint Surgery* 48(3), 488-498
9. Craig, R. (1994). The structure of the contractile filaments. *Myology*. McGraw-Hill, New York, 134-175.
10. Fitts R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological*
11. Fitts R. H. (1996). Muscle fatigue: the cellular aspects. *The American journal*
12. Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). Designing resistance training programs. 3. painos. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
13. Foster, M. (1883). *Physiology* (No. 6). D. Appleton.
14. Gaesser, G. A., & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and sport sciences reviews*, 24(1), 35-70.

15. Gaffney, F. A., Sjøgaard, G., & Saltin, B. (1990). Cardiovascular and metabolic responses to static contraction in man. *Acta physiologica scandinavica*, 138(3), 249-258. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1990.tb08844.x>
16. Ganesan, G., Leu, S. Y., Cerussi, A., Tromberg, B., Cooper, D. M., & Galassetti, P. (2016). Cerebral and muscle tissue oxygenation during incremental cycling in male adolescents measured by time-resolved near-infrared spectroscopy. *Pediatric exercise science*, 28(2), 275-285. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0037>
17. Garfinkel, S., & Cafarelli, E. (1992). Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(11), 1220-1227.
18. Gollnick, P. D., Piehl, K., & Saltin, B. (1974). Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *The Journal of physiology*, 241(1), 45-57. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1974.sp010639>
19. Gore, C. J., & Withers, R. T. (1990). Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.:1985), 68(6), 2362–2368. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.68.6.2362>
20. Graves, J. E., Pollock, M. L., Jones, A. E., Colvin, A. B., & Leggett, S. H. (1989). Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 21(1), 84-89.
21. Hickson, R. C., Bomze, H. A., & Hollozy, J. O. (1978). Faster adjustment of O₂ uptake to the energy requirement of exercise in the trained state. *Journal of Applied Physiology*, 44(6), 877-881. <https://doi.org/10.1152/jappl.1978.44.6.877>
22. Hill, A. V., Long, C. N. H., & Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilisation of oxygen.—Parts I-III. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 96(679), 438-475. <https://doi.org/10.1098/rspb.1924.0037>
23. Holmes, K. C., & Geeves, M. A. (2000). The structural basis of muscle contraction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1396), 419-431. <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0583>
24. Horiuchi, M., Endo, J., Dobashi, S., Handa, Y., Kiuchi, M., & Koyama, K. (2017). Muscle oxygenation profiles between active and inactive muscles with nitrate supplementation under hypoxic exercise. *Physiological reports*, 5(20), e13475. <https://doi.org/10.14814/phy2.13475>

25. Huxley, A. F. (1974). Muscular contraction. *The Journal of physiology*, 243(1), 1.
26. Huxley, H. E. (1996). A personal view of muscle and motility mechanisms. *Annual Review of Physiology*, 58(1), 1-19.
27. Kalis, J. K., Freund, B. J., Joyner, M. J., Jilka, S. M., Nittolo, J. O. Y. C. E., & Wilmore, J. H. (1988). Effect of beta-blockade on the drift in O₂ consumption during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 64(2), 753-758. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.2.753>
28. Knapik, J. J., Mawdsley, R. H., & Ramos, M. U. (1983). Angular specificity and test mode specificity of isometric and isokinetic strength training. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 5(2), 58-65. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.1983.5.2.58>
29. Kulig, K., Andrews, J. G., & Hay, J. G. (1984). Human strength curves. *Exercise and sport sciences reviews*, 12, 417-466.
30. Lapointe, J., Paradis-Deschênes, P., Woorons, X., Lemaître, F., & Billaut, F. (2020). Impact of hypoventilation training on muscle oxygenation, myoelectrical changes, systemic [K⁺], and repeated-sprint ability in basketball players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 29. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00029>
31. Lyle, N., & Rutherford, O. M. (1998). A comparison of voluntary versus stimulated strength training of the human adductor pollicis muscle. *Journal of sports sciences*, 16(3), 267-270. <https://doi.org/10.1080/026404198366795>
32. MacRae, H. S., Dennis, S. C., Bosch, A. N., & Noakes, T. D. (1992). Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *Journal of applied physiology*, 72(5), 1649-1656. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.5.1649>
33. Maffiuletti, N. A., & Martin, A. L. A. I. N. (2001). Progressive versus rapid rate of contraction during 7 wk of isometric resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(7), 1220-1227.
34. Margaria, R. O. D. O. L. F. O., Edwards, H. T., & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 106(3), 689-715. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1933.106.3.689>
35. Marshall, K. (2018). Differences in Skeletal Muscle and Brain Tissue Oxygenation during Exercise in the Cold.
36. 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>
- of sports medicine, 24(6 Suppl), S9–S13.
37. Paredes-Ruiz, M. J., Jodar-Reverte, M., Ferrer-Lopez, V., & Martínez-González-Moro, I. (2020). Quadriceps muscle oxygenation during a maximum stress test in middle-aged athletes. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 9(2), 43.
 38. Plowman S. A. & Smith D. L. (2003). Exercise physiology for health fitness and performance (2nd ed.). Benjamin Cummings.
 39. Powers, S. K., Dodd, S., & Beadle, R. E. (1985). Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in VO₂max. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54(3), 306–308. <https://doi.org/10.1007/BF00426150>
 40. Quinn, T. J., Vroman, N. B., & Kertzer, R. O. B. E. R. T. (1994). Postexercise oxygen consumption in trained females: effect of exercise duration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(7), 908-913. reviews, 74(1), 49–94. <https://doi.org/10.1152/physrev.1994.74.1.49>
 41. Rooks, C. R., Thom, N. J., McCully, K. K., & Dishman, R. K. (2010). Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Progress in neurobiology*, 92(2), 134-150. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2010.06.002>
 42. Schott, J., McCully, K., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training: II. Short versus long isometric contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 71, 337-341. <https://doi.org/10.1007/BF00240414>
 43. Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G., & Bunt, J. C. (1991). The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(5), 618–624.
 44. Sejersted, O. M., Hargens, A. R., Kardel, K. R., Blom, P., Jensen, O., & Hermansen, L. A. R. S. (1984). Intramuscular fluid pressure during isometric contraction of human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 56(2), 287-295. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.2.287>
 45. Short, K. R., & Sedlock, D. A. (1997). Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *Journal of applied physiology*, 83(1), 153-159. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.1.153>
 46. Sjøgaard, G., Savard, G., & Juel, C. (1988). Muscle blood flow during isometric activity and its relation to muscle fatigue. *European journal of*

- applied physiology and occupational physiology*, 57, 327-335.
<https://doi.org/10.1007/BF00635992>
47. Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of applied physiology*.
<https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2097>
 48. Tesch, P., Sjödin, B., Thorstensson, A., & Karlsson, J. (1978). Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 103(4), 413-420.
 49. Thepaut-Mathieu, C., Van Hoecke, J., & Maton, B. (1988). Myoelectrical and mechanical changes linked to length specificity during isometric training. *Journal of Applied Physiology*, 64(4), 1500-1505.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.4.1500>
 50. Thiel, C., Vogt, L., Himmelreich, H., Hübscher, M., & Banzer, W. (2011). Reproducibility of muscle oxygen saturation. *International journal of sports medicine*, 32(04), 277-280. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269922>
 51. Vasquez-Bonilla, A. A., Brazo-Sayavera, J., Timón, R., & Olcina, G. (2021). Measurement of resting muscle oxygenation and the relationship with countermovement jumps and body composition in soccer players (Medición de la oxigenación muscular en reposo y la relación con los saltos). *Cultura, Ciencia y Deporte*, 16(48), 215-223.
 52. Vøllestad N. K. (1997). Measurement of human muscle fatigue. *Journal of neuroscience methods*, 74(2), 219-227.
[https://doi.org/10.1016/s01650270\(97\)02251-6](https://doi.org/10.1016/s01650270(97)02251-6)
 53. Weir, J. P., Housh, T. J., & Weir, L. L. (1994). Electromyographic evaluation of joint angle specificity and cross-training after isometric training. *Journal of applied physiology*, 77(1), 197-201.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.1.197>
 54. Wickerson, L., Mathur, S., Brooks, D., Bonetti, L. V., Singer, L. G., Granton, J., & Reid, W. D. (2020). Skeletal muscle oxygenation and regional blood volume during incremental limb loading in interstitial lung disease. *ERJ Open Research*, 6(1). <https://doi.org/10.1183/23120541.00083-2019>
 55. Willis, S. J., Alvarez, L., Millet, G. P., & Borrani, F. (2017). Changes in muscle and cerebral deoxygenation and perfusion during repeated sprints in hypoxia to exhaustion. *Frontiers in physiology*, 8, 846.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00846>
 56. Wilson, G. J., & Murphy, A. J. (1996). The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports medicine*, 22, 19-37.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00003>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

Έντυπο Συγκατάθεσης Κατόπιν Ενημέρωσης

Καλείστε να συμμετέχετε σε μια έρευνα που διεξάγεται από τους προπτυχιακούς φοιτητές της ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ Βασίλη και Μαρίνα Ασημάκη στο πλαίσιο πτυχιακής εργασίας του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο: **Η Μεταβολή της Μυϊκής Οξυγόνωσης κατά την Διάρκεια Ισομετρικής Συστολής στα Άνω και Κάτω Άκρα**. Πρέπει να είστε τουλάχιστον 18 χρονών για να συμμετέχετε στην έρευνα. Η συμμετοχή σας είναι εθελοντική. Μπορείτε να αφιερώσετε όσο χρόνο χρειάζεστε για να διαβάσετε το Έντυπο Συγκατάθεσης Κατόπιν Ενημέρωσης. Μπορείτε επίσης να αποφασίσετε να το συζητήσετε με την οικογένεια ή τους φίλους σας. Αντίγραφο αυτού του εντύπου θα σας δοθεί. Πρέπει να είστε 18 χρονών (ή μεγαλύτεροι) για να συμμετέχετε στην έρευνα. Η συμμετοχή σας είναι εθελοντική. Μπορείτε να αφιερώσετε όσο χρόνο χρειάζεστε για να διαβάσετε το Έντυπο Συγκατάθεσης Κατόπιν Ενημέρωσης. Μπορείτε επίσης να αποφασίσετε να το συζητήσετε με την οικογένεια ή τους φίλους σας. Αντίγραφο αυτού του εντύπου θα σας δοθεί. Η ανάγνωση και υπογραφή του Εντύπου Συγκατάθεσης αναγκαία προϋπόθεση συμμετοχής στην παρούσα έρευνα.

Την ευθύνη εκτέλεσης και περάτωσης της εργασίας έχουν οι Βασίλης και Μαρίνα Ασημάκη. Η έρευνα γίνεται με την επίβλεψη του Χ. Γιαννακόπουλου, Επ. Καθηγητή ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ (6972099911, C.Yiannakopoulos@phed.uoa.gr).

Η ερευνητική πρόταση έχει εγκριθεί με την υπ' αριθμ.....απόφαση της Επιτροπής Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής του τμήματος.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ο σκοπός της έρευνας είναι η μελέτη της μεταβολής της οξυγόνωσης του δικέφαλου βραχιονίου μυός στο άνω άκρο και του γαστροκνήμιου μυός στο κάτω άκρο κατά την διάρκεια ισομετρικής συστολής μέχρι την κόπωση, με την χρήση συσκευής υπέρυθρης φασματοσκοπίας Invos (Medtronic). Σημειωτέον ότι η συσκευή Invos, αν και βρίσκεται σε κλινική χρήση πολλά χρόνια για την μελέτη της μικτής αγγείωσης του εγκεφαλικού παρεγχύματος κατά την διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων δεν έχει χρησιμοποιηθεί για την μελέτη της μυϊκής οξυγόνωσης. Η συσκευή αυτή μετρά σε δύο θέσεις την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας και υπολογίζει τον δείκτη r.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ
<p>Οι εξεταζόμενοι δεν θα πρέπει να έχουν ασκηθεί σε βαθμό κόπωσης τουλάχιστον 72 ώρες από την συμμετοχή τους ή να έχουν πάρει φάρμακα ή τρόφιμα που επηρεάζουν την καρδιακή λειτουργία. Θα πραγματοποιηθεί διαδικασία αναερόβιας κόπωσης του γαστροκνημίου και του δικέφαλου βραχιονίου μυός. Σε κάθε εξεταζόμενο θα τοποθετηθούν: α) στους εξεταζόμενους μύες ένα ηλεκτρόδιο ιννος, β) στο θώρακα συσκευή polar για καταγραφή της καρδιακής συχνότητας γ) στο ΔΕ βραχίονα η περιχειρίδα του ηλεκτρονικού πιεσομέτρου. Θα καταγράφονται σε κάθε στάδιο η καρδιακή συχνότητα, η αρτηριακή πίεση, ο κορεσμός του οξυγόνου του αίματος και η μυϊκή οξυγόνωση. Η διάρκεια της κόπωσης θα διαρκέσει έως 15 λεπτά, ενώ οι εξεταζόμενοι θα είναι παρόντες στον χώρο εξέτασης για συνολικό χρόνο περίπου 30 λεπτών. Θα γίνει μέτρηση του γαλακτικού οξέος στο αίμα με αιμοληψία που θα πραγματοποιηθεί μετά το πέρας της άσκησης από Ιατρό. Η έρευνα θα πραγματοποιηθεί σε ειδικό χώρο στην ΣΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ μετά από έγκριση και της επιστημονικής επιτροπής. Η διάθεση του χώρου και των υλικών θα είναι δωρεάν.</p>
ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ
<p>Δεν υπάρχουν προβλέψιμοι κίνδυνοι που να προκύπτουν από τη συμμετοχή σας στην παρούσα έρευνα. Εάν αισθανθείτε δυσφορία κατά την συμμετοχή σας στην μελέτη καλείστε να ενημερώσετε άμεσα τους ερευνητές και η συμμετοχή σας θα διακοπεί. Αν και ιδιαίτερος μη πιθανό, υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης ταχυκαρδίας, αισθήματος παλμών, αύξησης ή μείωσης της αρτηριακής πίεσης και του κορεσμού του αίματος σε οξυγόνο, απώλειας αισθήσεων, καρδιακής ανακοπής, ισχαιμίας μυοκαρδίου, αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου, επιληψίας, μυοσκελετικών κακώσεων ακόμα και αιφνίδιος θάνατος.</p>
ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΑ ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ
<p>Η γνώση της επίδρασης της κόπωσης στην μυϊκή οξυγόνωση βοηθά στην κατανόηση των μηχανισμών μυϊκής κόπωσης. Οι εξεταζόμενοι θα ενημερωθούν για την μυϊκή οξυγόνωση τους σε συνθήκες κόπωσης. Δεν θα υπάρξει άλλο άμεσο ή έμμεσο όφελος από εσάς. Σε περίπτωση που προκύψουν κατά τη διάρκεια της έρευνας ευρήματα που σας αφορούν και πιθανώς έχουν σημασία για την υγεία σας θα έχετε την δυνατότητα να ενημερωθείτε, εάν το θελήσετε.</p>
ΑΠΟΖΗΜΙΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ
<p>Η έρευνα αυτή δεν λαμβάνει χρηματοδότηση από κανένα φορέα. Δεν υπάρχει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από τη συμμετοχή σας στην παρούσα έρευνα. Η έρευνα πραγματοποιείται για καθαρά ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Δεν υπάρχει όφελος για τους συμμετέχοντες πέραν της ικανοποίησης από τη συμμετοχή τους στο συγκεκριμένο επιστημονικό έργο. Η συμμετοχή σας είναι απολύτως εθελοντική. Με αυτή την ενημέρωσή σας αναγνωρίζεται ότι δεν έχετε άμεσο ή έμμεσο οικονομικό ή άλλο όφελος βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα.</p>
ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΗ ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ ΣΥΜΦΕΡΟΝΤΩΝ
<p>Κατά τη δήλωση των ερευνητών δεν υπάρχει σύγκρουση συμφερόντων από τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας.</p>
ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ
<p>Δεν θα συλλεχθεί ή αποκτηθεί οποιαδήποτε πληροφορία οι οποία θα μπορούσε να σας ταυτοποιήσει. Οι πληροφορίες που θα μας δώσετε θα ανωνυμοποιηθούν /κωδικοποιηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι δυνατόν να αποκαλυφθεί η ταυτότητά σας σε τρίτους. Όλες οι πληροφορίες θα παραμείνουν απόρρητες και θα αποκαλυφθούν μόνο με την άδειά σας. Τα δεδομένα φυλάσσονται σε ασφαλή χώρο με ευθύνη του ερευνητή. Σε περίπτωση φωτογράφισης ή βιντεοσκόπησης έχετε το δικαίωμα να αρνηθείτε οποιαδήποτε στιγμή. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της έρευνας δημοσιευτούν ή παρουσιαστούν σε συνέδρια ή χρησιμοποιηθούν για διδακτικούς λόγους δεν θα συμπεριληφθούν πληροφορίες που θα αποκαλύπτουν την ταυτότητά σας εκτός εάν σας ζητηθεί σε αυτή την περίπτωση έγγραφη συγκατάθεση. Σε περίπτωση που φωτογραφίες σας, βίντεο ή ακουστικές ηχογραφήσεις χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς, η ταυτότητά σας θα προστατεύεται ή θα συγκαλύπτεται. Προκειμένου να διασφαλιστεί κατά το δυνατόν η τήρηση της εμπιστευτικότητας εκ μέρους όλων καλούμε να δεσμευτείτε α) ότι δεν θα αποκαλύψετε πληροφορίες που ήρθαν σε γνώση σας στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας β) ακόμη κι αν κοινοποιήσετε ή χρησιμοποιήσετε πληροφορίες που ήρθαν σε γνώση σας στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας δεν θα αναφέρετε ούτε το όνομα ούτε άλλα στοιχεία της ταυτότητας των άλλων εξεταζόμενων που συμμετείχαν στην έρευνα και γ) δεν θα αναφέρετε ότι λάβατε αυτές τις πληροφορίες κατά τη συμμετοχή σας στην εν λόγω έρευνα.</p> <p>Όλοι οι συμμετέχοντες έχουν δυνατότητα ενημέρωσης, είτε ο καθένας για τον εαυτό του ή για τα γενικά αποτελέσματα, αν επιθυμούν. Σύμφωνα με το άρθρο 5 στοιχ. ε του Κανονισμού 2016/679 (GDPR), τα δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα μπορούν να αποθηκεύονται για διάστημα μεγαλύτερο αυτού κατά το οποίο διεξάγεται η ερευνητική διαδικασία, εφόσον εφαρμόζονται τα κατάλληλα τεχνικά και οργανωτικά μέτρα που απαιτεί ο Κανονισμός 2016/679 (GDPR) για τη διασφάλιση των δικαιωμάτων και ελευθεριών του υποκειμένου (ή των υποκειμένων) των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί στο πλαίσιο της έρευνας. Σε αυτήν τη βάση, τα δεδομένα της παρούσας έρευνας θα διατηρηθούν για τρία χρόνια μετά το πέρας αυτής. Επιπρόσθετα, όσον αφορά στην ανάγκη περαιτέρω (δευτερογενούς) επεξεργασίας των προσωπικών δεδομένων, σύμφωνα με το άρθρο 5 στοιχ. β του Κανονισμού 2016/679 (GDPR), για λόγους ερευνητικούς, η δευτερογενής επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων θεωρείται συμβατή με τους αρχικούς σκοπούς της επεξεργασίας χωρίς να γίνεται λόγος περί της ανάγκης λήψης τεχνικών και οργανωτικών μέτρων. Κατά συνέπεια, τα προσωπικά δεδομένα της παρούσας έρευνας δύνανται να χρησιμοποιηθούν και από άλλες έρευνες που θα εγκριθούν αρμοδίας χωρίς να χρειαστεί να δοθεί εκ νέου η συγκατάθεση των συμμετεχόντων.</p>

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΚΑΙ ΑΠΟΧΩΡΗΣΗ
Μπορείτε να επιλέξετε να συμμετέχετε ή όχι στην παρούσα έρευνα ή να αποχωρήσετε ανά πάσα στιγμή χωρίς αιτιολόγηση. Μπορείτε επίσης να αρνηθείτε να απαντήσετε σε οποιαδήποτε ερωτήσεις δεν επιθυμείτε να απαντήσετε και να παραμείνετε στην έρευνα. Σε αυτή την περίπτωση μπορείτε να ζητήσετε να διαγραφούν τα δεδομένα και οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί. Ο ερευνητής μπορεί να σας ζητήσει να αποσυρθείτε από την έρευνα αν ανακόψουν περιστάσεις που το απαιτούν. Η διάρκεια συμμετοχής στην έρευνα θα είναι περίπου 15-30 λεπτά.
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ
Μπορείτε να αποσύρετε τη συγκατάθεσή σας οποιαδήποτε στιγμή και να διακόψετε τη συμμετοχή σας χωρίς να υποστείτε καμία συνέπεια.
ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ
Αν έχετε οποιαδήποτε ερωτήσεις ή επιθυμείτε οποιαδήποτε πληροφορία σχετικά με την έρευνα, μη διστάσετε να επικοινωνήσετε με τους ερευνητές.
Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο έρευνας με τίτλο Η Μεταβολή της Μυϊκής Οξυγόνωσης κατά την Διάρκεια Ισομετρικής Συστολής στα Άνω και Κάτω Άκρα 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.

Συγκατάθεση/Συναίνεση Συμμετέχοντα στην Έρευνα

Έχω διαβάσει τις παρεχόμενες πληροφορίες ή μου τις έχουν διαβάσει, είχα την ευκαιρία να κάνω ερωτήσεις σχετικά με το περιεχόμενο της ενημέρωσης και όλες οι ερωτήσεις μου απαντήθηκαν ικανοποιητικά. Θα μου δοθεί αντίγραφο του εντύπου συγκατάθεσης και ο ερευνητής θα φυλάξει ένα άλλο αντίγραφο στο αρχείο του. Συμφωνώ οικειοθελώς και δεν αναμένω οικονομικό ή άλλο όφελος να συμμετάσχω σε αυτή την μελέτη/έρευνα. Συμφωνώ να πραγματοποιηθεί βιντεοσκόπηση/φωτογράφιση/ηχογράφιση.

Όνοματεπώνυμο Εξεταζόμενου/-ης	Ημερομηνία	Υπογραφή
--------------------------------	------------	----------

Δήλωση του ερευνητή που λαμβάνει τη συγκατάθεσή του συμμετέχοντα

Έχω διαβάσει το έντυπο ενημέρωσης στον εθελοντή συμμετέχοντα/-ουσα, είμαι βέβαιος/η ότι έχει πλήρως κατανοήσει το ερευνητικό πρωτόκολλο, τα οφέλη και τους πιθανούς κινδύνους της μελέτης. Επιβεβαιώνω ότι δόθηκε στον συμμετέχοντα η ευκαιρία να υποβάλει ερωτήσεις σχετικά με τη μελέτη και ότι όλες οι ερωτήσεις που τέθηκαν έχουν απαντηθεί αναλυτικά και με τον καλύτερο δυνατό τρόπο χωρίς να υπάρξουν αμφιβολίες εκ μέρους του/της. Επιβεβαιώνω ότι ο συμμετέχων/-ουσα δεν έχει εξαναγκαστεί να δώσει τη συγκατάθεσή του/της η οποία δόθηκε ελεύθερα και οικειοθελώς. Ένα αντίγραφο του εντύπου συγκατάθεσης θα δοθεί στον συμμετέχοντα/-ουσα.

Όνοματεπώνυμο Ερευνητή	Υπογραφή
------------------------	----------