



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Επίδραση της βάρδισης σε διαφορετικές κλίσεις του
εδάφους στην οξυγόνωση του μυών του μηρού»**

**Κωνσταντίνος Κούρτης
Δημήτριος Γεωργόπουλος**

Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Μανδαλίδης

Ιούνιος 2023

© Copyright

Κωνσταντίνος Κούρτης
Δημήτρης Γεωργόπουλος

Σημείωμα Συγγραφέων

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

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

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΔΙΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΟΞΥΓΟΝΩΣΗ ΤΩΝ ΜΥΩΝ ΤΟΥ ΜΗΡΟΥ

Περίληψη

Η σύσπαση των σκελετικών μυών στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στην παροχή οξυγόνου από το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα. Υπάρχουν κατηγορίες ασθενών, όπως οι καρδιοπαθείς, οι πάσχοντες από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και περιφερική αρτηριακή νόσο, που αντιμετωπίζουν προβλήματα περιορισμένης παροχής οξυγόνου στους μυς, με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, τα οποία επιδεινώνουν τη βεβαρημένη υγεία τους. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης διερευνήθηκε η επίδραση της βάδισης σε διαφορετικές κλίσεις του εδάφους στην οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου.

Στην έρευνα συμμετείχαν 8 υγιή και φυσικά δραστήρια άτομα, 2 γυναίκες και 6 άντρες, ηλικίας 39 (± 5) ετών. Το πρωτόκολλο αποτελούνταν από δύο μέρη. Στο ένα, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να βαδίσουν σε κυλιόμενο διάδρομο με σταθερή ταχύτητα 4km/h, διαδοχικά και δίχως παύση, στις κλίσεις 0% (επίπεδο) και σε ανωφέρεια +10%, +20% και πάλι σε 0%, για 80 δευτερόλεπτα ανά κλίση, ενώ στο άλλο μέρος βάδισαν διαδοχικά, με την ίδια ταχύτητα, στις κλίσεις 0%, και σε κατωφέρεια -10%, -20% και πάλι 0%, ομοίως για 80 δευτερόλεπτα ανά κλίση. Λήφθησαν δεδομένα για την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (O_2Hb) και την από-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HHb) με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας εγγύς υπερύθρου (Near Infrared Spectroscopy – NIRS) και βάσει των παραμέτρων αυτών υπολογίστηκε η συνολική αιμοσφαιρίνη (tHb), ο δείκτης ιστικού κορεσμού (TSI) και η διαφορά οξυγονωμένης από-ξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ($HbDiff = O_2Hb - HHb$).

Τα αποτελέσματα έδειξαν κύρια επίδραση της κλίσης για τις O_2Hb ($p < 0,001$), HHb ($p < 0,001$), tHb ($p < 0,001$) και τον δείκτη TSI ($p < 0,01$), ενώ η κατεύθυνση (ανωφέρεια/κατωφέρεια) είχε σημαντική επίδραση μόνο για την O_2Hb ($p < 0,05$).

Σημαντική αλληλεπίδραση διαπιστώθηκε μεταξύ της κλίσης και της κατεύθυνσης για τις O_2Hb , HHb και τον TSI, με τη συνθήκη της ανωφέρειας να επιφέρει σημαντική μείωση της O_2Hb και του TSI και αύξηση της HHb , ενώ η κατωφέρεια δεν προκάλεσε σημαντικές μεταβολές στις παραμέτρους της οξυγόνωσης.

Βάσει των αποτελεσμάτων, η αιμοδυναμική ισορροπία του έξω πλατύ μηριαίου διαταράχθηκε στη συνθήκη της ανωφέρειας σε σχέση με τη βάδιση σε επίπεδη επιφάνεια, ενώ η κατωφέρεια δεν είχε σημαντική επίδραση στην οξυγόνωση του μυ.

Λέξεις κλειδιά: μυϊκή οξυγόνωση, έξω πλατύς μηριαίος, φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (NIRS), κλίση, ανωφέρεια, κατωφέρεια, βάδιση, έκκεντρη σύσπαση, σύγκεντρη σύσπαση

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	ii
Πίνακας Περιεχομένων	iv
Κατάλογος Σχημάτων	vi
Κατάλογος Συντομογραφιών	vii
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ. 1
1.1. Σκελετικός μυς: Δομή και παραγωγή δύναμης	σελ. 1
1.2. Ο ρόλος του οξυγόνου.....	σελ. 3
1.3. Η επίδραση της άσκησης στην οξυγόνωση των μυών	σελ. 5
1.4. Βάδιση.....	σελ. 5
1.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	σελ. 5
1.4.2 Κεκλιμένη επιφάνεια.....	σελ. 7
1.5. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος	σελ. 8
1.6. Σημασία της έρευνας.....	σελ. 9
1.7. Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις.....	σελ. 9
1.8. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας.....	σελ. 10
1.9. Διευκρίνιση όρων	σελ. 11
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	σελ. 12
2.1. Μεμονωμένες συσπάσεις με αντίσταση και μυϊκή οξυγόνωση	σελ. 12
2.1.1 Πελματιαία κάμψη ποδοκνημικής άρθρωσης	σελ. 12
2.1.2 Κάμψη – έκταση της άρθρωσης του γόνατος	σελ. 13
2.1.3 Ισομετρικές συσπάσεις μυών των κάτω άκρων	σελ. 15
2.2. Λειτουργικές δραστηριότητες και μυϊκή οξυγόνωση	σελ. 16
2.2.1 Ποδήλατο	σελ. 16
2.2.2 Τρέξιμο - Βάδιση	σελ. 18
2.3. Μυϊκή οξυγόνωση κατά την έκκεντρη και τη σύγκεντρη σύσπαση.....	σελ. 21

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	σελ. 24
3.1. Συμμετέχοντες.....	σελ. 24
3.2. Μετρήσεις - Εξοπλισμός.....	σελ. 25
3.2.1. Φυσική δραστηριότητα - Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά - Κυλιόμενος διάδρομος.....	σελ. 25
3.2.2. Καρδιακή συχνότητα - Αντιλαμβανόμενη κόπωση.....	σελ. 25
3.2.3. Μυϊκή οξυγόνωση.....	σελ. 26
3.3. Πρωτόκολλο.....	σελ. 27
3.3.1. Προπαρασκευαστική διαδικασία.....	σελ. 28
3.3.2. Κυρίως πρωτόκολλο μετρήσεων.....	σελ. 28
3.4. Στατιστική ανάλυση.....	σελ. 31
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	σελ. 32
4.1. Παράμετροι οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου.....	σελ. 32
4.2. Καρδιακή συχνότητα και αντιλαμβανόμενη κόπωση.....	σελ. 37
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	σελ. 39
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	σελ. 43
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 44
VIII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	σελ. 56
8.1 Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης επιπέδου φυσικής δραστηριότητας.....	σελ. 56
8.2 Δήλωση συγκατάθεσης συμμετεχόντων στην έρευνα	σελ. 57
8.3 Κλίμακα αντιλαμβανόμενης κόπωσης Borg.....	σελ. 60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 3.1.** Χρονική αλληλουχία των επιμέρους φάσεων του πρωτοκόλλου ανωφέρειας..... σελ. 30
- Σχήμα 3.2.** Χρονική αλληλουχία των επιμέρους φάσεων του πρωτοκόλλου κατωφέρειας..... σελ. 30
- Σχήμα 4.1.** Η εξέλιξη της O_2Hb στα δύο μέρη του πρωτοκόλλου..... σελ. 33
- Σχήμα 4.2.** Η εξέλιξη της HHb στα δύο μέρη του πρωτοκόλλου..... σελ. 34
- Σχήμα 4.3.** Η επίδραση των δύο μερών του πρωτοκόλλου στην tHb σελ. 35
- Σχήμα 4.4.** Μεταβολές του Δείκτη Ιστικού Κορεσμού (TSI) κατά τη διάρκεια των δύο μερών του πρωτοκόλλου σελ. 36
- Σχήμα 4.5.** Καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια των δύο μερών του πρωτοκόλλου..... σελ. 37
- Σχήμα 4.6.** Αντιλαμβανόμενη κόπωση (κλίμακα Borg) κατά τη διάρκεια των δύο μερών του πρωτοκόλλου..... σελ. 38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ADP:	Διφωσφορική αδενοσίνη.....	σελ. 2
AK:	Αντιλαμβανόμενη κόπωση	σελ. 37
ATP:	Τριφωσφορική αδενοσίνη	σελ. 2, 3, 21, 39, 40
ΔΜΣ:	Δείκτης μάζας σώματος = Βάρος (σε κιλά)/Υψος (σε μέτρα) ²	σελ. 24
HbDiff:	Διαφορά οξυγονωμένης από-ξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης	σελ. ii, 26
HHb:	Απο-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη	σελ. 20, 26, 33, 34, 36, 39, 40
ΚΣ:	Καρδιακή συχνότητα	σελ. 25, 28, 29, 37, 41
ΜΑΕ:	Μέγιστη απόλυτη επανάληψη	σελ. 13, 14
NIRS:	Φασματοσκοπία Εγγύς Υπερύθρου	σελ. ii, iii, 10, 12, 19, 21, 26, 27, 29, 31, 36, 40
O₂Hb:	Οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη	σελ. ii, iii, 20, 26, 32, 33, 36, 39, 40
PCr:	Φωσφοκρεατίνη	σελ. 2
pH:	Ενεργός οξύτητα ή συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου	σελ. 4
Pi:	Φωσφορική ρίζα	σελ. 2
PO₂:	Μερική πίεση οξυγόνου	σελ. 3, 4, 5, 21
RPE:	Υποκειμενική αίσθηση κόπωσης	σελ. 25
rpm:	Στροφές (των πεταλιών του κυκλοεργόμετρου) ανά λεπτό	σελ. 17
SO₂:	Κορεσμός οξυγόνου	σελ. 19, 20
tHb:	Συνολική αιμοσφαιρίνη.....	σελ. ii, 22, 26, 34, 39, 40, 41
TSI:	Δείκτης ιστικού κορεσμού	σελ. ii, iii, 11, 26, 35, 36, 39, 40, 43
VO_{2max}:	Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου	σελ. 4, 16, 18

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκελετικός μυς: Δομή και παραγωγή δύναμης

Η εκούσια ανθρώπινη κίνηση συντελείται, κυρίως, χάρη στη λειτουργία των μυών. Στους σκελετικούς μυς, ειδικότερα, παράγεται η απαιτούμενη δύναμη για την πραγματοποίηση της κίνησης. Οι σκελετικοί μύες παρουσιάζουν συγκεκριμένη δομή, η οποία εξυπηρετεί αυτή τη λειτουργία. Κάθε μυς περιβάλλεται από ένα στρώμα συνδετικού ιστού, το επιμύϊο, το οποίο τον συγκρατεί και κατευθύνει τη δράση του. Στο εσωτερικό του σκελετικού μύος ανευρίσκονται τα μυϊκά κύτταρα, γνωστά και ως μυϊκές ίνες, οργανωμένα σε δεμάτια που διαμορφώνονται από ένα άλλο στρώμα συνδετικού ιστού, το περιμύϊο. Κάθε μυϊκή ίνα καλύπτεται από μία θήκη συνδετικού ιστού που καλείται ενδομύϊο. Με τη σειρά της, κάθε μυϊκή ίνα περιέχει μεγάλο πλήθος (από αρκετές εκατοντάδες έως αρκετές χιλιάδες) μυοϊνιδίων, τα οποία αποτελούν τα δομικά στοιχεία που επιτρέπουν τη συστολή του μύος. Στο εσωτερικό των μυοϊνιδίων υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πρωτεϊνικών ινών σε παράλληλη διάταξη: οι ίνες ακτίνης και οι ίνες μυοσίνης.

Τα μεμονωμένα μόρια ακτίνης, που είναι σφαιρικά, ενώνονται σε σειρά, δημιουργώντας αλυσίδες. Δύο τέτοιες αλυσίδες διαπλέκονται ελικοειδώς και σχηματίζουν την ίνα ακτίνης. Η μυοσίνη είναι μία εξαμερής πρωτεΐνη αποτελούμενη από δύο «βαριές» και τέσσερις «ελαφριές» αλυσίδες/νημάτια. Οι δύο βαριές αλυσίδες/νημάτια (heavy chains), που αποτελούν το κύριο σώμα του μορίου της μυοσίνης, περιελίσσονται μεταξύ τους. Στο ένα άκρο κάθε νηματίου δημιουργείται μία σφαιρική κεφαλή. Κάθε ίνα μυοσίνης περιλαμβάνει περίπου 200 μόρια μυοσίνης.

Η επικρατούσα θεωρεία αναφορικά με την παραγωγή δύναμης από τους μυς είναι η θεωρεία της ολίσθησης νηματίων. Σύμφωνα με αυτή, οι κεφαλές της μυοσίνης ενεργοποιούνται και προσδέονται ισχυρά με τα μόρια της ακτίνης δημιουργώντας εγκάρσιες γέφυρες μεταξύ των ινών μυοσίνης και ακτίνης. Ακολούθως, η κεφαλή

της μυοσίνης γέρνει προκαλώντας την ολίσθηση της ακτίνης επί της μυοσίνης. Η προκαλούμενη σύσπαση των μυών μεταφέρεται μέσω των μυοτενόντιων συνόλων στα οστά και τις αρθρώσεις προκαλώντας την κίνηση στο ανθρώπινο σώμα.

Σε κάθε περίπτωση, η σύνδεση της μυοσίνης με την ακτίνη και η συνακόλουθη κίνηση των εγκάρσιων γεφυρών προϋποθέτει την παροχή ενέργειας. Η απαιτούμενη ενέργεια παράγεται μέσω της διάσπασης της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), η οποία προσκολλάται σε συγκεκριμένη περιοχή (σύνδεσης) της κεφαλής της μυοσίνης. Τα τρία βασικά συστήματα μέσω των οποίων καθίσταται διαθέσιμη η ATP στους μυς είναι: α) Σύστημα Φωσφοκρεατίνης (PCr) , β) Σύστημα γλυκόλυσης και γ) Οξειδωτικό σύστημα.

Στο πρώτο σύστημα ο καταβολισμός της φωσφοκρεατίνης σε κρεατίνη και ανόργανη φωσφορική ρίζα (P_i) παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για τη σύνθεση της ATP (με τη δέσμευση μίας ανόργανης φωσφορικής ρίζας από τη διφωσφορική αδενοσίνη – ADP). Στο σύστημα αυτό ένα mol PCr παράγει ένα mol ATP (Wilmore & Costill, 2004). Μέσω αυτού του συστήματος παράγεται μικρή ποσότητα ATP, λόγω μικρών αποθεμάτων φωσφοκρεατίνης. Το σύστημα αυτό είναι η βασική πηγή ενέργειας για δραστηριότητες μέγιστης έντασης πολύ μικρής διάρκειας, της τάξης των λίγων δευτερολέπτων.

Στο γλυκολυτικό σύστημα η παραγωγή της ATP είναι το αποτέλεσμα μίας αλληλουχίας ενζυματικών αντιδράσεων που μετατρέπουν τη γλυκόζη ή/και το γλυκογόνο σε πυροσταφυλικό οξύ. Ένα mol γλυκόζης παράγει 2 mol ATP, ενώ ένα mol γλυκογόνου παράγει 3 mol ATP (Wilmore & Costill, 2004). Η παραγωγή της ATP είναι σχετικά γρήγορη και αποτελεί τη βασική πηγή ενέργειας δραστηριοτήτων υψηλής έντασης που διαρκούν από ένα έως δύο λεπτά. Το γαλακτικό οξύ που παράγεται ως αποτέλεσμα της αναερόβιας γλυκόλυσης εμποδίζει τη λειτουργία των γλυκολυτικών ενζύμων και προάγει την εμφάνιση της μυϊκής κόπωσης.

Τέλος, στο οξειδωτικό σύστημα η ATP παράγεται από τον καταβολισμό υδατανθράκων, λιπών και πρωτεϊνών, μέσω χημικών αντιδράσεων στις οποίες

χρησιμοποιείται οξυγόνο. Η δυνατότητα παραγωγής ATP συγκρινόμενη με τα άλλα δύο συστήματα είναι σημαντικά μεγαλύτερη (1 μόριο γλυκογόνου αποδίδει έως 39 μόρια ATP) και αποτελεί το βασικό ενεργειακό υπόστρωμα δραστηριοτήτων μέτριας έως υψηλής έντασης (αναλόγως του προπονητικού ιστορικού του ασκούμενου) που διαρκούν από ορισμένα λεπτά έως αρκετές ώρες.

1.2 Ο ρόλος του οξυγόνου

Η παρουσία οξυγόνου στην παραγωγή της ATP είναι απαραίτητη μόνο στο οξειδωτικό σύστημα. Το οξυγόνο από τους πνεύμονες μεταφέρεται στους μυς, αλλά και σε όλους τους άλλους ιστούς, μέσω της κυκλοφορίας του αίματος (Wilmore & Costill, 2004). Η ποσότητα του οξυγόνου που εισέρχεται στην κυκλοφορία του αίματος από τους πνεύμονες συσχετίζεται κατά τρόπο ανάλογο προς τον όγκο των πνευμόνων, τη μερική πίεση του οξυγόνου στον εισπνεόμενο αέρα, την πυκνότητα και τον όγκο των τριχοειδών αγγείων στους πνεύμονες, τον αιματοκρίτη του αίματος των τριχοειδών αγγείων των πνευμόνων, και αντιστρόφως ανάλογο προς το πάχος των ιστών που μεσολαβούν μεταξύ των κυψελίδων και των τριχοειδών αγγείων (Hoppeler & Weiber, 2000).

Στο αίμα το οξυγόνο μεταφέρεται είτε διαλυμένο στο πλάσμα, σε πολύ μικρές ποσότητες, είτε δεσμευμένο από την αιμοσφαιρίνη των ερυθρών αιμοσφαιρίων, που είναι ο κύριος τρόπος μεταφοράς (ποσοστό μεγαλύτερο από 98%). Το οξυγόνο φθάνει στους μυς, όπως και σε όλους τους ιστούς, μέσω των τριχοειδών αγγείων. Η διαφορά στη μερική πίεση οξυγόνου (PO_2) μεταξύ των ιστών και των τριχοειδών αγγείων επιτρέπει τη διάχυσή του από την περιοχή υψηλής (αγγεία) στην περιοχή χαμηλής (ιστοί) πίεσης οξυγόνου. Το οξυγόνο φθάνει στα μιτοχόνδρια των μυϊκών κυττάρων, όπου γίνεται η καύση του για την παραγωγή της ATP, είτε σε ελεύθερη μορφή είτε δεσμευμένο από τη μυοσφαιρίνη (Wittenberg & Wittenberg, 1989). Το

μεγαλύτερο ποσοστό του οξυγόνου που εισέρχεται στα μιτοχόνδρια των μυϊκών κυττάρων έχει μεταφερθεί με τη μυοσφαιρίνη (Wittenberg & Wittenberg, 1989).

Ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο, ήτοι το ποσοστό κάλυψης των ελεύθερων «θέσεων» από μόρια οξυγόνου (κάθε μόριο αιμοσφαιρίνης μπορεί να μεταφέρει 4 μόρια οξυγόνου), επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Συγκεκριμένα, η υψηλή PO_2 αίματος αυξάνει τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης. Επίσης, η πτώση στο pH του αίματος μειώνει τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης. Ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης σε οξυγόνο επηρεάζεται και από τη θερμοκρασία: αυξημένη θερμοκρασία αίματος συνεπάγεται χαμηλότερο κορεσμό. Οποιαδήποτε μείωση στον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης σημαίνει ταυτόχρονα περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς του οξυγόνου και παράδοσής του στους ιστούς.

Η δυνατότητα μεταφοράς οξυγόνου στους μυς επηρεάζεται από την ποσότητα (γραμμάρια ανά 100cc αίματος) της αιμοσφαιρίνης στο αίμα (Hoppeler & Weiber, 2000). Η ποσότητα του οξυγόνου που φθάνει στους μυς αυξάνεται όταν αυξάνεται η ποσότητα του αίματος που ρέει στη μονάδα του χρόνου, μέσω του αγγειακού συστήματος (όγκος παλμού, καρδιακή συχνότητα). Ένας ακόμη παράγοντας που επιδρά στην ποσότητα του οξυγόνου που φθάνει στους μυς είναι το πλήθος των τριχοειδών αγγείων (Hoppeler & Weiber, 2000).

Ως προς την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται στους μυς, ένας βασικός παράγοντας που την επηρεάζει είναι το πλήθος και ο όγκος των μιτοχονδρίων ανά μυϊκή ίνα: περισσότερα ή/και μεγαλύτερα μιτοχόνδρια επάγουν μεγαλύτερη ικανότητα οξειδωτικής φωσφορυλίωσης και άρα μεγαλύτερη κατανάλωση οξυγόνου (Hoppeler & Weiber, 2000).

Έρευνες σε προπονημένους ασκούμενους έδειξαν ότι η μέγιστη ικανότητα αερισμού, όπως μετράται μέσω της VO_{2max} , αυξάνεται (ελάχιστα) όταν αυξηθεί η αναλογία του οξυγόνου στον εισπνεόμενο αέρα, πράγμα που δε συμβαίνει (δηλ. αύξηση της VO_{2max}) σε μη προπονημένους ασκούμενους στις ίδιες συνθήκες (Wagner, 2011). Η εν λόγω διαφοροποίηση αποδίδεται στην περιορισμένη δραστηριότητα των μεταβολικών ενζύμων στους μη προπονημένους που περιορίζει

τη δυνατότητα της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης να καταναλώνει O_2 (Wagner, 2011).

1.3 Η επίδραση της άσκησης στην οξυγόνωση των μυών

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, ο μηχανισμός μέσω του οποίου το οξυγόνο μεταφέρεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα εντός του μυϊκού κυττάρου είναι η διαφορά της μερικής πίεσης οξυγόνου στα ενδιάμεσα «στάδια» της αλυσίδας. Στην ηρεμία ο βαθμός κορεσμού της μυοσφαιρίνης στον μυ είναι περίπου 100%, ενώ κατά την άσκηση μειώνεται στο 50% και παραμένει σταθερός ανεξαρτήτως της έντασης της άσκησης, συνεπαγόμενος μία σταθερά μειωμένη ενδοκυτταρική μερική πίεση οξυγόνου (Wagner, 2011). Η χαμηλή ενδοκυτταρική PO_2 ενεργοποιεί έναν μηχανισμό αγγειοδιαστολής πλησίον των εργαζόμενων μυϊκών κυττάρων που προκαλεί αύξηση στην παροχή αίματος στη συγκεκριμένη περιοχή για να αντισταθμίσει την αυξημένη ζήτηση οξυγόνου (Wagner, 2011).

1.4 Βάδιση

1.4.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

Η βάδιση είναι μία από τις βασικές κινήσεις του ανθρώπινου σώματος. Μέσω αυτής πραγματοποιείται η μετακίνηση του ανθρώπου σε καθημερινή βάση, ενώ για αρκετές κατηγορίες του πληθυσμού αποτελεί βασικό τρόπο εκγύμνασης. Κατά τη βάδιση το ανθρώπινο σώμα ισορροπεί διαδοχικά σε κάθε πόδι, ενώ υπάρχει μία μικρή χρονική περίοδος όπου και τα δύο πόδια πατούν στο έδαφος (φάση διπλής στήριξης). Η χρονική περίοδος που μεσολαβεί από την αρχική επαφή του πέλματος του ενός ποδιού με την επιφάνεια βάδισης έως την επόμενη επαφή του πέλματος

του ίδιου ποδιού με την επιφάνεια βάρδισης καλείται διασκελισμός ή κύκλος βάρδισης, ενώ η περίοδος από την επαφή του πέλματος του ενός άκρου ποδός έως την επαφή του πέλματος του άλλου άκρου ποδός καλείται βηματισμός. Κατά τη διάρκεια του διασκελισμού κάθε ένα πόδι διέρχεται μία φάση στήριξης, όπου βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και μία φάση αιώρησης, όπου δεν εφάπτεται του εδάφους. Η φάση στήριξης υποδιαιρείται στην αρχική στήριξη, όπου η πτέρνα προσκρούει στο έδαφος, τη μέση στήριξη, όπου όλο το πέλμα εφάπτεται στο έδαφος και ο κορμός του σώματος διέρχεται από την νοητή κατακόρυφη γραμμή του ποδιού στήριξης και την τελική στήριξη, όπου η πτέρνα δε βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Κατά την αιώρηση διακρίνονται τρεις επιμέρους φάσεις: η αρχική αιώρηση, που διαρκεί από τη στιγμή που το πέλμα αφήνει το έδαφος έως τη μέγιστη κάμψη της άρθρωσης του γόνατος του ποδιού αιώρησης, η μέση αιώρηση, που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της μέγιστης κάμψης του γόνατος του ποδιού αιώρησης, έως τη στιγμή που ο άκρος πόδας διαπερνά την νοητή κατακόρυφη ευθεία γραμμή του κέντρου βάρους του σώματος, και η τελική αιώρηση, όπου έχουμε την τελική φάση έκτασης της άρθρωσης του γόνατος και την πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής άρθρωσης (Κέλλης, 2015).

Η βάρδιση είναι μία κίνηση του ανθρώπινου σώματος που απαιτεί την ενεργοποίηση πολλών μυών. Ως προς τους μυς των κάτω άκρων, η ενεργοποίηση του ορθού μηριαίου, του έξω πλατύ μηριαίου και των οπίσθιων μηριαίων είναι έντονη στην αρχική φάση στήριξης του ποδιού (συγκράτηση της άρθρωσης του γόνατος), ενώ από τη μέση στήριξη έως το τέλος της αιώρησης η ενεργοποίησή τους είναι σχετικά περιορισμένη (Κέλλης, 2015). Ο πρόσθιος κνημιαίος ενεργοποιείται εντονότερα κατά την αρχική επαφή του ποδιού, για να ελέγξει την προς τα κάτω κίνηση του άκρου ποδός, καθώς επίσης, και κατά την αιώρηση, για τη συγκράτηση της ποδοκνημικής άρθρωσης σε ουδέτερη θέση. Ο γαστροκνήμιος και ο υποκνημίδιος έχουν εντονότερη ενεργοποίηση στην τελική φάση της στήριξης (ώθηση). Οι καμπτήρες μύες του ισχίου ενεργοποιούνται εντονότερα κατά τη φάση

αιώρησης, ενώ οι εκτείνοντες του ισχίου κυρίως κατά τη φάση της αρχικής στήριξης (Κέλλης, 2015).

1.4.2 Κεκλιμένη επιφάνεια

Η αύξηση της κλίσης της επιφάνειας βάδισης από 0% σε 24%, προκαλεί αύξηση της ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής κατά 22%, 31% μεγαλύτερη κάμψη της άρθρωσης του γόνατος και 23% περισσότερη κάμψη του ισχίου κατά την επαφή της πτέρνας με το έδαφος. Στη φάση στήριξης, η άρθρωση του ισχίου παρουσιάζει μέγιστη αύξηση του εύρους κίνησης (+59%), η οποία συνοδεύεται από αύξηση της ραχιαίας κάμψης της ποδοκνημικής κατά 20%, ενώ το εύρος κίνησης στην άρθρωση του γόνατος περιορίζεται κατά 12%. Σε αρνητική κλίση, η βασική προσαρμογή κατά τη φάση στήριξης εντοπίζεται στην άρθρωση του γόνατος, όπου παρουσιάζεται αύξηση της κάμψης κατά 15° στην αρχική στήριξη. Στη φάση αιώρησης, παρουσιάζεται μικρότερη κάμψη στο ισχίο και μικρότερη πελματιαία κάμψη στην ποδοκνημική (Hamill & Knutzen, 2003).

Η μυϊκή ενεργοποίηση του μέγα γλουτιαίου και του δικέφαλου μηριαίου κατά το πρώτο ήμισυ της φάσης στήριξης (έκταση της άρθρωσης του ισχίου) αυξάνεται σημαντικά, καθώς αυξάνεται ο βαθμός κλίσης (ανηφορική) της επιφάνειας βάδισης, σε σχέση με τη βάδιση σε επίπεδη επιφάνεια, ενώ δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη διαφοροποίηση στις αντίστοιχες αρνητικές κλίσεις (κατηφορικές). Στην ίδια φάση της βάδισης (πρώτο ήμισυ φάσης στήριξης), ο μέσος πλατύς μηριαίος και ο ορθός μηριαίος (ενέργεια: έκταση της άρθρωσης του γόνατος) παρουσιάζουν μεγαλύτερη ενεργοποίηση καθώς αυξάνεται ο βαθμός κλίσης (ανηφορική και κατηφορική) της επιφάνειας βάδισης, με την αύξηση της ενεργοποίησης να είναι μεγαλύτερη στον μέσο πλατύ όσο αυξάνεται η θετική κλίση, ενώ στον ορθό μηριαίο όσο αυξάνεται η αρνητική. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου ήμισυ της φάσης στήριξης η ενεργοποίηση της έσω κεφαλής του

γαστροκνήμιου και του υποκνημίδιου (ενέργεια: έκταση ή πελματιαία κάμψη στην ποδοκνημική άρθρωση) παρουσιάζει αύξηση όσο αυξάνεται η θετική κλίση και μείωση (κυρίως ο γαστροκνήμιος) όσο αυξάνεται η αρνητική κλίση (Franz & Kram, 2012).

Η βάδιση στην ανωφέρεια συνδέεται με περισσότερες σύγκεντρες συσπάσεις των κάτω άκρων, ενώ η βάδιση σε κατωφέρεια με περισσότερες έκκεντρες συσπάσεις, με τις πρώτες να παρουσιάζουν μεγαλύτερο συνολικό μεταβολικό κόστος (Hortobagyi κ.ά., 2011).

1.5 Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος

Ορισμένες κατηγορίες ασθενών, όπως οι καρδιοπαθείς, οι πάσχοντες από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και περιφερική αρτηριακή νόσο, εμφανίζουν περιορισμένη παροχή οξυγόνου στους ιστούς (Gosker κ.ά., 2000 · Zamaitis, Boll & Dreyer, 2022). Τα άτομα αυτά παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στην άσκηση, δυσκολίες κατά τη βάδιση και γενικότερα μειωμένη δραστηριοποίηση, η οποία επιδεινώνει την κατάσταση της υγείας τους. Η εφαρμογή πρωτοκόλλων άσκησης που προκαλούν αυξημένη ζήτηση οξυγόνου από τους εργαζόμενους μυς είναι πιθανό να λειτουργεί αποθαρρυντικά για αυτές τις κατηγορίες ασκουμένων. Στο πλαίσιο αυτό, η διερεύνηση δραστηριοτήτων που συνδέονται με συγκριτικά χαμηλότερες απαιτήσεις μυϊκής οξυγόνωσης θα μπορούσε, ενδεχομένως, να συμβάλει αποτελεσματικότερα στη κινητοποίηση/ενεργοποίηση αυτών των ατόμων.

1.6 Σημασία της έρευνας

Στην παρούσα έρευνα θα μελετηθεί η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου κατά τη βάδιση σε επίπεδη, ανηφορική και κατηφορική κλίση του εδάφους. Η βάδιση σε ανωφέρεια είναι μία δραστηριότητα που απαιτεί κυρίως σύγκεντρες συσπάσεις των μυών των κάτω άκρων και ως εκ τούτου μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, η οποία προϋποθέτει την αύξηση της αιματικής ροής και της οξυγόνωσης των μυών. Οι έκκεντρες συσπάσεις των μυών των κάτω άκρων, οι οποίες κυριαρχούν στη βάδιση σε κατωφέρεια, από την άλλη πλευρά, εκτελούνται με μικρότερη ενεργειακή δαπάνη και ως εκ τούτου η οξυγόνωση των μυών αναμένεται να είναι μειωμένη. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπως παρουσιάζεται σε επόμενη ενότητα της παρούσας, ενώ κατέδειξε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την επίδραση της άσκησης στη μυϊκή οξυγόνωση, δεν εντόπισε έρευνα που να συγκρίνει την επίδραση της βάδισης σε ανωφέρεια και κατωφέρεια στην οξυγόνωση των μυών των κάτω άκρων.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης θα συμβάλλουν, ενδεχομένως, στην βελτιστοποίηση της εκτέλεσης δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται για τη βελτίωση της φυσικής κατάστασης από άτομα με περιορισμό της οξυγόνωσης των μυών των κάτω άκρων, όπως καρδιοπαθείς, πάσχοντες με περιφερική αρτηριακή νόσο, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και αθηροσκλήρωση.

1.7 Ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις

Η παρούσα μελέτη έθεσε ως ερευνητικό ερώτημα το κατά πόσο η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου υγιών ατόμων διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια βάδισης σε συνθήκες ανωφέρειας και κατωφέρειας. Λόγω του αυξημένου μυϊκού έργου που συνεπάγεται η βάδιση σε ανωφέρεια σε σύγκριση με τη βάδιση σε επίπεδη

επιφάνεια και κατωφέρεια, αναμένεται μεγαλύτερη κατανάλωση οξυγόνου από τον συγκεκριμένο μυ στην ανωφέρεια και κατά συνέπεια μειωμένη οξυγόνωσή του, με τη μείωση της οξυγόνωσης να είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της ανωφέρειας.

H_0 : η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου δεν επηρεάζεται από την κλίση του εδάφους βάδισης.

H_a : η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου επηρεάζεται από την κλίση του εδάφους βάδισης.

1.8 Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα μελετά την επίδραση της βάδισης σε διαφορετικές κλίσεις του εδάφους στην οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου, ωστόσο δεν είναι ξεκάθαρο κατά πόσο τα δεδομένα που συλλέγονται από τον αισθητήρα της συσκευής NIRS αντιπροσωπεύουν επακριβώς την παροχή και κατανάλωση οξυγόνου ολόκληρου του υπό εξέταση μυός, (Bucheit, 2010).

Περαιτέρω, η μη αξιολόγηση της επίδρασης του πρωτοκόλλου στην οξυγόνωση και άλλων μυών των κάτω άκρων, π.χ. του δικέφαλου μηριαίου, αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων ως προς τη συνολικότερη επίδραση των υπό εξέταση συνθηκών βάδισης στην οξυγόνωση των κάτω άκρων.

Ενδεχομένως, ένας διαφορετικός σχεδιασμός του πρωτοκόλλου βάδισης (π.χ. με διαλείμματα μεταξύ των διαφόρων κλίσεων βάδισης ή με μεγαλύτερη διάρκεια βάδισης) να είχε ως αποτέλεσμα την καταγραφή διαφορετικών δεδομένων οξυγόνωσης για τον έξω πλατύ μηριαίο.

Τέλος, το μικρό μέγεθος του δείγματος ($n=8$) και η μη τυχαία επιλογή του από τον γενικό υγιή πληθυσμό καθιστούν την όποια αναγωγή σε ευρύτερους πληθυσμούς εξαιρετικά επισφαλής.

1.9 Διευκρίνιση όρων

Στην παρούσα έρευνα ο όρος μυϊκή οξυγόνωση αναφέρεται στη σχέση μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου στους μυς. Η αύξηση της κατανάλωσης του οξυγόνου με σταθερή την παροχή μειώνει την οξυγόνωση του μυ, ενώ αντιστρόφως η αύξηση της παροχής με σταθερή την κατανάλωση του οξυγόνου την αυξάνει. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης ως κύριος δείκτης μέτρησης της μυϊκής οξυγόνωσης αναφέρεται ο Δείκτης Ιστικού Κορεσμού (Tissue Saturation Index – TSI).

II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Βασική επιδίωξη της βιβλιογραφικής ανασκόπησης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της άσκησης στην οξυγόνωση των μυών των κάτω άκρων. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρουσιάζονται ταξινομημένα με κριτήριο το είδος της άσκησης (μεμονωμένες συσπάσεις – λειτουργικές δραστηριότητες), ενώ στο τελευταίο μέρος σταχυολογούνται έρευνες που έχουν συγκρίνει την επίδραση έκκεντρων και σύγκεντρων συσπάσεων στη μυϊκή οξυγόνωση. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ η βιβλιογραφία πραγματεύεται την επίδραση της άσκησης στην οξυγόνωση αρκετών διαφορετικών μυών των κάτω άκρων, η πλειονότητα των ερευνητικών προσπαθειών, μέσω της μεθόδου φασματοσκοπίας εγγύς υπερύθρου (NIRS), εξετάζει τον έξω πλατύ μηριαίο (Perrey & Ferrari, 2018).

2.1 Μεμονωμένες συσπάσεις με αντίσταση και μυϊκή οξυγόνωση

2.1.1 Πελματιαία κάμψη ποδοκνημικής άρθρωσης

Οι Quaresima κ.ά. (2001) εφάρμοσαν ένα πρωτόκολλο πελματιαίων κάμψεων προκειμένου να μελετήσουν την οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου και της έξω μοίρας του υποκνημίδιου, ως πρωταγωνιστών της κίνησης (σύγκεντρη σύσπαση) και του πρόσθιου κνημιαίου, ως ανταγωνιστή (έκκεντρη σύσπαση). Το πρωτόκολλο αποτελούνταν από πελματιαίες κάμψεις του κυριάρχου ποδιού, με την άρθρωση του γόνατος σε πλήρη έκταση με τις εξής παραλλαγές: i) τρία ξεχωριστά σετ με συχνότητα 40, 60 και 80 κάμψεις/λεπτό, συνολικής διάρκειας ενός λεπτού έκαστο, με αντίσταση που αντιστοιχεί στο 1/3 της μέγιστης εκούσιας σύσπασης, και ii) ένα σετ με συχνότητα 60 κάμψεις/λεπτό και ένταση ίδια με την προηγούμενη έως την εξάντληση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στις πελματιαίες

κάμψεις διάρκειας ενός λεπτού, η οξυγόνωση της έξω μοίρας του υποκνημίδιου και του πρόσθιου κνημιαίου δεν επηρεάστηκε σε καμία συνθήκη, ενώ στην έσω κεφαλή του γαστροκνήμιου υπήρξε μείωση της οξυγόνωσης, παρόμοια και στις τρεις συνθήκες. Στις πελματιαίες κάμψεις έως την εξάντληση, η οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου μειώθηκε έντονα εντός του πρώτου λεπτού και ακολούθως είτε παρέμεινε σταθερή έως την εξάντληση, είτε παρουσίασε μικρή αύξηση.

2.1.2 Κάμψη – έκταση της άρθρωσης του γόνατος

Οι Gomez-Carmona κ.ά. (2019) μελέτησαν την οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου εφαρμόζοντας έξι διαφορετικά πρωτόκολλα επαναλαμβανόμενων κάμψεων-εκτάσεων στις αρθρώσεις των γονάτων από όρθια θέση με μπάρα πίσω από το κεφάλι σε όργανο Smith (back squat), ως εξής: 4 σετ των 8 επαναλήψεων στο 60% της 1MAE (Μέγιστη Απόλυτη Επανάληψη), 4 σετ των 12 επαναλήψεων στο 60% της 1MAE, 4 σετ των 16 επαναλήψεων στο 60% της 1MAE, 4 σετ των 4 επαναλήψεων στο 75% της 1MAE, 4 σετ των 6 επαναλήψεων στο 75% της 1MAE και 4 σετ των 8 επαναλήψεων στο 75% της 1MAE, ενώ μεταξύ των σετ υπήρξε ενεργητικό διάλειμμα διάρκειας 2 λεπτών. Σε κάθε επανάληψη η κάμψη στις αρθρώσεις των γονάτων γινόταν με ελεγχόμενη ταχύτητα, ενώ η έκταση με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Το κύριο συμπέρασμα της έρευνας ήταν η θετική συσχέτιση της μείωσης στην οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου με την ένταση και τη διάρκεια του ερεθίσματος.

Σε άλλη έρευνα (Davis, Yakel & Anderson, 2020), η εφαρμογή ενός πρωτοκόλλου που συνέκρινε την οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου κατά την εκτέλεση 3 σετ 15 επαναλήψεων κάμψεων-εκτάσεων στις αρθρώσεις των γονάτων από όρθια θέση με μπάρα μπροστά και πίσω από το κεφάλι (back & front squats), και διάλειμμα 2-3 λεπτών μεταξύ των σετ, έδειξε ότι δεν υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο

συνθηκών, αλλά και στις δύο συνθήκες η μείωση της οξυγόνωσης ήταν μεγαλύτερη στο 2^ο και 3^ο σετ σε σχέση με το 1^ο.

Η έρευνα των Hoffman κ.ά. (2003) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι δε σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση στη μείωση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών πρωτοκόλλων κάμψης-έκτασης των αρθρώσεων των γονάτων από όρθια θέση με μπάρα, ήτοι 4 σετ των 15 επαναλήψεων στο 60% της 1ΜΑΕ (χαμηλή ένταση – μεγάλη διάρκεια) και 4 σετ των 4 επαναλήψεων στο 90% της 1ΜΑΕ (υψηλή ένταση – μικρή διάρκεια).

Οι Azuma, Homma και Kagaya (2000) βρήκαν θετική συσχέτιση μεταξύ της έντασης του ερεθίσματος (20%, 30% και 40% της μέγιστης εκούσιας σύσπασης) και της μείωσης της οξυγόνωσης του έξω πλατύ και του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων μονοποδικών εκτάσεων της άρθρωσης του γόνατος (από 90° κάμψης έως 30°) από καθιστή θέση με αντίσταση έως την εξάντληση, με τον έξω πλατύ μηριαίο να παρουσιάζει μεγαλύτερη μείωση της οξυγόνωσης στα διάφορα επίπεδα αντίστασης.

Οι Tanimoto και Ishii (2006) ερεύνησαν, μεταξύ άλλων, την επίδραση της ταχύτητας με την οποία πραγματοποιούνται επαναλαμβανόμενες εκτάσεις-κάμψεις στις αρθρώσεις των γονάτων από καθιστή θέση με αντίσταση στην οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου. Συγκεκριμένα, συνέκριναν δύο ομάδες ασκουμένων με παρόμοια χαρακτηριστικά που εκτελούσαν τρία σετ των οκτώ επαναλήψεων με το 50% της 1ΜΑΕ και διάλειμμα 60 δευτερολέπτων μεταξύ των σετ. Η πρώτη ομάδα εκτελούσε τις επαναλήψεις δαπανώντας τρία δευτερόλεπτα στη σύγκεντρη φάση (έκταση στην άρθρωση του γόνατος) και άλλα τρία στην έκκεντρη φάση (κάμψη στην άρθρωση του γόνατος), ενώ η δεύτερη ομάδα εκτελούσε τις επαναλήψεις σε χρόνο ενός δευτερολέπτου για κάθε φάση σύσπασης (σύγκεντρη-έκκεντρη). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου κατά τη διάρκεια των τριών σετ ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στην πρώτη ομάδα, η οποία εκτελούσε τις επαναλήψεις με μικρότερη ταχύτητα και επομένως, ο συνολικός

χρόνος ενεργοποίησης των ασκούμενων μυών (όπως ο έξω πλατύς μηριαίος) ήταν μεγαλύτερος.

2.1.3 Ισομετρικές συσπάσεις μυών των κάτω άκρων

Η οξυγόνωση της έσω κεφαλής του γαστροκνήμιου παρουσίασε πτωτική πορεία καθ' όλη τη διάρκεια διαλειμματικής ισομετρικής πελματιαίας κάμψης αυξανόμενης έντασης έως την εξάντληση, με τη μείωση να γίνεται εντονότερη σε εντάσεις μεγαλύτερες από το 60% της μέγιστης εκούσιας σύσπασης (Homma κ.α., 2005).

Το μέγεθος της μείωσης που παρουσίασε η οξυγόνωση του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια 30 δευτερολέπτων συνεχούς ισομετρικής σύσπασης για την έκταση της άρθρωσης του γόνατος από καθιστή θέση έναντι αντίστασης ήταν σημαντικά μεγαλύτερο όσο αυξανόταν η ένταση της σύσπασης του τετρακέφαλου μυός από το 10% στο 70% της Μέγιστης Εκούσιας Σύσπασης (Kek κ.ά., 2007). Η μείωση της οξυγόνωσης του ορθού μηριαίου ήταν παρόμοια στα δύο διαφορετικά πρωτόκολλα που εφαρμόστηκαν, ένα με αντίσταση έμπροσθεν της ποδοκνημικής άρθρωσης και ένα με αντίσταση στα πέλματα (πρέσα ποδιών). Στην ίδια μελέτη (Kek κ.ά., 2007) μετρήθηκε και η οξυγόνωση του μέσου και του έξω πλατύ μηριαίου, και βρέθηκε ότι παρουσίασε μικρότερη μείωση σε σχέση με την οξυγόνωση του ορθού μηριαίου σε όλες τις συνθήκες. Ωστόσο, η μείωση της οξυγόνωσης στον μέσο και τον έξω πλατύ μηριαίο ήταν μικρότερη κατά τη διάρκεια της ισομετρικής σύσπασης με αντίσταση έμπροσθεν της ποδοκνημικής άρθρωσης σε σχέση με την ισομετρική σύσπαση σε θέση πρέσας ποδιών, στις αντίστοιχες εντάσεις, υποδεικνύοντας τη μεγαλύτερη συμμετοχή αυτών των μυών στην παραγωγή ενέργειας κατά την εκτέλεση της δεύτερης.

Η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου, κατά τη διάρκεια εκρηκτικής μέγιστης ισομετρικής σύσπασης του τετρακέφαλου μυός σε πρέσα ποδιών, είτε παρέμεινε

σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της σύσπασης είτε άρχισε να μειώνεται μετά τα πρώτα 1,5-2 δευτερόλεπτα της σύσπασης (Quaresima κ.ά., 2006).

2.2 Λειτουργικές δραστηριότητες και μυϊκή οξυγόνωση

2.2.1 Ποδήλατο

Κατά τη διάρκεια άσκησης με κυκλοεργόμετρο, η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου παρουσιάζει διαφορετική εξέλιξη ανάλογα με την ένταση της άσκησης. Στα πρώτα στάδια της άσκησης, με εντάσεις μικρότερες αυτής που αντιστοιχεί στο γαλακτικό κατώφλι, ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης και της μυοσφαιρίνης μειώνεται, ενώ στη συνέχεια, σε ορισμένες περιπτώσεις παραμένει σταθερός και σε άλλες παρουσιάζει μία μικρή αύξηση. Αντιθέτως, σε εντάσεις άσκησης μεγαλύτερες αυτής που αντιστοιχεί στο γαλακτικό κατώφλι, ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης και μυοσφαιρίνης παρουσιάζει διαρκή μείωση καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης (Bellardinelli κ.ά., 1995· Chuang κ.ά., 2002· Miura κ.ά. 1998).

Σε έρευνες με άσκηση αυξανόμενης έντασης έως την εξάντληση σε κυκλοεργόμετρο βρέθηκε ότι ο έξω πλατύς μηριαίος παρουσιάζει τέσσερα στάδια ως προς την κατάσταση οξυγόνωσής του (Bhambhani, 2004): στην εκκίνηση της άσκησης η οξυγόνωση αυξάνεται πέρα από το επίπεδο ηρεμίας, ακολούθως παρουσιάζει γραμμική έως εκθετική πτώση κάτω από το επίπεδο ηρεμίας, ενώ όταν το ασκούμενο άτομο πλησιάζει στην εξάντληση ή στο VO_{2max} η οξυγόνωση σταθεροποιείται. Αμέσως μετά το πέρας της άσκησης η οξυγόνωση του μυός παρουσιάζει μία ταχεία αύξηση που συνήθως καταλήγει σε επίπεδα υψηλότερη της οξυγόνωσης ηρεμίας, καθώς η απότομη μείωση της ανάγκης του μυός για οξυγόνο δε συνοδεύεται από αντίστοιχη μείωση της ποσότητας του οξυγόνου που φθάνει σε αυτόν.

Οι Chance κ.ά. (1992) επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα του Bhambhani, σε άσκηση αυξανόμενης έντασης σε κυκλοεργόμετρο, τόσο για τον έξω πλατύ μηριαίο, όσο και για τον μέσο πλατύ, αλλά και τον ορθό μηριαίο.

Στις έρευνες των Bae κ.ά. (2000) και Bhambhani, Maikala & Esmail (2001), η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου μυ κατά τη διάρκεια δοκιμασίας 30 δευτερολέπτων υπερμέγιστης έντασης σε κυκλοεργόμετρο (Wingate test) μειωνόταν με σταθερό ρυθμό έως το 15^ο δευτερόλεπτο και μετά σταθεροποιούνταν έως το τέλος της δοκιμασίας, εύρημα που δεν επιβεβαιώθηκε για όλους τους συμμετέχοντες στην έρευνα των Bhambhani, Maikala και Esmail (σε ορισμένους συμμετέχοντες η οξυγόνωση έβαινε μειούμενη καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας). Ο ρυθμός μείωσης της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου μυ σε διαστήματα 10 δευτερολέπτων βρέθηκε ότι ήταν παρόμοιος μεταξύ της δοκιμασίας Wingate και της διαλειμματικής άσκησης μέγιστης έντασης (30 επαναλήψεις των 10 δευτερολέπτων με 20 δευτερόλεπτα διάλειμμα), ενώ κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης με ένταση στο γαλακτικό κατώφλι τόσο ο ρυθμός μείωσης της οξυγόνωσης όσο και η κατανάλωση οξυγόνου ήταν χαμηλότερα (Bae κ.ά., 2000).

Οι Skovereng, Ettema & van Beekvelt (2016) βρήκαν ότι όσο αυξάνεται ο ρυθμός ποδηλάτησης (από 60 σε 110 rpm) με σταθερό φορτίο (75% του φορτίου που αντιστοιχεί στο γαλακτικό κατώφλι) τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου, ενώ οι Zorgati κ.ά. (2015) δεν εντόπισαν διαφορές στην οξυγόνωση του ίδιου μυ μεταξύ ποδηλάτησης στο 90% της μέγιστης δύναμης έως την εξάντληση σε δύο ακραίες συνθήκες, ήτοι σε ρυθμό 40 rpm και 100 rpm.

2.2.2 Τρέξιμο - Βάδιση

Σε έρευνα των Christmass κ.ά. (1999) βρέθηκε ότι η μείωση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου κατά τη διάρκεια: α) 10 λεπτών συνεχόμενου τρεξίματος σε διάδρομο με ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}), β) 10 λεπτών διαλειμματικού τρεξίματος (σχέση 12 δευτ. τρέξιμο : 18 δευτ. αποκατάσταση) σε ένταση 120% της VO_{2max} και γ) 40 δευτερολέπτων συνεχούς τρεξίματος έντασης 120% της VO_{2max} , παρουσιάζει παρόμοια συσχέτιση με την ταχύτητα τρεξίματος, όπως συμβαίνει όταν συσχετίζεται με την ένταση της ποδηλάτησης σε κυκλοεργόμετρο, ήτοι όσο αυξάνεται η ταχύτητα τρεξίματος τόσο μειώνεται η οξυγόνωση. Ο Hiroguyuki κ.ά. (2002) εξέτασε την οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου και της έξω κεφαλής του γαστροκνήμιου κατά τη διάρκεια συνεχούς βάδισης /τρεξίματος σε διάδρομο, συνολικής διάρκειας 22 λεπτών, και βρήκε ότι και οι δύο μύες παρουσίασαν παρόμοια αντίδραση, ήτοι: μικρή αύξηση της οξυγόνωσης κατά την εκκίνηση της άσκησης (βάδισης) και σταδιακή μείωση καθώς αυξανόταν η ταχύτητα από 4 έως 16 km/h.

Η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου καλά προπονημένων δρομέων παράμεινε σταθερή κατά το 80% της διάρκειας τρεξίματος έως την εξάντληση σε ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 90% της VO_{2max} , και παρουσίασε απότομη πτώση στο τελευταίο 20% της δοκιμασίας (Oueslati, Boone & Ahmaidi, 2016).

Οι Quaresima, Komiyama και Ferrari (2002) ερεύνησαν την οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου και της εσωτερικής κεφαλής του γαστροκνήμιου κατά τη διάρκεια 5 λεπτών βάδισης με σταθερή ταχύτητα 3,2 km/h και 5 λεπτών τρεξίματος με σταθερή ταχύτητα 9,6 km/h σε διάδρομο με θετική κλίση 12° και κατέγραψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα: α) ως προς τον έξω πλατύ μηριαίο, μηδενική μείωση της οξυγόνωσης κατά τη διάρκεια της βάδισης, και αυξανόμενη μείωση κατά τη διάρκεια του τρεξίματος, β) ως προς την εσωτερική κεφαλή του γαστροκνήμιου, μικρή μείωση της οξυγόνωσης κατά στο πρώτο λεπτό βάδισης και σταθεροποίηση στη συνέχεια, ενώ κατά τη διάρκεια του τρεξίματος υπήρξε σημαντική μείωση της

οξυγόνωσης κατά το πρώτο λεπτό, ακολουθούμενη από μικρή αύξησή της στο δεύτερο λεπτό και σταθεροποίηση για το υπόλοιπο της δοκιμασίας και γ) τόσο στον έξω πλατύ μηριαίο, όσο και στην εσωτερική κεφαλή του γαστροκνήμιου η οξυγόνωση μειώθηκε περισσότερο κατά τη διάρκεια του τρεξίματος σε σχέση με τη βάδιση, ωστόσο η διαφορά ήταν μεγαλύτερη στον έξω πλατύ μηριαίο.

Σε άλλη έρευνα (Quaresima κ.ά., 1995) που μελέτησε τη βάδιση σε διάδρομο με θετική κλίση (από 0° έως 16°, αυξανόμενη κατά 4° ανά 2 λεπτά) και ταχύτητα 1,6 km/h διαπιστώθηκε ότι η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου παρέμεινε αμετάβλητη.

Η προσθήκη ενός κατακόρυφου άλματος στο μεσοδιάστημα έξι επαναλαμβανόμενων δρομικών επιταχύνσεων, που πραγματοποιούνταν ανά 25 δευτερόλεπτα, με μέγιστη ένταση σε απόσταση 25 μέτρων, οδήγησε σε μεγαλύτερη μείωση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου σε σχέση με αντίστοιχες δρομικές επιταχύνσεις χωρίς την εκτέλεση αλμάτων στο χρονικό διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ των επαναλαμβανόμενων δρομικών επιταχύνσεων (Buchheit, 2010).

Παράλληλα, σε έρευνα (Hartel κ.ά., 2011) η οποία εξέτασε την οξυγόνωση των μυών της γαστροκνημίας (έξω κεφαλή γαστροκνήμιου μύος και υποκνημίδιος μύς), κατά τη διάρκεια σταδιακά αυξανόμενης διαλειμματικής άσκησης με βάδιση στο δαπεδοεργόμετρο και αξιολογημένης με τη μέθοδο υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS), προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα: α) ο κορεσμός οξυγόνου SO₂ των μυών παρουσιάζει αύξηση με την έναρξη της άσκησης και η οξυγόνωσή τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της άσκησης. Παρόμοια, στο αρχικό στάδιο της άσκησης παρατηρείται μείωση της αιμοσφαιρίνης η οποία ακολουθείται από αύξησή της καθώς αυξάνεται η ένταση της άσκησης, β) κατά τη διάρκεια της υψηλότερης έντασης άσκησης προκύπτει μείωση του δείκτη συγκέντρωσης της αιμοσφαιρίνης - nTHI (Tissue Haemoglobin Index) στους ιστούς, γ) παρατηρείται εκθετική επαναφορά της οξυγόνωσης των μυών κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων (διάρκειας 30 δευτερολέπτων) μεταξύ των σειρών (SET) άσκησης η οποία οδηγεί σε υψηλότερα επίπεδα κορεσμού οξυγόνου απ' ό,τι στην αρχή της

άσκησης, δ) η διαφορά του κορεσμού οξυγόνου ΔSO_2 μεταξύ της άσκησης και του διαλείμματος αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της άσκησης, ε) η διαφορά στη συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης μεταξύ των σειρών άσκησης και των διαλειμμάτων παρέμεινε σχετικά σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του πρωτοκόλλου άσκησης. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης δεν εξαρτάται άμεσα από την ένταση της άσκησης. Αξιοσημείωτη είναι η σταθερότητα των τιμών της αιμοσφαιρίνης μεταξύ άσκησης και διαλείμματος μέχρι και τα τελευταία στάδια του πρωτοκόλλου άσκησης. Ως αποτέλεσμα της άσκησης η συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης αυξάνεται, με τις τιμές της κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων να είναι πάντα υψηλότερες από τις τιμές κατά τη διάρκεια της άσκησης. Όπως ήταν αναμενόμενο, κατά τη διάρκεια της άσκησης η συγκέντρωση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) παρουσιάζει αύξηση ενώ κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων οι τιμές της είναι σχετικά σταθερές. Ενδιαφέρον είναι ότι η συγκέντρωση της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης O_2Hb αυξάνεται τόσο κατά τη διάρκεια της άσκησης, όσο και κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων. Δεδομένου ότι προκύπτει μόνο μία μικρή μείωση στον κορεσμό του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης που εκτέλεσαν άτομα περιορισμένης φυσικής κατάστασης, είναι φανερό ότι οι συνθήκες οξυγόνωσης εξαρτώνται και από παράγοντες που δε σχετίζονται με τη φυσική κατάσταση του ατόμου. Παρατηρήθηκε ραγδαία επαναφορά του κορεσμού οξυγόνου κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων, γεγονός που υποδεικνύει ότι παρά τη μειωμένο μεταβολισμό του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της ξεκούρασης η επαναφορά αυτή είναι αποτέλεσμα της αιμάτωσης. Το πρωτόκολλο της άσκησης αυξάνει την ένταση μέσω της αύξησης της κλίσης παρά μέσω της αύξησης της ταχύτητας, με τις σειρές βάρδισης να διακόπτονται από διαλείμματα των 30 δευτερολέπτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και για τη λήψη αίματος. Στις 4 πρώτες σειρές βάρδισης (διάρκειας 2 λεπτών η κάθε μία) η ταχύτητα αυξήθηκε από 3 σε 7 χιλιόμετρα την ώρα ενώ η κλίση του δαπεδοεργόμετρου ήταν 1%. Στις επόμενες 9 σειρές η κλίση αυξήθηκε 2,5% ανά σειρά ενώ η ταχύτητα διατηρήθηκε σταθερή στα 7 χιλιόμετρα την ώρα. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο

άσκησης και τα δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω ως αποτέλεσμα του πρωτοκόλλου δείχνουν ότι με τη μέθοδο NIRS είναι δυνατόν να αξιολογηθεί η οξυγόνωση των μυών κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης καθώς και ότι οι διαφορές της οξυγόνωσης μεταξύ άσκησης και διαλείμματος μπορούν να ερμηνευθούν περισσότερο από την αιματική ροή και λιγότερο από την εξαγωγή του οξυγόνου.

2.3 Μυϊκή οξυγόνωση κατά την έκκεντρη και τη σύγκεντρη σύσπαση

Η σύνδεση των εγκάρσιων γεφυρών στο πλαίσιο της έκκεντρης σύσπασης των μυών επιτυγχάνεται με την υδρόλυση λιγότερης ATP σε σύγκριση με τη σύγκεντρη σύσπαση (Lombardi & Piazzesi, 1990). Αυτό, πιθανώς, εξηγεί το χαμηλότερο αερόβιο ενεργειακό κόστος της άσκησης με έκκεντρη σύσπαση σε σχέση με τη σύγκεντρη, όπως αυτό μετρήθηκε βάσει της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου στους πνεύμονες (Abbott, Bigland & Ritchie, 1952· Dufour et al., 2004· Perrey et al., 2001). Επιπλέον, έχει βρεθεί (Duchateau & Baurdy, 2014· Herzog, 2014) ότι για την παραγωγή ίσης ροπής η έκκεντρη μυϊκή σύσπαση επιστρατεύει λιγότερες κινητικές μονάδες σε σχέση με τη σύγκεντρη, ενώ η ενεργοποίηση του έξω πλατύ μηριαίου ήταν κατά 38% μικρότερη στην περίπτωση έκκεντρης ποδηλάτησης, συγκρινόμενη με τη σύγκεντρη για την παραγωγή ισοδύναμου έργου (Peñailillo κ.ά., 2013).

Η προκαλούμενη από τη μείωση της ενδοκυτταρικής PO_2 στους μύς αγγειοδιαστολή συνδέεται με την παραγωγή μεταβολιτών (K^+ , γαλακτικό οξύ, αδενοσίνη κ.α.) κατά τη μυϊκή σύσπαση. Η παραγωγή των εν λόγω μεταβολιτών είναι μεγαλύτερη κατά τη σύγκεντρη σύσπαση (Okamoto, Masuhara & Ikuta, 2006).

Σε συγκριτική μελέτη των Cherouveim κ.ά. (2021) μετρήθηκε, μεταξύ άλλων, η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου κατά τη διάρκεια δύο πρωτοκόλλων

εκτάσεων-κάμψεων στην άρθρωση του γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο έως την εξάντληση (ταχύτητα $60^\circ/\delta\epsilon\upsilon\tau\epsilon\rho\acute{o}\lambda\epsilon\pi\tau\omicron$ και αντίσταση 60% της μέγιστης εκούσιας σύσπασης), ένα με σύγκεντρες συσπάσεις και ένα με έκκεντρες, και βρέθηκε ότι δεν υπήρξε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο τύπων άσκησης αναφορικά με τη διακύμανση της οξυγόνωσης. Και στις δύο περιπτώσεις η οξυγόνωση παρουσίασε μία γρήγορη πτώση κατά την εκκίνηση της άσκησης, αλλά έως το πέρας της δοκιμασίας επανήλθε στα επίπεδα ηρεμίας. Ωστόσο, η συνολική συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης ($\Delta[tHb]$), καθ' όλη τη διάρκεια της έκκεντρης άσκησης, ήταν ελαφρώς χαμηλότερη σε σχέση με τη σύγκεντρη.

Σε προηγούμενη έρευνα (Denis, Bringard & Perrey, 2011) που μελέτησε την οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου σε δύο πρωτόκολλα έκκεντρης και σύγκεντρης σύσπασης, μέγιστης έντασης, κατά την κάμψη/έκταση της άρθρωσης του γόνατος σε ισοκινητικό δυναμόμετρο με ταχύτητα $60^\circ/\delta\epsilon\upsilon\tau\epsilon\rho\acute{o}\lambda\epsilon\pi\tau\omicron$ έως την εξάντληση διαπιστώθηκαν διαφοροποιήσεις τόσο ως προς την εξέλιξη της οξυγόνωσης όσο και ως προς το μέγεθος της μείωσής της μεταξύ των δύο τύπων σύσπασης (σημειωτέον ότι η εξάντληση επήλθε αργότερα στο πρωτόκολλο έκκεντρης σύσπασης σε σχέση με τη σύγκεντρη): α) Στη σύγκεντρη σύσπαση η οξυγόνωση μειώθηκε σημαντικά στα πρώτα στάδια της δοκιμασίας και στη συνέχεια παρουσίασε σταδιακή αύξηση έως το τέλος, με την τελική τιμή, ωστόσο, να είναι σαφώς χαμηλότερη από το επίπεδο ηρεμίας, β) Στην έκκεντρη σύσπαση η οξυγόνωση μειώθηκε αρκετά στα πρώτα στάδια της δοκιμασίας (λιγότερο, όμως, από ότι στη σύγκεντρη) και συνέχισε να μειώνεται, με μικρότερο ρυθμό, έως το τέλος και γ) Με εξαίρεση τα πρώτα στάδια της δοκιμασίας, η μείωση της οξυγόνωσης ήταν μεγαλύτερη κατά την έκκεντρη σύσπαση.

Παρόμοια εξέλιξη παρουσίασε η οξυγόνωση του ορθού μηριαίου κατά τη διάρκεια συγκριτικής μελέτης μεταξύ μέγιστων σύγκεντρων και έκκεντρων συσπάσεων, διάρκειας 60 δευτερολέπτων, σε ισοκινητικό δυναμόμετρο με ταχύτητα $180^\circ/\delta\epsilon\upsilon\tau\epsilon\rho\acute{o}\lambda\epsilon\pi\tau\omicron$ (Okamoto, Masuhara και Ikuta, 2006).

Σε έρευνα των Parganlija κ.ά. (2020) η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου κατά τη διάρκεια 15 συνεχόμενων κύκλων εκτάσεων – κάμψεων γόνατος (σύγκεντρη και έκκεντρη σύσπαση) σε πρέσα ποδιών (leg press) με αντίσταση στο 60% της 1ΜΕ παρουσίασε μία αρχική μείωση κατά την εκκίνηση της δοκιμασίας, η οποία διατηρήθηκε σταθερή έως το τέλος. Σημειώνεται ότι η μείωση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου ήταν μικρότερη στη φάση των έκκεντρων συσπάσεων σε σχέση με τις σύγκεντρες.

Οι Rakobowchuk κ.ά. (2017) εφάρμοσαν δύο πρωτόκολλα ποδηλάτησης σε κυκλοεργόμετρο διάρκειας 45 λεπτών, ένα με σύγκεντρη και ένα με έκκεντρη σύσπαση των τετρακέφαλων μυών, με ρυθμό 30 στροφές/λεπτό και σταθερή αντίσταση που αντιστοιχεί στο 54% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (και στα δύο πρωτόκολλα) και διαπίστωσαν ότι η διακύμανση της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου δεν παρουσίασε κάποια διαφοροποίηση μεταξύ των δύο τύπων άσκησης. Και στις δύο περιπτώσεις η οξυγόνωση μειώθηκε σημαντικά μετά το δέκατο λεπτό ποδηλάτησης και παρέμεινε σε αυτά τα επίπεδα έως το τέλος της δοκιμασίας. Αντιθέτως, οι Peñailillo, Blazeovich & Nosaka (2017) διαπίστωσαν διαφοροποίηση στην οξυγόνωση του έξω πλατύ μεταξύ δύο πρωτοκόλλων σύγκεντρης και έκκεντρης ποδηλάτησης. Συγκεκριμένα, εφάρμοσαν δύο παρόμοια πρωτόκολλα διάρκειας 10 λεπτών το καθένα, στα οποία οι συμμετέχοντες (υγιείς και φυσικά δραστήριοι νεαροί άνδρες) ποδηλατούσαν με ταχύτητα 60 στροφές ανά λεπτό και ένταση στο 65% της μέγιστης δύναμης, με μόνη διαφορά ότι στο ένα η ποδηλάτηση γινόταν με σύγκεντρη σύσπαση των καμπτήρων της άρθρωσης του γόνατος, ενώ στο άλλο με έκκεντρη. Ο δείκτης ιστικής οξυγόνωσης ήταν 16% υψηλότερη στην περίπτωση της ποδηλάτησης με έκκεντρη σύσπαση του έξω πλατύ μηριαίου.

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Συμμετέχοντες

Στην παρούσα μελέτη έλαβαν μέρος 8 φυσικά δραστήρια άτομα (2 γυναίκες και 6 άνδρες), με μέσο όρο ηλικίας $39,0 \pm 9,5$ έτη. Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους ήταν: σωματική μάζα $79,17 \pm 15,95$ kg, ύψος $173,00 \pm 0,14$ cm και δείκτης μάζας σώματος (ΔΜΣ) $26,30 (\pm 3,55)$ kg/m². Το δείγμα επιλέχθηκε με τη μέθοδο της βολικής δειγματοληψίας (Γαλατά, 2017). Κανένα από τα συμμετέχοντα άτομα δεν είχε ιατρικό ιστορικό πρόσφατων ή/και σοβαρών μυοσκελετικών τραυματισμών, καρδιαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα ή άλλες παθήσεις που σχετίζονται με περιορισμένη παροχή οξυγόνου στους ιστούς. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, τα συμμετέχοντα άτομα έδωσαν γραπτή συγκατάθεση (Παράρτημα 8.2), βάσει της οποίας ενημερώνονταν ότι η διαδικασία στην οποία θα υποβληθούν είναι ακίνδυνη, η συμμετοχή τους είναι εθελοντική και έχουν το δικαίωμα να αποσυρθούν ανά πάσα στιγμή, χωρίς οποιαδήποτε συνέπεια, τα στοιχεία που θα συλλεχθούν θα είναι απόρρητα και διαθέσιμα σε αυτούς όποτε το επιθυμήσουν και οι φωτογραφίες που τυχόν ληφθούν θα υποστούν ψηφιακή επεξεργασία προκειμένου το πρόσωπό τους να μην είναι εμφανές. Η παρούσα ερευνητική πρόταση εγκρίθηκε από την εσωτερική επιτροπή ερευνητικής δεοντολογίας-βιοηθικής της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, βάσει της αριθ. πρωτοκόλλου 1513/19-04-2023 απόφασης.

3.2 Μετρήσεις - Εξοπλισμός

3.2.1 Φυσική δραστηριότητα - Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά - Κυλιόμενος διάδρομος

Το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας των συμμετεχόντων αξιολογήθηκε με τη χρήση της ελληνικής έκδοσης του τροποποιημένου ερωτηματολογίου Baecke για τη συνήθη φυσική δραστηριότητα (Strimpakos κ.ά., 2015), το οποίο παρατίθεται στο Παράρτημα 8.1 της παρούσας. Για τη μέτρηση των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών (σωματική μάζα και ύψος) των συμμετεχόντων χρησιμοποιήθηκε μία μηχανική ζυγαριά και αναστημόμετρο (Seca, GmbH & Co, Germany). Για το πρωτόκολλο βάρδιας που εφαρμόστηκε, χρησιμοποιήθηκε κυλιόμενος διάδρομος (Pluto[®] Med, h/p/cosmos[®] Sports & Medical GmbH, Nussdorf–Traunstein, Germany).

3.2.2 Καρδιακή συχνότητα - Αντιλαμβανόμενη κόπωση

Κατά τη διάρκεια του πρωτοκόλλου, η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) των συμμετεχόντων μετρήθηκε με ψηφιακό ρολόι Polar Ignite (Polar Electro oy, Kempele, Finland), ενώ η υποκειμενική αίσθηση της κόπωσής τους (RPE) καταγράφηκε βάσει της κλίμακας αντιλαμβανόμενης κόπωσης Borg (1982), η οποία παρατίθεται στο Παράρτημα 8.3 της παρούσας.

3.2.3 Μυϊκή οξυγόνωση

Η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου αξιολογήθηκε με τη μη επεμβατική μέθοδο NIRS. Η τεχνική αυτή βασίζεται κυρίως σε δύο χαρακτηριστικά του ανθρώπινου ιστού: α) τη διαπερατότητα του ιστού στο φως που εκπέμπεται στο εύρος της εγγύς υπερύθρου και β) στη δυνατότητα απορρόφησης αυτού του φωτός από την αιμοσφαιρίνη. Με τη χρήση διαφορετικών μηκών κύματος του φωτός, οι σχετικές αλλαγές στη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης είναι δυνατόν να καταγραφούν αδιαλείπτως. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα (Artinis Medical System, PortaMon, Zette, The Netherlands) εκπέμπει φως σε δύο μήκη κύματος, 760nm που απορροφάται από την απο-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και 850nm που απορροφάται από την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη. Ο αισθητήρας περιλαμβάνει τρεις πομπούς φωτός, για την ταυτόχρονη καταγραφή τριών σημείων του υποκείμενου μυός, και έναν δέκτη. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με συχνότητα 10Hz. Για την ανάλυση των δεδομένων ελήφθη υπόψη ο μέσος όρος των τιμών από τους τρεις πομπούς. Η συσκευή δίνει τιμές για την οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (O_2Hb), την από-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HHb), το άθροισμα οξυγονωμένης και απο-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (tHb), τη διαφορά μεταξύ οξυγονωμένης και απο-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ($HbDiff$) και τον δείκτη ιστικού κορεσμού (TSI), ο οποίος υπολογίζεται από τον τύπο $TSI = O_2Hb / (O_2Hb + HHb)$.

Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε παράλληλα με τον άξονα του μηριαίου οστού, 7 εκατοστά (cm) ψηλότερα από την κορυφή του έξω πλατύ μηριαίου του δεξιού ποδιού, σε ξυρισμένο δέρμα για τη βέλτιστη λήψη δεδομένων. Για την εύρεση του κατάλληλου σημείου τοποθέτησης του αισθητήρα, κάθε συμμετέχον άτομο εκτελούσε από καθιστή θέση εκούσια έκταση στην άρθρωση του γόνατος, ραχιαία κάμψη στην ποδοκνημική άρθρωση και στη συνέχεια έσω στροφή στην άρθρωση του ισχίου με σκοπό την καλύτερη σύσπαση του μυός. Για την αποτροπή διαστρέβλωσης του φωτός από τον ιδρώτα, ο αισθητήρας καλύφθηκε με διαφανή

μεμβράνη. Η σταθεροποίηση του αισθητήρα έγινε με τη χρήση αφρώδους, μη κολλητικής ταινίας (αράχνη) και στη συνέχεια με κολλητική ταινία από οξείδιο του ψευδαργύρου (**Εικόνα 3.1**). Για να διασφαλιστεί ο ενιαίος τρόπος τοποθέτησης του αισθητήρα σε όλα τα συμμετέχοντα άτομα, η τοποθέτησή του έγινε από τον ίδιο ερευνητή.



Εικόνα 3.1. Τοποθέτηση αισθητήρα συσκευής NIRS στον έξω πλατό μηριαίο

3.3 Πρωτόκολλο

Τα συμμετέχοντα άτομα παρουσιάστηκαν στον χώρο των μετρήσεων σε προγραμματισμένη ώρα. Η παραμονή κάθε συμμετέχοντος ατόμου στον χώρο των μετρήσεων διήρκησε συνολικά 60 λεπτά κατά μέσο όρο.

3.3.1. Προπαρασκευαστική διαδικασία

Κάθε συμμετέχον άτομο συμπλήρωσε, αρχικώς, τη δήλωση συγκατάθεσης για τη συμμετοχή του στη μελέτη και εν συνεχεία το ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας. Ακολούθως, λήφθηκε το ιατρικό ιστορικό τους και αμέσως μετά πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών. Σε κάθε συμμετέχον άτομο έγινε επεξήγηση της κλίμακας αντιλαμβανόμενης κόπωσης κατά Borg και ακολούθησε εξοικείωση στον κυλιόμενο διάδρομο. Συγκεκριμένα, κάθε συμμετέχον άτομο βάδισε, χωρίς υποδήματα, με ταχύτητα 4 km/h για έξι (6) λεπτά συνολικά, σε διαφορετικές κλίσεις, με την εξής ακολουθία (ανωφέρεια): 0%, +10%, +20% και 0%, για 1,5 λεπτό ανά κλίση, χωρίς παύση μεταξύ των κλίσεων, και άλλα έξι (6) λεπτά, στην ίδια ταχύτητα με την ακολουθία της κατωφέρειας, ήτοι 0%, -10%, -20% και 0% για 1,5 λεπτό ανά κλίση, χωρίς παύση μεταξύ των κλίσεων. Σημειώνεται ότι η εξοικείωση των συμμετεχόντων ακολουθούσε τη σειρά που θα τηρούνταν στο κυρίως πρωτόκολλο, δηλαδή τα άτομα που θα βάδιζαν πρώτα στην ακολουθία της ανωφέρειας και μετά σε αυτή της κατωφέρειας στο κυρίως πρωτόκολλο, εξοικειώνονταν πρώτα στη βάδιση σε ανωφέρεια και μετά στην κατωφέρεια και αντιστρόφως.

Ακολουθούσε παθητική αποκατάσταση σε καθιστή θέση, κατά τη διάρκεια της οποίας γινόταν η τοποθέτηση του αισθητήρα, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα (παράγραφος 3.2.3), και η τοποθέτηση του ψηφιακού ρολογιού για την καταγραφή της ΚΣ. Στην καθιστή θέση, και μετά από 5-10 λεπτά ανάπαυσης, λαμβάνονταν οι τιμές ηρεμίας της ΚΣ και αντιλαμβανόμενης κόπωσης.

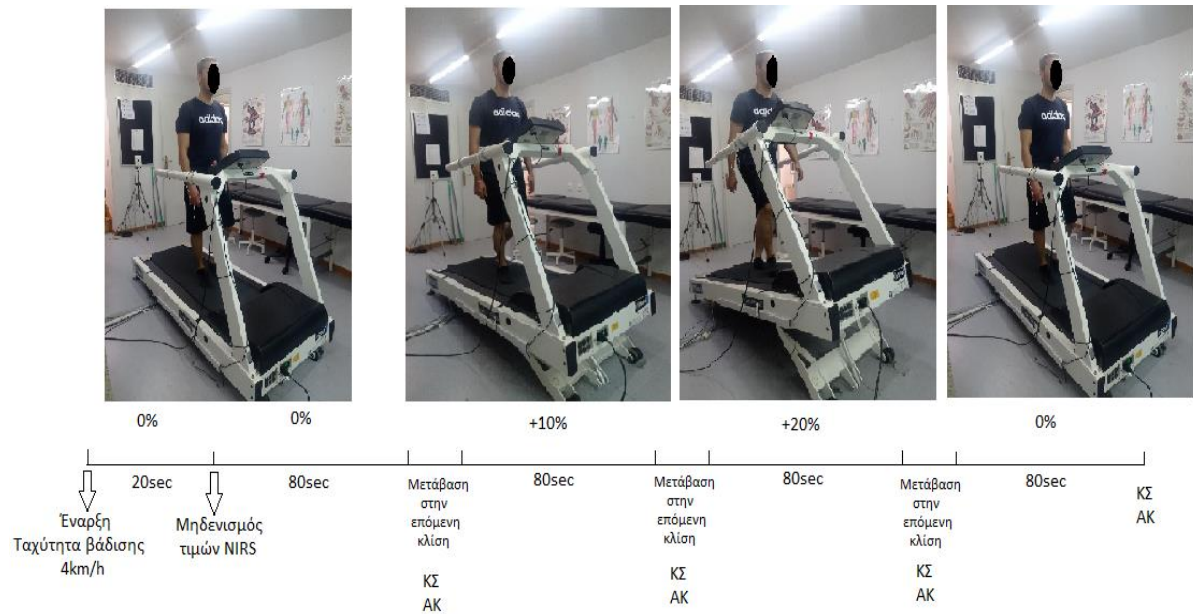
3.3.2 Κυρίως πρωτόκολλο μετρήσεων

Το κυρίως πρωτόκολλο των μετρήσεων περιελάμβανε δύο μέρη για κάθε δοκιμαζόμενο. Το ένα αφορούσε στην αξιολόγηση της μυϊκής οξυγόνωσης στην

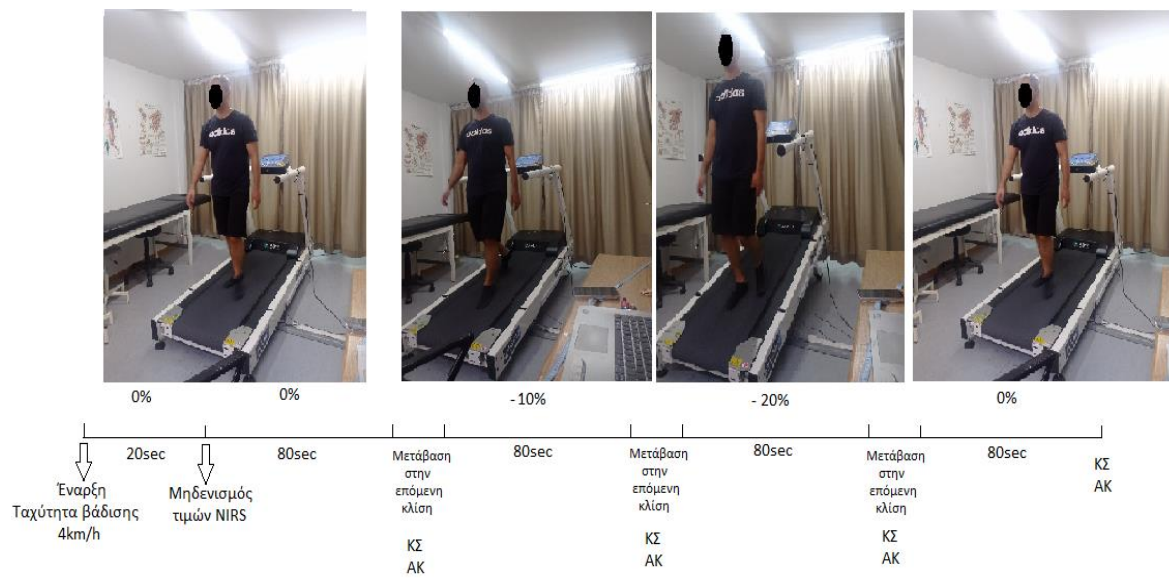
ανωφέρεια και το άλλο στην κατωφέρεια. Και στα δύο μέρη του πρωτοκόλλου κάθε δοκιμαζόμενο άτομο ανέβαινε στον κυλιόμενο διάδρομο χωρίς υποδήματα και ο ερευνητής αύξανε την ταχύτητά του από τα 0km/h έως τα 4km/h σε σταθερή κλίση 0%. Όταν η ταχύτητα έφτανε τα 4km/h, χρονομετρούνταν 20 δευτερόλεπτα και αμέσως μετά γινόταν μηδενισμός των τιμών των παραμέτρων μυϊκής οξυγόνωσης της συσκευής NIRS. Καθώς η συσκευή NIRS δεν καταγράφει απόλυτες τιμές, παρά μόνο σχετικές, ο μηδενισμός των τιμών στο σημείο αυτό εξυπηρετούσε τη συγκριτική αξιολόγηση των τιμών στις διάφορες κλίσεις. Μετά τον μηδενισμό των τιμών στη συσκευή NIRS, τα συμμετέχοντα άτομα συνέχιζαν να βαδίζουν στον διάδρομο, με τα δύο μέρη του πρωτοκόλλου να έχουν ως εξής: στο μέρος που αφορούσε στην ανωφέρεια κάθε δοκιμαζόμενος βάδιζε, με σταθερή ταχύτητα 4Km/h, διαδοχικά σε κλίση 0%, +10%, +20% και ξανά 0% για 80 δευτερόλεπτα ανά κλίση, χωρίς ενδιάμεση παύση, ενώ στο μέρος που αφορούσε στην κατωφέρεια κάθε δοκιμαζόμενος βάδιζε, με σταθερή ταχύτητα 4Km/h, διαδοχικά σε κλίση 0%, -10%, -20% και ξανά 0% για 80 δευτερόλεπτα ανά κλίση, χωρίς ενδιάμεση παύση.

Η επιλογή των συγκεκριμένων κλίσεων βασίστηκε στις κλίσεις των επιφανειών που συνήθως συναντούνται στις αστικές περιοχές ή των διαδρομών που προτείνονται για αναψυχή (Zhou κ.ά., 2021). Η σειρά με την οποία εφαρμόστηκαν τα δύο μέρη του πρωτοκόλλου ήταν τυχαία, με τα μισά άτομα να εκτελούν πρώτα το μέρος που αφορούσε στην ανωφέρεια και τα άλλα μισά να εκτελούν πρώτα το μέρος που αφορούσε στην κατωφέρεια.

Η ΚΣ και η αντιλαμβανόμενη κόπωση καταγράφονταν μετά το πέρας των 80 δευτερολέπτων σε κάθε κλίση. Μεταξύ των δύο μερών του πρωτοκόλλου τα δοκιμαζόμενα άτομα αναπαύονταν σε καθιστή θέση έως ότου η ΚΣ επιστρέψει στην τιμή ηρεμίας.



Σχήμα 3.1 Χρονική αλληλουχία επιμέρους φάσεων του πρωτοκόλλου ανωφέρειας.



Σχήμα 3.2 Χρονική αλληλουχία επιμέρους φάσεων του πρωτοκόλλου κατωφέρειας.

3.4. Στατιστική ανάλυση

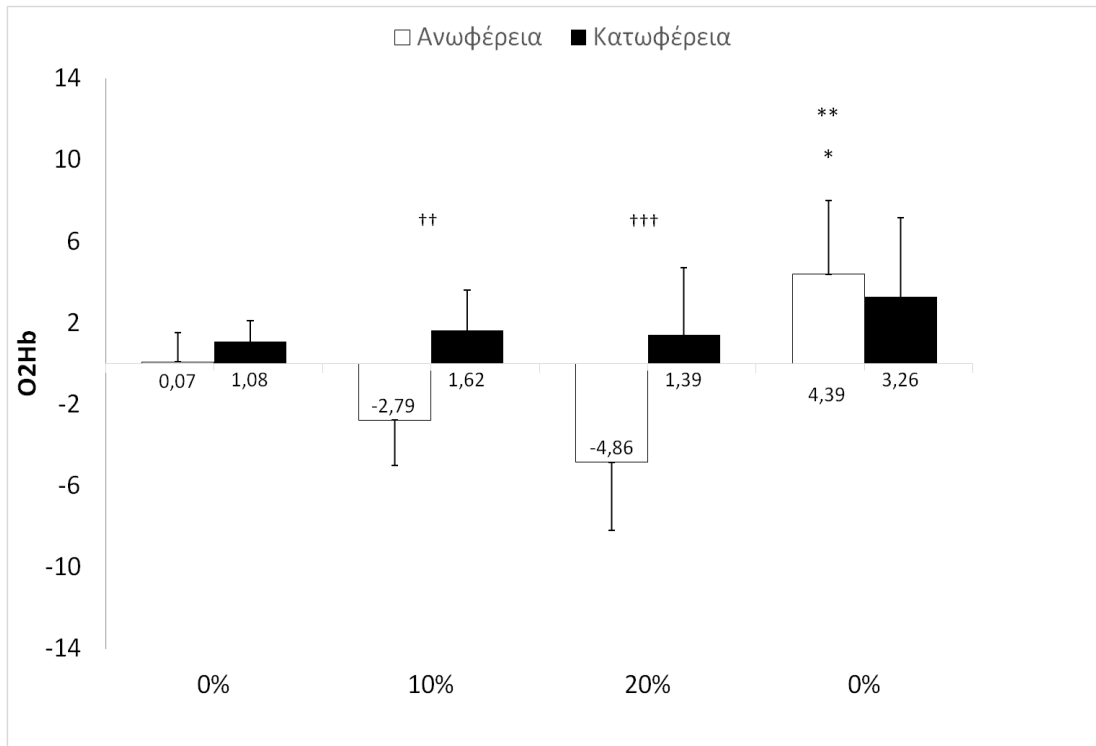
Η συσκευή NIRS κατέγραφε τις τιμές των παραμέτρων οξυγόνωσης καθ' όλη τη διάρκεια του πρωτοκόλλου, ωστόσο για τη στατιστική ανάλυση των τιμών αυτών λήφθηκαν υπόψη τα πρώτα 60 δευτερόλεπτα από κάθε κλίση. Για την ανάλυση διακύμανσης των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ANOVA σε δύο επίπεδα (two-way ANOVA) προκειμένου να διαπιστωθούν τυχόν διαφορές μεταξύ των παραμέτρων οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου και της κατεύθυνσης της κλίσης (ανωφέρεια ή κατωφέρεια), καθώς και μεταξύ των παραμέτρων οξυγόνωσης και των κλίσεων βάρδισης (αρχικό 0%, 10%, 20% και τελικό 0%).

Αρχικώς, αναλύθηκαν οι κύριες επιδράσεις και ακολούθως έγινε ανάλυση κατά ζεύγη μεταξύ των επιμέρους συνθηκών. Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε χρήση του λογισμικού στατιστικής επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων SPSS 25.0 (IBM Corp, Armonk, NY, USA), ενώ το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε σε τρεις τιμές, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ και $p \leq 0,001$.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Παράμετροι οξυγόνωσης του έξω πλατύ μηριαίου

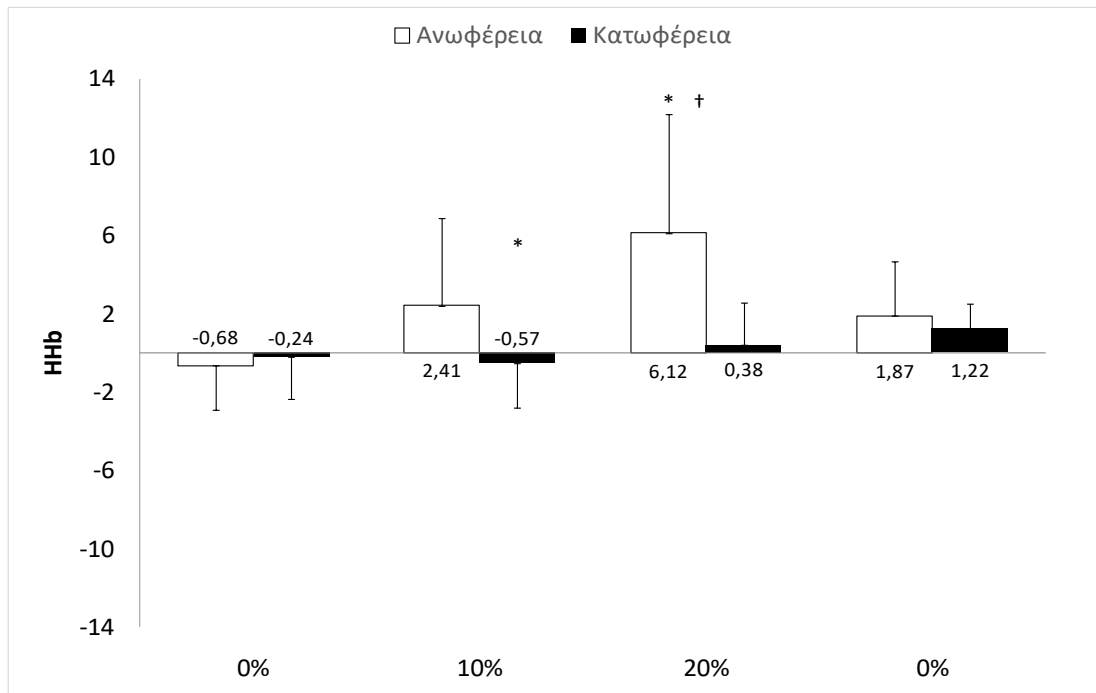
Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έδειξε σημαντικές κύριες επιδράσεις της κλίσης ($F=14,905$, $p<0,001$ και $\eta^2=0,680$) και της κατεύθυνσης – ανωφέρεια/κατωφέρεια – ($F=11,349$, $p<0,05$ και $\eta^2=0,619$), καθώς και σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ της κλίσης και της κατεύθυνσης για την O_2Hb (βλέπε **Σχήμα 4.1** για την αλληλεπίδραση κατά ζεύγη). Συγκεκριμένα, η συνθήκη της ανωφέρειας προκάλεσε μείωση της O_2Hb σε σχέση με τη βάρδιση σε επίπεδη επιφάνεια, με τη μείωση να είναι μεγαλύτερη στην κλίση +20%. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σημαντική αύξηση ($p<0,01$) της O_2Hb κατά την επαναφορά στην επίπεδη βάρδιση από την ανωφέρεια +20%, με την αντίστοιχη επαναφορά από την κατωφέρεια να προκαλεί επίσης αύξηση της O_2Hb , χωρίς ωστόσο να είναι σημαντική ($p>0,05$).



Σχήμα 4.1. Η εξέλιξη της O₂Hb στα δύο μέρη του πρωτοκόλλου.

* στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κλίσεων με $p < 0,05$ · ** στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κλίσεων με $p < 0,01$ · †† στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κατευθύνσεων με $p < 0,01$ · ††† στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κατευθύνσεων με $p < 0,001$.

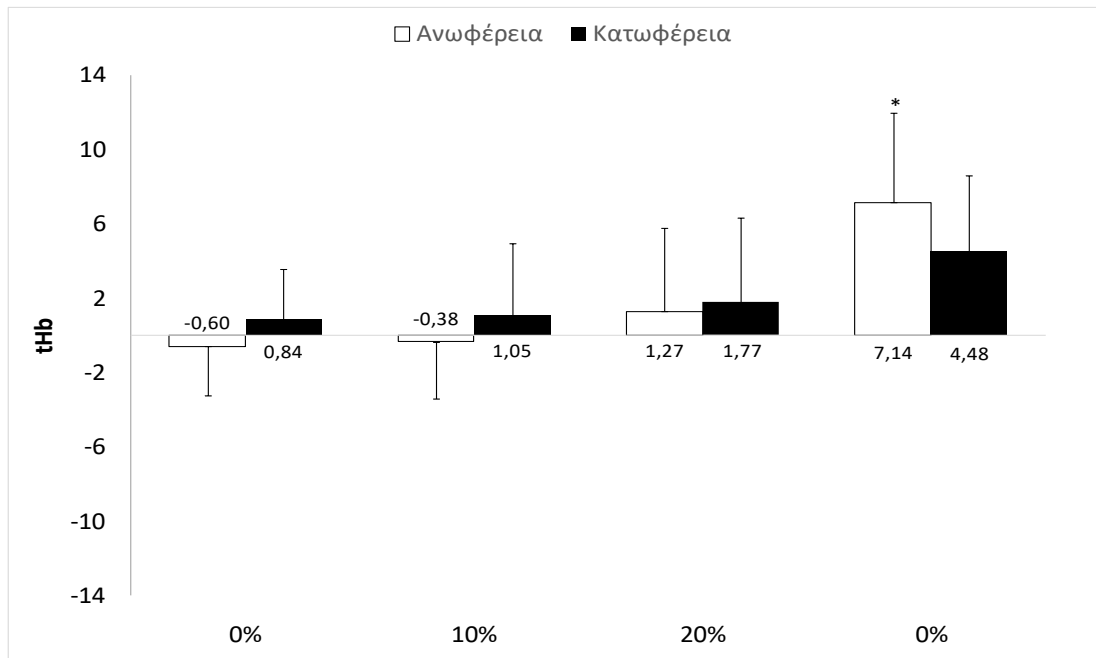
Σημαντική κύρια επίδραση κατέγραψε μόνο η κλίση ($F=11,944$, $p < 0,001$ και $\eta^2=0,630$) για την HHb. Υπήρξε, επίσης, σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ της κλίσης και της κατεύθυνσης για την HHb (βλ. **Σχήμα 4.2** για την κατά ζεύγη αλληλεπίδραση). Η ανωφέρεια προκάλεσε αύξηση στην HHb σε σχέση με την επίπεδη βάρδιση, η οποία ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στην κλίση +20% ($p < 0,05$).



Σχήμα 4.2. Η εξέλιξη της HHb στα δύο μέρη του πρωτοκόλλου.

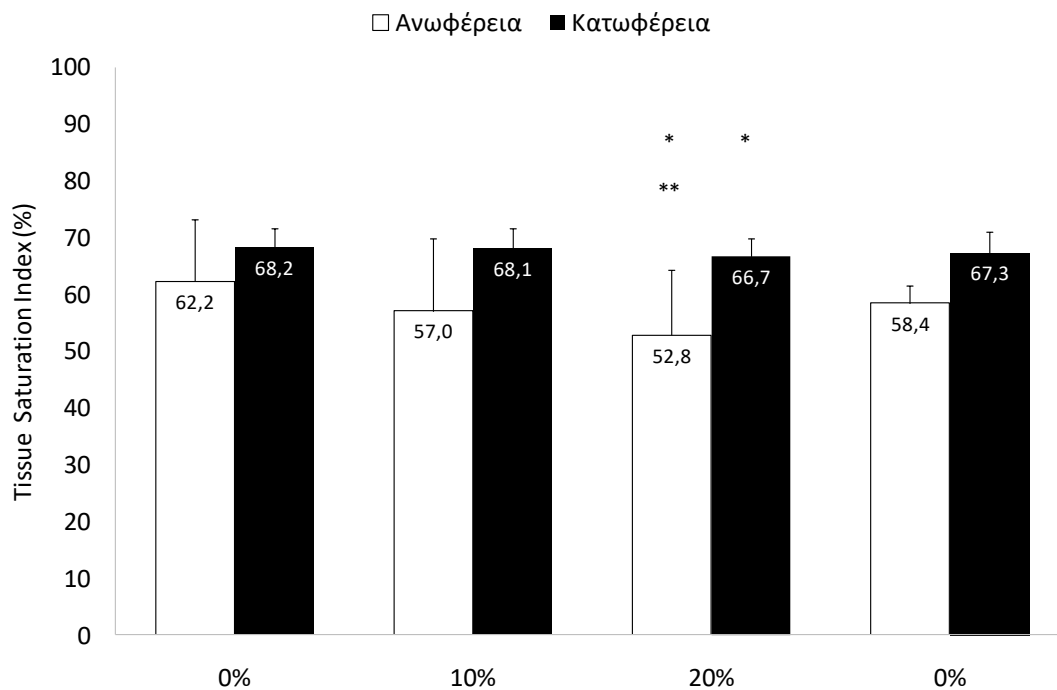
* στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κλίσεων με $p < 0,05$ · † στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κατευθύνσεων με $p < 0,05$.

Στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση είχε μόνο η κλίση ($F=13,634$, $p < 0,001$ και $\eta^2=0,661$) για την tHb. Δεν καταγράφηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της κλίσης και της κατεύθυνσης για την tHb, ωστόσο η επαναφορά στην κλίση 0% από την ανωφέρεια +20% επέφερε σημαντική αύξηση ($p < 0,05$) στην tHb (βλ. **Σχήμα 4.3** για την κατά ζεύγη αλληλεπίδραση).



Σχήμα 4.3. Η επίδραση των δύο μερών του πρωτοκόλλου στην tHb.
 * στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κλίσεων με $p < 0,05$.

Ως προς τον Δείκτη Ιστικού Κορεσμού (TSI%), η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έδειξε κύρια επίδραση μόνο για την κλίση ($F=6,120$, $p < 0,01$ και $\eta^2=0,466$), ενώ καταγράφηκε και σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ της κλίσης και της κατεύθυνσης (βλ. **Σχήμα 4.4** για την κατά ζεύγη αλληλεπίδραση). Ο δείκτης TSI μειώθηκε σημαντικά στη συνθήκη της ανωφέρειας σε σχέση με τη βάρδια σε κλίση 0%, με τη μείωση να είναι μεγαλύτερη στην ανωφέρεια +20% ($p < 0,01$).



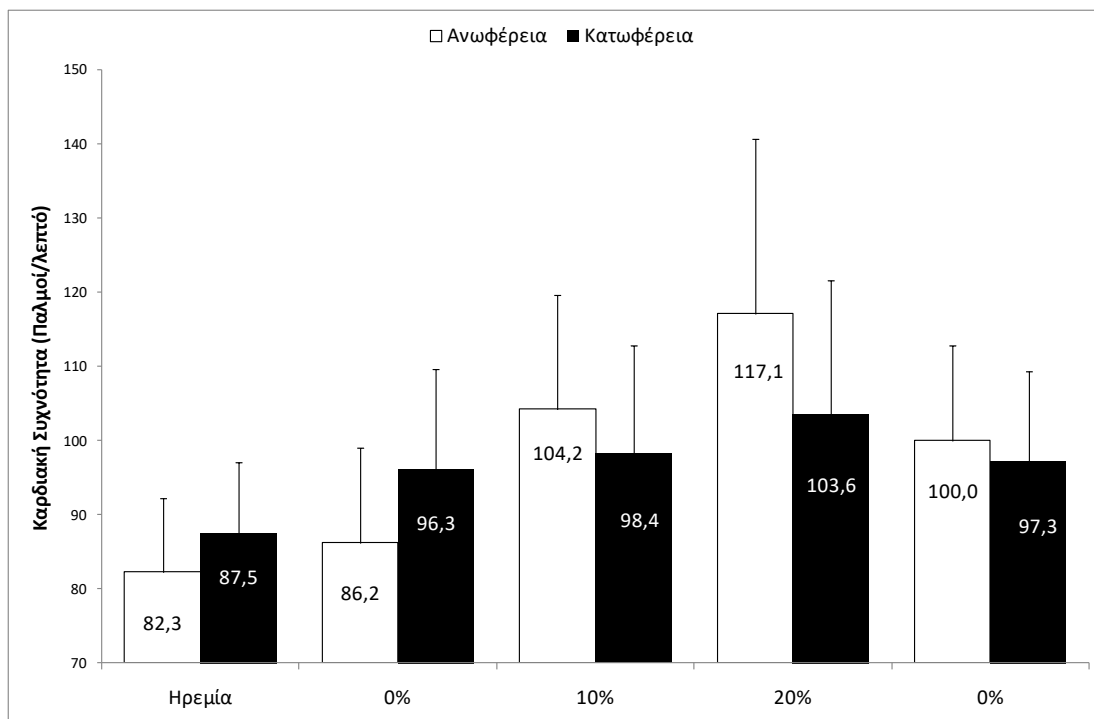
Σχήμα 4.4. Μεταβολές του Δείκτη Ιστικού Κορεσμού (TSI) κατά τη διάρκεια των δύο μερών του πρωτοκόλλου.

* στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κλίσεων με $p < 0,05$ · ** στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κλίσεων με $p < 0,01$.

Επισημαίνεται ότι, λόγω του μηδενισμού των τιμών των παραμέτρων της οξυγόνωσης που κατέγραφε η συσκευή NIRS μετά το πέρας των πρώτων 20'' βάρδισης στον κυλιόμενο διάδρομο, οι τιμές της O₂Hb και της HHb στην αρχική συνθήκη 0%, και των δύο μερών του πρωτοκόλλου, ήταν κοντά στο μηδέν. Οι αποκλίσεις που παρουσιάστηκαν στις τιμές των ανωτέρω παραμέτρων οξυγόνωσης κατά την αρχική συνθήκη 0%, μεταξύ των δύο μερών του πρωτοκόλλου, ήταν στατιστικά μη σημαντικές.

4.2 Καρδιακή συχνότητα και αντιλαμβανόμενη κόπωση

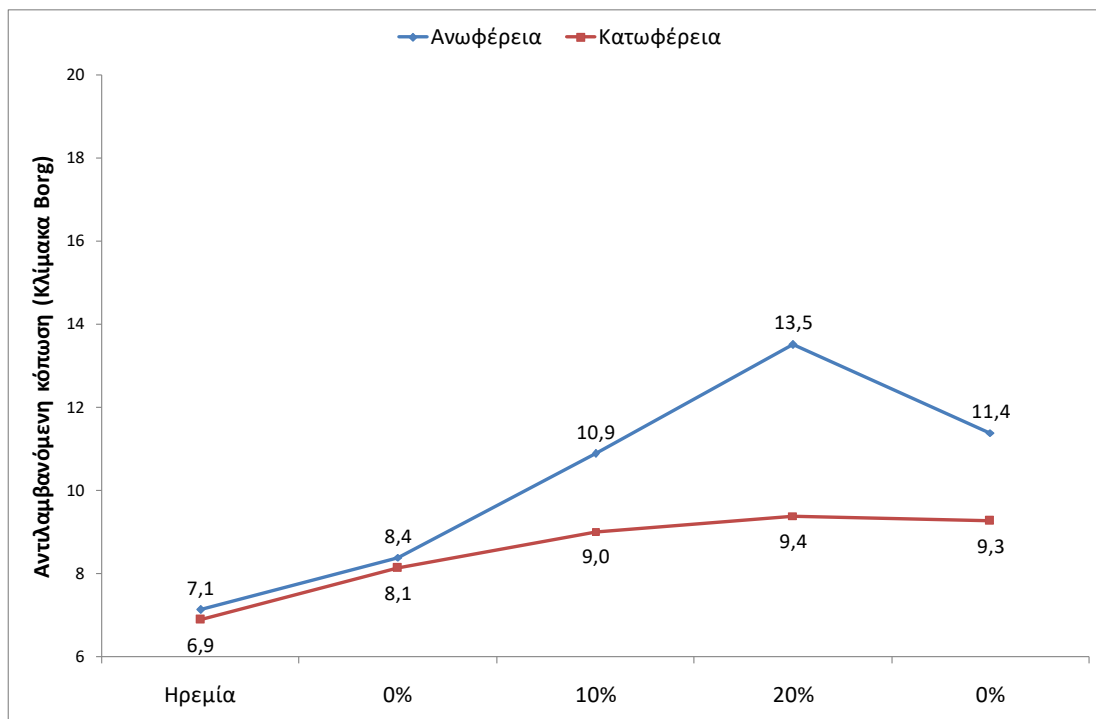
Η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ), όπως αναμενόταν, αλληλεπίδρασε εντονότερα με τη βάδιση στην ανωφέρεια σε σχέση με την κατωφέρεια, λόγω των υψηλότερων καρδιοαναπνευστικών απαιτήσεων που συνεπάγεται η πρώτη (**Σχήμα 4.5**). Η κλίση 10% επέφερε αύξηση της ΚΣ, ενώ η κλίση 20% την αύξησε ακόμη περισσότερο. Η επαναφορά στην κλίση 0% επανέφερε την ΚΣ σε χαμηλότερα επίπεδα, όχι όμως στα ίδια με την αρχική βάδιση σε κλίση 0%. Η ΚΣ κατά τη διάρκεια του πρωτοκόλλου της κατωφέρειας ακολούθησε παρόμοια πορεία με την ανωφέρεια, ωστόσο οι μεταβολές της ήταν σαφώς μικρότερες σε μέγεθος.



Σχήμα 4.5. Καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια των δύο μερών του πρωτοκόλλου.

Τέλος, η αντιλαμβανόμενη κόπωση (ΑΚ) κατά Borg επηρεάστηκε από τη βάδιση στην ανωφέρεια σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με την κατωφέρεια, όπως εξάλλου αναμενόταν, σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο (**Σχήμα 4.6**). Στην

ανωφέρεια, η κλίση 10% προκάλεσε ελαφρά κόπωση, ενώ η κλίση 20% χαρακτηρίστηκε ως κάπως δύσκολη άσκηση. Αντιθέτως, η κατωφέρεια, και στις δύο κλίσεις (-10% και -20%), συνοδεύτηκε από αύξηση ενός μόνο επιπέδου της κλίμακας Borg, σε σχέση με τη βάρδιση σε μηδενική κλίση, προκαλώντας πολύ ελαφρά κόπωση. Η αντιλαμβανόμενη κόπωση μειώθηκε και στα δύο μέρη του πρωτοκόλλου κατά την επαναφορά στη βάρδιση 0%, ωστόσο η μείωση ήταν μεγαλύτερη στο πρωτόκολλο της ανωφέρειας.



Σχήμα 4.6. Αντιλαμβανόμενη κόπωση (κλίμακα Borg) κατά τη διάρκεια των δύο μερών του πρωτοκόλλου.

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Βάσει των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης καταγράφηκε κύρια επίδραση της κλίσης για τις O₂Hb, HHb, tHb και τον δείκτη TSI, ενώ η κατεύθυνση (ανωφέρεια/κατωφέρεια) είχε σημαντική επίδραση μόνο για την O₂Hb. Σημαντική αλληλεπίδραση διαπιστώθηκε μεταξύ της κλίσης και της κατεύθυνσης για τις O₂Hb, HHb και τον TSI. Συγκεκριμένα, η συνθήκη της ανωφέρειας επέφερε μείωση της O₂Hb και του TSI και αύξηση της HHb, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στην επίπεδη βάρδιση, με τις μεταβολές να είναι εντονότερες στην κλίση +20%. Η κατωφέρεια συγκρινόμενη με την επίπεδη βάρδιση δεν προκάλεσε σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους της οξυγόνωσης.

Η διαφορετική επίδραση της ανωφέρειας και της κατωφέρειας στην οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου πιθανώς οφείλεται σε διαφορές ως προς τη λειτουργία του τετρακέφαλου μυός και τις μεταβολικές απαιτήσεις σε αυτές τις δύο συνθήκες. Στην ανωφέρεια ο τετρακέφαλος μυς εκτελεί κυρίως σύγκεντρες συσπάσεις, ενώ στην κατωφέρεια συσπάται κατά κύριο λόγο έκκεντρα. Πέραν αυτού, η ανωφέρεια συνδέεται με αυξημένη παραγωγή έργου και κατ' επέκταση μεγαλύτερο μεταβολικό κόστος σε σχέση με την κατωφέρεια, με το τελευταίο να αυξάνεται όσο αυξάνεται η κλίση της ανωφέρειας.

Σύμφωνα με τους Okamoto, Masuhara και Ikuta (2006) οι έκκεντρες συσπάσεις συνδέονται με μειωμένη κατανάλωση ATP σε σχέση με τις σύγκεντρες. Οι Peñailillo, Blazeovich και Nosaka (2017) πρότειναν τρεις πιθανές αιτίες για το χαμηλότερο ενεργειακό κόστος των έκκεντρων συσπάσεων: α) η μηχανική αποσύνδεση της κεφαλής της μυοσίνης από την ακτίνη, κατά τον κύκλο των εγκάρσιων γεφυρών, χωρίς τη χρησιμοποίηση ATP που παρατηρείται κατά την έκκεντρη σύσπαση, β) κατά την επιμήκυνση του μυός στις έκκεντρες συσπάσεις, αποθηκεύεται ενέργεια στο μυοτενόντιο σύνολο, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο τις συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις και γ) η ενεργοποίηση των πρωταγωνιστών

και ανταγωνιστών μυών κατά την έκκεντρη σύσπαση είναι χαμηλότερη σε σχέση με τη σύγκεντρη.

Στις φυσικές δραστηριότητες και ασκήσεις μέτριας έντασης, διάρκειας λίγων λεπτών, όπως αυτή που μελετήθηκε στην παρούσα μελέτη, όπου η απαιτούμενη ενέργεια παράγεται κυρίως από το οξειδωτικό σύστημα, η χαμηλότερη κατανάλωση ATP συνεπάγεται μικρότερη κατανάλωση οξυγόνου. Στους εργαζόμενους μυς παρατηρούνται μεταβολές στην αιμοδυναμική ισορροπία, ήτοι αύξηση της HHb και μείωση της O₂Hb (Cherouneim κ.α., 2021). Οι μεταβολές στην HHb θεωρείται ότι αντικατοπτρίζουν σε μεγάλο βαθμό την εξαγωγή (O₂extraction)/κατανάλωση οξυγόνου από τους εργαζόμενους μυς κατά τη διάρκεια σταθερού παραγόμενου έργου (Grassi, 2005), ενώ ο δείκτης οξυγόνωσης (TSI), όπως υπολογίζεται από τη συσκευή NIRS, αντικατοπτρίζει το ισοζύγιο μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου στους υποκείμενους ιστούς (Cherouneim κ.α., 2021). Οι μεταβολές που καταγράφονται κατά τη διάρκεια της άσκησης στην tHb σχετίζονται με τις αυξήσεις στον όγκο του αίματος τοπικά (μικροαγγείωση) (Cardinale κ.ά., 2007 · DeBalssi κ.ά., 1994).

Βάσει των ανωτέρω, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης μπορεί να στηριχθεί στις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις που συνδέονται με τη βάρδια στην ανωφέρεια σε σχέση με την κατωφέρεια. Η ανωφέρεια προκάλεσε σημαντική αύξηση της HHb και μείωση της O₂Hb και του δείκτη TSI, γεγονός που καταδεικνύει τη μειωμένη οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου, κυρίως λόγω της αυξημένης κατανάλωσης οξυγόνου, καθώς η tHb δε μεταβλήθηκε σημαντικά. Οι μεταβολές αυτές ήταν εντονότερες στην κλίση +20% πιθανώς λόγω του αυξημένου μεταβολικού κόστους.

Ένα αξιοσημείωτο εύρημα της παρούσας μελέτης είναι ότι ενώ κατά τη διάρκεια του πρωτοκόλλου τόσο η ανωφέρεια όσο και η κατωφέρεια δεν προκάλεσαν σημαντικές μεταβολές στην tHb, κατά την επαναφορά στην επίπεδη βάρδια (κλίση 0%), τόσο από την ανωφέρεια (+20%) όσο και από την κατωφέρεια (-20%), παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση των τιμών της tHb και της O₂Hb

(υπερπλήρωση), με τη μεταβολή να είναι εντονότερη στην πρώτη περίπτωση (**Σχήμα 4.1. και 4.3**). Αυτή η υπερπλήρωση παρατηρείται και μετά από άσκηση αυξανόμενης έντασης έως την εξάντληση σε κυκλοεργόμετρο (Bhambhani, 2004) όπου η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου παρουσίασε ταχεία αύξηση. Παρόμοιο αποτέλεσμα (Hartel κ.ά., 2011) έδειξε και η οξυγόνωση της έξω κεφαλής του γαστροκνημίου και του υποκνημιδίου μυός σε σταδιακά αυξανόμενης έντασης διαλειμματική άσκηση (βάδιση σε δαπεδοεργόμετρο με σταδικά αυξανόμενη θετική κλίση) και συγκεκριμένα στις περιόδους των διαλειμμάτων όπου η οξυγόνωση των μυών ξεπερνούσε την τιμή προ της έναρξης του πρωτοκόλλου. Τα παραπάνω δεδομένα αποδεικνύουν ότι η μείωση της ανάγκης του μυός για οξυγόνο κατά τη βάδιση σε επίπεδη επιφάνεια ή κατά τη διάρκεια διαλείμματος μετά από βάδιση σε ανωφέρεια δε συνοδεύεται από μείωση της ποσότητας οξυγόνου που φτάνει σε αυτόν. Από την άλλη πλευρά, η ΚΣ των συμμετεχόντων στην παρούσα μελέτη αυξήθηκε τόσο στην ανωφέρεια όσο και στην κατωφέρεια, με την αύξηση να είναι μεγαλύτερη στην πρώτη συνθήκη (**Σχήμα 4.5**).

Η αυξημένη ενδομυϊκή πίεση που εκδηλώνεται κατά τη σύσπαση των μυών αποτελεί πιθανώς τον λόγο για τον οποίο η αυξημένη συνολική παροχή αίματος που προέρχεται από την αυξημένη ΚΣ δε μεταφράστηκε σε αύξηση της τοπικής αιμάτωσης του έξω πλατύ μηριαίου, όπως αυτή υπολογίζεται από την tHb (Peñailillo, Blazevich και Nosaka, 2017). Κατά την επαναφορά στη βάδιση με κλίση 0%, πιθανώς υπήρξε μερική χαλάρωση του τετρακέφαλου μυός (Buchheit, 2010), με αποτέλεσμα την αύξηση της τοπικής αιματικής παροχής, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ΚΣ διατηρήθηκε σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τη βάδιση σε κλίση 0% στην αρχή του πρωτοκόλλου. Σε κάθε περίπτωση, η τεκμηρίωση των λόγων που προκάλεσαν τη σημαντική αύξηση της τοπικής αιματικής παροχής (tHb) και την υπερπλήρωση οξυγόνου (O_2Hb) κατά την επαναφορά στην επίπεδη βάδιση προϋποθέτει τη συλλογή περισσότερων δεδομένων που δεν ήταν διαθέσιμα στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί επίσης ότι ένας διαφορετικός σχεδιασμός του πρωτοκόλλου βάδισης (π.χ. με διαλείμματα μεταξύ

των διαφόρων κλίσεων βάδισης ή με μεγαλύτερη διάρκεια βάδισης) να είχε ως αποτέλεσμα την καταγραφή διαφορετικών δεδομένων οξυγόνωσης για τον έξω πλατύ μηριαίο. Αυτό μάλιστα στηρίζεται και από έρευνα (Quaresima κ.ά., 1995), που μελέτησε τη βάδιση σε διάδρομο με θετική κλίση (από 0° έως 16°, αυξανόμενη κατά 4° ανά 2 λεπτά) και ταχύτητα 1,6 km/h και όπου διαπιστώθηκε ότι η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου παρέμεινε αμετάβλητη.

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η κύρια ερευνητική υπόθεση H_a επαληθεύθηκε καθώς η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου επηρεάστηκε από την κλίση της βάδισης σε κυλιόμενο διάδρομο με σταθερή ταχύτητα 4km/h. Συγκεκριμένα, η βάδιση σε ανωφέρεια, όπου κυριαρχούν οι σύγκεντρες συσπάσεις του τετρακέφαλου μυός, προκάλεσε σημαντική μείωση του δείκτη οξυγόνωσης (TSI). Αντιθέτως, η βάδιση σε κατωφέρεια, όπου ο τετρακέφαλος μυς συσπάται κυρίως έκκεντρα, δεν επηρέασε σημαντικά τις παραμέτρους οξυγόνωσης του υπό εξέταση μυός. Οι περιορισμοί της παρούσας μελέτης, δεν επιτρέπουν τη γενίκευση των συμπερασμάτων, ωστόσο η περαιτέρω διερεύνηση της οξυγόνωσης σε ευρύτερους πληθυσμούς και σε περισσότερους μυς των κάτω άκρων μπορούν να συμβάλλουν στη διαμόρφωση ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την επίδραση της κλίσης της βάδισης στην οξυγόνωση των μυών των κάτω άκρων.

Βάσει των συμπερασμάτων της παρούσας μελέτης, οι ειδικοί στον χώρο της φυσικής αγωγής και του αθλητισμού μπορούν είτε να προσαρμόζουν την κλίση του εδάφους είτε την κατεύθυνση της βάδισης σε κεκλιμένο επίπεδο (από ανωφέρεια σε κατωφέρεια) ώστε να μη διαταράσσεται σε μεγάλο βαθμό η οξυγόνωση των εργαζόμενων μυών των κάτω άκρων των ασκούμενων. Η προσαρμογή της κλίσης του εδάφους της βάδισης μπορεί να είναι ωφέλιμη σε πληθυσμούς που αντιμετωπίζουν προβλήματα από την περιορισμένη περιφερική παροχή οξυγόνου στους ιστούς, υπό την προϋπόθεση προηγούμενης σχετικής διερεύνησης της επίδρασης της κλίσης της βάδισης στην οξυγόνωση των μυών των κάτω άκρων αυτών των πληθυσμών.

VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbott, B. C., Bigland, B., & Ritchie, J. M. (1952). The physiological cost of negative work. *The Journal of physiology*, 117(3), 380–390.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004755>

Azuma, K., Homma, S., & Kagaya, A. (2000). Oxygen supply-consumption balance in the thigh muscles during exhausting knee-extension exercise. *Journal of biomedical optics*, 5(1), 97–101. <https://doi.org/10.1117/1.429974>

Bae, S. Y., Hamaoka, T., Katsumura, T., Shiga, T., Ohno, H., & Haga, S. (2000). Comparison of muscle oxygen consumption measured by near infrared continuous wave spectroscopy during supramaximal and intermittent pedalling exercise. *International journal of sports medicine*, 21(3), 168–174. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8880>

Belardinelli, R., Barstow, T. J., Porszasz, J., & Wasserman, K. (1995). Skeletal muscle oxygenation during constant work rate exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(4), 512–519.

Bhambhani Y. N. (2004). Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy. *Canadian journal of applied physiology*, 29(4), 504–523. <https://doi.org/10.1139/h04-033>

Bhambhani, Y. N., Maikala, R., & Esmail, S. (2001). Oxygenation trends in vastus lateralis muscle during incremental and intense anaerobic cycle exercise in young men and women. *European journal of applied physiology*, 84(6), 547–556. <https://doi.org/10.1007/s004210000372>

Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.

Buchheit M. (2010). Performance and physiological responses to repeated-sprint and jump sequences. *European journal of applied physiology*, 110(5), 1007–1018. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1587-3>

Cardinale, M., Ferrari, M., & Quaresima, V. (2007). Gastrocnemius medialis and vastus lateralis oxygenation during whole-body vibration exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4), 694–700. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31803084d8>

Chance, B., Dait, M. T., Zhang, C., Hamaoka, T., & Hagerman, F. (1992). Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *The American journal of physiology*, 262(3 Pt 1), C766–C775. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1992.262.3.C766>

Cherouveim, E. D., Margaritelis, N. V., Koulouvaris, P., Tsolakis, C., Malliou, V. J., Chatzinikolaou, P. N., Franchi, M. V., Porcelli, S., Kyparos, A., Vrabas, I. S.,

Geladas, N. D., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2022). Skeletal muscle and cerebral oxygenation levels during and after submaximal concentric and eccentric isokinetic exercise. *Journal of sports sciences*, 40(2), 195–202. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1983248>

Christmass, M. A., Dawson, B., Passeretto, P., & Arthur, P. G. (1999). A comparison of skeletal muscle oxygenation and fuel use in sustained continuous and intermittent exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(5), 423–435. <https://doi.org/10.1007/s004210050614>

Chuang, M. L., Ting, H., Otsuka, T., Sun, X. G., Chiu, F. Y., Hansen, J. E., & Wasserman, K. (2002). Muscle deoxygenation as related to work rate. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(10), 1614–1623. <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00013>

Γαλατά, Π. Β. (2017). Δειγματοληψία. Στο Π.Β. Γαλατά (Επιμ.), *Η διεξαγωγή της έρευνας στην εκπαίδευση ενηλίκων* (σ. 134-144).

Davis, P. R., Yakel, J. P., & Anderson, D. J. F. (2020). Muscle oxygen demands of the vastus lateralis in back and front squats. *International journal of exercise science*, 13(6), 734–743. Ανακτήθηκε από: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7241635/>

De Blasi, R. A., Ferrari, M., Natali, A., Conti, G., Mega, A., & Gasparetto, A. (1994). Noninvasive measurement of forearm blood flow and oxygen consumption by near-infrared spectroscopy. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 76(3), 1388–1393. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.3.1388>

Denis, R., Bringard, A., & Perrey, S. (2011). Vastus lateralis oxygenation dynamics during maximal fatiguing concentric and eccentric isokinetic muscle actions. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 21(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.12.006>

Duchateau, J., & Baudry, S. (2014). Insights into the neural control of eccentric contractions. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 116(11), 1418–1425. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00002.2013>

Dufour, S. P., Lampert, E., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Billat, V. L., Piquard, F., & Richard, R. (2004). Eccentric cycle exercise: training application of specific circulatory adjustments. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(11), 1900–1906. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000145441.80209.66>

Franz, J. R., & Kram, R. (2012). The effects of grade and speed on leg muscle activations during walking. *Gait & posture*, 35(1), 143–147. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.08.025>

Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., Rojas-Valverde, D., de la Cruz Sánchez, E., García-Rubio, J., Ibáñez, S. J., & Pino-Ortega, J. (2020). Lower-limb dynamics of muscle oxygen saturation during the back-squat exercise: Effects of training load and effort level. *Journal of strength and conditioning research*, 34(5), 1227–1236. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003400>

Gosker, H. R., Wouters, E. F., van der Vusse, G. J., & Schols, A. M. (2000). Skeletal muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease and chronic heart failure: underlying mechanisms and therapy perspectives. *The American journal of clinical nutrition*, 71(5), 1033–1047. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.5.1033>

Grassi B. (2005). Delayed metabolic activation of oxidative phosphorylation in skeletal muscle at exercise onset. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(9), 1567–1573. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000177472.67419.0a>

Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2007). *Βασική Βιο-Μηχανική της ανθρώπινης κίνησης* (Κ. Μπουντόλος, Μετ.). Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης: Αθήνα.

Hartel, S., Kutzner, C., Schneider, D., Grieger, S., Neumaier, M., & Kohl-Bareis, M. (2011). Oxygenation of the calf muscle during an incremental, intermittent walking exercise assessed by NIRS. Στο A. H. Hielscher & P. Taroni (Επιμ.), *Difuse Optical Imaging III: Proceedings of SPIE Conference Volume 8088, May 22-26, 2011, Munich, Germany*. <https://doi.org/10.1117/12.889768>

Herzog W. (2014). The role of titin in eccentric muscle contraction. *The Journal of experimental biology*, 217(Pt 16), 2825–2833. <https://doi.org/10.1242/jeb.099127>

Hiroyuki, H., Hamaoka, T., Sako, T., Nishio, S., Kime, R., Murakami, M., & Katsumura, T. (2002). Oxygenation in vastus lateralis and lateral head of gastrocnemius during treadmill walking and running in humans. *European journal of applied physiology*, 87(4-5), 343–349.

<https://doi.org/10.1007/s00421-002-0644-y>

Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Spiering, B. A., Kime, R., & Chance, B. (2003). Effect of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(11), 1929–1934.

<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000093613.30362.DF>

Homma, T., Hamaoka, T., Sako, T., Murakami, M., Esaki, K., Kime, R., & Katsumura, T. (2005). Muscle oxidative metabolism accelerates with mild acidosis during incremental intermittent isometric plantar flexion exercise. *Dynamic medicine: DM*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1476-5918-4-2>

Hortobágyi, T., Finch, A., Solnik, S., Rider, P., & DeVita, P. (2011). Association between muscle activation and metabolic cost of walking in young and old adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 66(5), 541–547. <https://doi.org/10.1093/gerona/qlr008>

Hoppeler, H., & Weibel, E. R. (2000). Structural and functional limits for oxygen supply to muscle. *Acta physiologica Scandinavica*, 168(4), 445–456.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2000.00696.x>

Kek, K. J., Miyakawa, T., Kudo, N. & Yamamoto, K. (2007). Functional imaging of muscle oxygenation and oxygen consumption in the knee extensor muscles during isometric contractions by spatially resolved near-infrared spectroscopy. Στο B. Chance, R. Alfano, B. Tromberg, M. Tamura & E. M. Sevick-Muraca (Επιμ.), *Optical tomography and spectroscopy of tissue VII: Proceedings of SPIE Conference Volume 6434, January 20-25, 2007, San Jose, CA, United States*.

<https://doi.org/10.1117/12.698783>

Κέλλης, Ε. (2015). *Αθλητική εμβιομηχανική* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://hdl.handle.net/11419/4943>

Lombardi, V., & Piazzesi, G. (1990). The contractile response during steady lengthening of stimulated frog muscle fibres. *The Journal of physiology*, 431, 141–171. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1990.sp018324>

Miura, T., Takeuchi, T., Sato, H., Nishioka, N., Terakado, S., Fujieda, Y., & Ibukiyama, C. (1998). Skeletal muscle deoxygenation during exercise assessed by near-infrared spectroscopy and its relation to expired gas analysis parameters. *Japanese circulation journal*, 62(9), 649–657.

<https://doi.org/10.1253/jcj.62.649>

Okomoto, T., Masahura, M., & Iluta, K. (2006). Differences of muscle oxygenation during eccentric and concentric contraction. *Isokinetics and Exercise Science*, *14*(3), 207-212.

Oueslati, F., Boone, J., & Ahmaidi, S. (2016). Respiratory muscle endurance, oxygen saturation index in vastus lateralis and performance during heavy exercise. *Respiratory physiology & neurobiology*, *227*, 41–47.

<https://doi.org/10.1016/j.resp.2016.02.008>

Parganlija, D., Gehlert, S., Herrera, F., Rittweger, J., Bloch, W., & Zange, J. (2020). Enhanced blood supply through lower body negative pressure during slow-paced, high load leg press exercise alters the response of muscle AMPK and circulating angiogenic factors. *Frontiers in physiology*, *11*, 781.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00781>

Peñailillo, L., Blazevich, A. J., & Nosaka, K. (2017). Factors contributing to lower metabolic demand of eccentric compared with concentric cycling. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *123*(4), 884–893.

<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00536.2016>

Peñailillo, L., Blazevich, A., Numazawa, H., & Nosaka, K. (2013). Metabolic and muscle damage profiles of concentric versus repeated eccentric cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, *45*(9), 1773–1781.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828f8a73>

Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(3), 597–616.

<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0820-1>

Perrey, S., Betik, A., Candau, R., Rouillon, J. D., & Hughson, R. L. (2001). Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and eccentric cycle exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 91(5), 2135–2142.

<https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.5.2135>

Quaresima, V., Crisostomi, S., Mottola, L., Angelozzi, M., Franco, A., Corsica, C., Calvisi, V., & Ferrari, M. (2006). Vastus lateralis metabolic response to explosive maximal isometric leg press exercise. *Advances in experimental medicine and biology*, 578, 167–171. https://doi.org/10.1007/0-387-29540-2_27

Quaresima, V., Komiyama, T., & Ferrari, M. (2002). Differences in oxygen re-saturation of thigh and calf muscles after two treadmill stress tests. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 132(1), 67–73. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(01\)00531-1](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00531-1)

Quaresima, V., Homma, S., Azuma, K., Shimizu, S., Chiarotti, F., Ferrari, M., & Kagaya, A. (2001). Calf and shin muscle oxygenation patterns and femoral artery blood flow during dynamic plantar flexion exercise in humans. *European journal of applied physiology*, 84(5), 387–394. <https://doi.org/10.1007/s004210100390>

Quaresima, V., Pizzi, A., De Blasi, R. A., Ferrari, A., De Angelis, M., & Ferrari, M. (1995). Quadriceps oxygenation changes during walking and running on a treadmill. Στο (Επιμ.) R. R. Alfano, *Advances in Laser and Light Spectroscopy to Diagnose Cancer and Other Diseases II, February, 1-28 1995, (2387), San Jose, CA, United States.*

Rakobowchuk, M., Isacco, L., Ritter, O., Represas, A. G., Bouhaddi, M., Degano, B., Tordi, N., & Mourot, L. (2018). Muscle oxygenation responses to low-intensity steady rate concentric and eccentric cycling. *International journal of sports medicine, 39(3)*, 173–180. <https://doi.org/10.1055/s-0043-121272>

Skovereng, K., Ettema, G., & van Beekvelt, M. C. (2016). Oxygenation, local muscle oxygen consumption and joint specific power in cycling: the effect of cadence at a constant external work rate. *European journal of applied physiology, 116(6)*, 1207–1217. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3379-x>

Strimpakos, N., Anastasiadi, E., Panayiotou, G., Athanasopoulos, S., Karteroliotis, K., & Kapreli, E. (2015). Greek version of modified Baecke physical activity questionnaire (mBQ): Cross-cultural adaptation and psychometric properties. *Physiotherapy, 101*, e1446-e1447.

Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 100(4)*, 1150–1157. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00741.2005>

Wagner P. D. (2012). Muscle intracellular oxygenation during exercise: optimization for oxygen transport, metabolism, and adaptive change. *European journal of applied physiology*, 112(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1955-7>

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2011). *Φυσιολογία της άσκησης και του αθλητισμού* (Μ. Μαριδάκη, Μετ.). Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης.

Wittenberg, B. A., & Wittenberg, J. B. (1989). Transport of oxygen in muscle. *Annual review of physiology*, 51, 857–878. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.51.030189.004233>

Zemaitis, M. R., Boll, J. M., & Dreyer, M. A. (2023). Peripheral Arterial Disease. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. Ανακτήθηκε από το διαδίκτυο, 23/02/2023, από: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430745/>

Zhou, L., Dang, X., Mu, H., Wang, B., & Wang, S. (2021). Cities are going uphill: Slope gradient analysis of urban expansion and its driving factors in China. *The Science of the total environment*, 775, 145836. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145836>

Zorgati, H., Collomp, K., Boone, J., Guimard, A., Buttelli, O., Mucci, P., Amiot, V., & Prieur, F. (2015). Effect of pedaling cadence on muscle oxygenation during

high-intensity cycling until exhaustion: a comparison between untrained subjects and triathletes. *European journal of applied physiology*, 115(12), 2681–2689.
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3235-4>

VIII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8.1 ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ (Baecke)

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΒΑΕΣΚΕ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΗΘΗ ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

1	Ποιά είναι το κύριο επάγγελμά σου;										
2	Στη δουλειά κάθομαι	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πάντα	<input type="checkbox"/>
3	Στη δουλειά στέκομαι όρθιος	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πάντα	<input type="checkbox"/>
4	Στη δουλειά περπατώ	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πάντα	<input type="checkbox"/>
5	Στη δουλειά σηκώνω βαριά αντικείμενα	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
6	Μετά τη δουλειά είμαι κουρασμένος	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
7	Στη δουλειά ιδρώνω	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
8	Σε σύγκριση με άλλους της ηλικίας μου νομίζω ότι η δουλειά μου είναι σωματικά	πολύ ελαφρύτερη	<input type="checkbox"/>	ελαφρύτερη	<input type="checkbox"/>	το ίδιο σκληρή	<input type="checkbox"/>	σκληρότερη	<input type="checkbox"/>	πολύ σκληρότερη	<input type="checkbox"/>
9	Παίζετε κάποιο σπορ;	Ναι	<input type="checkbox"/>	Όχι	<input type="checkbox"/>						
Εάν ναι ποιά σπορ παίζετε ποιά συχνά ;											
	-Πόσες ώρες την εβδομάδα;	<1	<input type="checkbox"/>	1-2	<input type="checkbox"/>	2-3	<input type="checkbox"/>	3-4	<input type="checkbox"/>	>4	<input type="checkbox"/>
	-Πόσους μήνες το χρόνο;	<1	<input type="checkbox"/>	1-3	<input type="checkbox"/>	4-6	<input type="checkbox"/>	7-9	<input type="checkbox"/>	>9	<input type="checkbox"/>
Εάν παίζετε ένα δεύτερο σπορ ποιά σπορ είναι αυτό;											
	-Πόσες ώρες την εβδομάδα;	<1	<input type="checkbox"/>	1-2	<input type="checkbox"/>	2-3	<input type="checkbox"/>	3-4	<input type="checkbox"/>	>4	<input type="checkbox"/>
	-Πόσους μήνες το χρόνο;	<1	<input type="checkbox"/>	1-3	<input type="checkbox"/>	4-6	<input type="checkbox"/>	7-9	<input type="checkbox"/>	>9	<input type="checkbox"/>
10	Σε σύγκριση με άλλους της ηλικίας μου νομίζω ότι η φυσική μου δραστηριότητα κατά την διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου είναι	πολύ λιγότερη	<input type="checkbox"/>	λιγότερη	<input type="checkbox"/>	η ίδια	<input type="checkbox"/>	περισσότερη	<input type="checkbox"/>	πολύ περισσότερη	<input type="checkbox"/>
11	Κατά την διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου ιδρώνω	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
12	Κατά την διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου παίζω σπορ	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
13	Κατά την διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου βλέπω τηλεόραση	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
14	Κατά την διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου περπατώ	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
15	Κατά την διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου κάνω ποδήλατο	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
16	Πόσα λεπτά περπατάτε και/ή κάνετε ποδήλατο την ημέρα προς και από την δουλειά, σχολείο και ψώνια;	<5'	<input type="checkbox"/>	5'-15'	<input type="checkbox"/>	15'-30'	<input type="checkbox"/>	30'-45'	<input type="checkbox"/>	>45'	<input type="checkbox"/>
17	Κατά τη διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου κάνω δραστηριότητες που πρέπει να τις κάνω μόνος μου	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
18	Κατά τη διάρκεια του ελεύθερου χρόνου μου δουλεύω στον κήπο	ποτέ	<input type="checkbox"/>	σπάνια	<input type="checkbox"/>	μερικές φορές	<input type="checkbox"/>	συχνά	<input type="checkbox"/>	πολύ συχνά	<input type="checkbox"/>
19	Πόσες ώρες την ημέρα κοιμάστε κατά μέσο όρο;	≤5	<input type="checkbox"/>	6	<input type="checkbox"/>	7	<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	≥9	<input type="checkbox"/>



Ελληνική Έκδοση του Ερωτηματολογίου Modified Baecke, Στριμπάκος Ν., Αναστασιάδη Ε., και συν (2013)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8.2 ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ

ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ



Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Τομέας Αθλητιατρικής και Βιολογίας της Άσκησης
Εργαστήριο Αθλητικής Φυσικοθεραπείας

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ

Τίτλος ερευνητικής Επίδραση της βάδισης σε διαφορετικές κλίσεις του
εργασίας: εδάφους στην οξυγόνωση των μυών του μηρού

Επιστημονικός Δημήτριος Μανδαλίδης, Αν. Καθηγητής, ΣΕΦΑΑ,
υπεύθυνος: ΕΚΠΑ,
email: dmndldis@phed.uoa.gr , Τηλ. 6974991457,
2109702485

Κύριος ερευνητής: Κωνσταντίνος Κούρτης, email:
kwnkourtis@outlook.com Τηλ.: 6971866701

Η βάδιση σε ανωφέρεια είναι μια δραστηριότητα που απαιτεί σύγκεντρες συσπάσεις των μυών και ως εκ τούτου μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, η οποία προϋποθέτει την αύξηση της αιματικής ροής και της οξυγόνωσης των μυών. Οι έκκεντρες συσπάσεις των μυών, οι οποίες κυριαρχούν στη βάδιση σε κατωφέρεια, από την άλλη πλευρά, εκτελούνται με μικρότερη ενεργειακή δαπάνη και ως εκ τούτου η οξυγόνωση των μυών αναμένεται να είναι μειωμένη.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνήσει τυχόν μεταβολές στην οξυγόνωση των μυών του μηρού κατά τη βάδιση σε διαφορετικές κλίσεις εδάφους. Συγκεκριμένα, θα αξιολογηθεί η οξυγόνωση του έξω πλατύ μηριαίου και του δικέφαλου μηριαίου μυός κατά τη βάδιση σε κυλιόμενο διάδρομο, με το δάπεδο σε

κλίση 0% (επίπεδο), +10% και +20% (ανωφέρεια) και -10% και -20% (κατωφέρεια) με σταθερή ταχύτητα 5km/h.

Η μελέτη θα διεξαχθεί στο Εργαστήριο Αθλητικής Φυσικοθεραπείας της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η μέτρηση της οξυγόνωσης θα διενεργηθεί με τη χρήση της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας, μίας μη επεμβατικής μεθόδου, τοποθετώντας σχετικούς ανιχνευτές στην επιφάνεια του σώματος των δοκιμαζόμενων.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης θα συμβάλλουν, ενδεχομένως, στην εκτέλεση δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται για τη βελτίωση της φυσικής κατάστασης από άτομα με περιορισμό της οξυγόνωσης των μυών των κάτω άκρων, όπως καρδιοπαθείς, πάσχοντες με περιφερική αρτηριακή νόσο, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και αθηροσκλήρωση.

Επισημαίνεται ότι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μετρήσεων θα πραγματοποιηθεί λήψη φωτογραφιών.

Παρακαλούμε να λάβετε μέρος στην έρευνα έχοντας υπόψη ότι: (i) οι δοκιμασίες που θα συμμετέχετε είναι ακίνδυνες, (ii) η συμμετοχή σας είναι εθελοντική και οποιαδήποτε στιγμή μπορείτε να αποσυρθείτε από αυτή, (iii) τα στοιχεία που θα συλλεχθούν θα είναι απόρρητα και διαθέσιμα σε εσάς οποιαδήποτε στιγμή, (iv) οι φωτογραφίες που τυχόν ληφθούν θα υποστούν ψηφιακή επεξεργασία με σκοπό το πρόσωπό σας να μην είναι εμφανές, (v) τα αποτελέσματα της έρευνας ενδεχομένως να δημοσιευθούν σε επιστημονικά περιοδικά και θα χρησιμοποιηθούν για διδακτικούς σκοπούς και κλινική εφαρμογή, (vi) έχετε τη δυνατότητα ατομικής ενημέρωσης σχετικά με τα αποτελέσματα της έρευνας καθώς και για τα συνολικά αποτελέσματα που θα προκύψουν με την ολοκλήρωσή της, (vii) δεν υπάρχει άλλο όφελος για τους συμμετέχοντες πέραν της ικανοποίησης από τη συμμετοχή στο συγκεκριμένο επιστημονικό έργο και δεν υπάρχει εμπορική εκμετάλλευση, (viii) ο

μέγιστος εκτιμώμενος χρόνος που θα απασχοληθείτε στην παρούσα μελέτη είναι 60 λεπτά.

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

Ευχαριστήστε πολύ για την συμμετοχή σας στην έρευνα.

Ονοματεπώνυμο δηλούντος ή χρήσης κωδικού ή αρχικών.....
Τηλ. Επικοινωνίας:

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΚΑΤΑΘΕΣΗΣ

Ημερομηνία.../.../2023

Δηλώνω ότι: α) διάβασα και κατανόησα το περιεχόμενο και τον σκοπό της έρευνας με τίτλο «*Επίδραση της βάδισης σε διαφορετικές κλίσεις του εδάφους στην οξυγόνωση των μυών του μηρού*», που διεξάγεται στο εργαστήριο Αθλητικής Φυσικοθεραπείας του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και δέχομαι να λάβω μέρος σε αυτήν, 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.

Ο/Η Συμμετέχων/ουσα

.....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8.3 ΚΛΙΜΑΚΑ ΑΝΤΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ BORG

Borg's Rating of Perceived Exertion (RPE) Scale	
Perceived Exertion Rating	Description of Exertion
6	No exertion; sitting and resting
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion.