



**ΔΗΜΟΚΡΕΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

## **ΔΙΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

### **“Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία”**

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης και του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η επίδραση ενός ημερήσιου προγράμματος άσκησης ενδυνάμωσης  
στη μυϊκή επαναοξυγόνωση σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες  
νεαρές γυναίκες**

Λάζαρος Τσακυρίδης [Α.Ε.Μ. 12110]

Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλίας Σμήλιος, *Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ*

Κομοτηνή, 2025





ΔΗΜΟΚΡΕΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΡΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

## ΔΙΪΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

### “Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία”

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης και του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### Η επίδραση ενός ημερήσιου προγράμματος άσκησης ενδυνάμωσης στη μυϊκή επαναοξυγόνωση σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες νεαρές γυναίκες

Λάζαρος Τσακυρίδης [Α.Ε.Μ. 12110]

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε στο Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος στην “Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία” σε συνεργασία με Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλίας Σμήλιος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

2ο Μέλος: Ανδρέας Ζαφειρίδης, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α., Σέρρες – Α.Π.Θ.

3ο Μέλος: Ελένη Δούδα, Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

Κομοτηνή, 2025





DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION, SPORT SCIENCE AND OCCUPATIONAL THERAPY

DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

INTERINSTITUTIONAL POSTGRADUATE PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES

"Clinical Exercise and Applications of Technology in Health"

of the Department of Physical Education and Sport of the School of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace in collaboration with the National Center for Science Research "DEMOKRITOS" - The Institute of Informatics and Telecommunications (IIT)

## MASTER DISSERTATION

**The effect of a resistance exercise session on muscle reoxygenation on normal weight and obese young women**

Lazaros Tsakyridis [R.N. 12110]

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Master's Degree in "*Clinical Exercise and Applications of Technology in Health*" of the Department of Physical Education and Sport of the School of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace in collaboration with the National Center for Science Research "DEMOKRITOS" - The Institute of Informatics and Telecommunications (IIT)

## COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervisor: Ilias Smilios, *Professor D.P.E.S.S. – D.U.Th.*

Member 2: Andreas Zafeiridis, *Professor D.P.E.S.S., Serres – A.U.Th.*

Member 3: Helen Douda, *Professor D.P.E.S.S. – D.U.Th.*

Komotini, 2025





**© 2025 Διϊδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Κλινική Άσκηση και Εφαρμογές της Τεχνολογίας στην Υγεία»**

του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Τ.Ε.Φ.Α.Α.) της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Σ.Ε.Φ.Α.Α.) του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης (Δ.Π.Θ.) σε συνεργασία με το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» (Ε.ΚΕ.Φ.Ε. «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ») - Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών.





*Αφιερώνεται  
σε όσους στάθηκαν  
δίπλα μου σε κάθε μου βήμα*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Ηλία Σμήλιο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με την παρούσα εργασία, καθώς και για την συνεχή καθοδήγηση και συμπαράσταση του. Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Ανδρέα Ζαφειρίδη και την Καθηγήτρια κ. Ελένη Δούδα, τα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, για τη συνεργασία τους.

Επιπλέον, ευχαριστώ τις δοκιμαζόμενες, που συμμετείχαν εθελοντικά και αποτέλεσαν το δείγμα της έρευνας με μεγάλη προθυμία. Ιδιαίτερα οφείλω να ευχαριστήσω, τον υποψήφιο διδάκτορα, Περικλή Κάβουρα για τη μεγάλη βοήθεια που προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Λάζαρος Τσακουρίδης:** Η επίδραση ενός ημερησίου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις στη μυϊκή επανοξυγόνωση σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες νεαρές γυναίκες

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή Ηλία Σμήλιου)

Σκοπός της μελέτης ήταν να εξετάσει την επίδραση ενός ημερησίου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις, μέτριας έντασης, στη μυϊκή επανα-οξυγόνωση σε νορμοβαρή και παχύσαρκες νεαρές γυναίκες. Στη μελέτη συμμετείχαν είκοσι επτά γυναίκες (ηλικίας  $21,2 \pm 2,3$  ετών, σωματικής μάζας  $77,4 \pm 11,7$  kg, ύψους  $170,7 \pm 4,8$  cm, δείκτη BMI  $24,7 \pm 2,9$  kg/m<sup>2</sup>, ποσοστό σωματικού λίπους  $30,6 \pm 3,3\%$ ), που χωρίστηκαν σε δύο ομάδες ανάλογα με το ποσοστό σωματικού λίπους, νορμοβαρείς ( $\leq 30,9\%$ , N=14) και παχύσαρκες ( $\geq 31\%$ , N=13). Οι γυναίκες εκτέλεσαν στην άσκηση μονοποδική έκταση γόνατος 3 σετ των 10 επαναλήψεων στο 60% της 1ΜΕ, με διάλειμμα 3'. Ο ρυθμός επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυ μετά από απόφραξη του μηρού για 3', εκτιμήθηκε μέσω της μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά από την άσκηση. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι νορμοβαρείς γυναίκες είχαν υψηλότερο ( $p < 0,05$ ) ρυθμό αύξησης της O<sub>2</sub>Hb στα πρώτα 10 sec μετά τον τερματισμό της απόφραξης, μέγεθος επανα-οξυγόνωσης και στο εμβαδό επιφανείας υπερκορεσμού της O<sub>2</sub>Hb ενώ δεν διέφεραν ( $p > 0,05$ ) στον χρόνο επαναφοράς της O<sub>2</sub>Hb στην τιμή ηρεμίας και στον χρόνο επίτευξης της μέγιστης τιμής της. Ο ρυθμός αύξησης της O<sub>2</sub>Hb στα πρώτα 10 sec μετά τον τερματισμό της απόφραξης αυξήθηκε μόνο στις νορμοβαρείς γυναίκες ενώ ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής της O<sub>2</sub>Hb και το εύρος αύξησης της ήταν υψηλότερα ( $p < 0,05$ ) μετά το τέλος της άσκησης συγκριτικά με πριν και 24 ώρες μετά, χωρίς να υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο ομάδων. Συμπερασματικά, παρατηρήθηκε μειωμένος ρυθμός επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μετά από ολική απόφραξη στις παχύσαρκες γυναίκες που πιθανά οφείλεται σε μειωμένη μικροαγγειακή απόκριση. Η εκτέλεση μια άσκησης με αντιστάσεις προκαλεί μια άμεση αύξηση της μικροαγγειακής απόκρισης η οποία, ωστόσο, έχει επανέλθει 24 ώρες μετά ανεξάρτητα του σωματικού λίπους της ασκούμενης.

**Λέξεις - Κλειδιά:** NIRS, παχυσαρκία, μυϊκή οξυγόνωση

## ABSTRACT

**Lazaros Tsakyridis:** The effect of a resistance exercise session on muscle reoxygenation on normal weight and obese young women

(Under the supervision of Professor Ilias Smilios)

The aim of this study was to examine the effect of a daily moderate-intensity resistance exercise program on muscle reoxygenation in normal-weight and obese young women. Twenty-seven women (age  $21.2 \pm 2.3$  years, body mass  $77.4 \pm 11.7$  kg, height  $170.7 \pm 4.8$  cm, BMI  $24.7 \pm 2.9$  kg/m<sup>2</sup>, body fat percentage  $30.6 \pm 3.3\%$ ) participated in the study. Participants were divided into two groups according to body fat percentage: normal-weight ( $\leq 30.9\%$ , N=14) and obese ( $\geq 31\%$ , N=13). The exercise protocol consisted of unipedal knee extensions (3 sets of 10 repetitions at 60% of 1RM) with a 3-minute rest between sets. The rate of reoxygenation of the vastus lateralis muscle after 3 minutes of thigh occlusion was assessed by the change in oxygenated hemoglobin (O<sub>2</sub>Hb) before exercise, immediately after exercise, and 24 hours later. The analysis of the results showed that the normal-weight women had a higher ( $p < 0.05$ ) rate of increase in O<sub>2</sub>Hb in the first 10 sec after occlusion termination, magnitude of re-oxygenation and surface area of oversaturation of O<sub>2</sub>Hb while the two groups did not differ ( $p > 0.05$ ) in the time of restoration of O<sub>2</sub>Hb to the resting value and the time of reaching its maximum value. The rate of increase in O<sub>2</sub>Hb in the first 10 seconds after the termination of occlusion increased only in normal-weight women, while the time to reach the maximum value of O<sub>2</sub>Hb and its increase range were higher ( $p < 0.05$ ) after the end of exercise compared to before and 24 hours after, with no differences observed between the two groups. In conclusion, obese women presented a reduced rate of muscle re-oxygenation after occlusion, possibly due to an impaired microvascular response. Resistance exercise induced an immediate increase in microvascular response which, however, returned to baseline within 24 hours, regardless of the body fat percentage.

**Keywords:** *NIRS, obesity, muscle oxygenation*



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>v</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>vii</b>
<b>I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
Σκοπός της έρευνας.....	4
Σημασία της έρευνας.....	4
Ερευνητικές υποθέσεις.....	4
Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας.....	5
Λειτουργικοί ορισμοί	6
<b>II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>7</b>
Αρχές λειτουργίας της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας .....	7
Μελέτη της μυϊκής αποξυγόνωσης, επανα-οξυγόνωσης και επαναιμάτωσης με την τεχνική της ισχαιμικής περίδεσης .....	8
Αποκρίσεις της μυϊκής οξυγόνωσης με την τεχνική της ισχαιμικής περίδεσης και επαναιμάτωσης μετά από άσκηση .....	9
Αποκρίσεις της μυϊκής οξυγόνωσης στην ηρεμία, στην άσκηση και την αποκατάσταση σε άτομα με χρόνιες παθήσεις .....	10
Εφαρμογή της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας κατά την εκτέλεση της άσκησης έκταση γόνατος .....	13
Διαφορές στη μικροαγγειακή λειτουργία μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων .....	14
<b>III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>16</b>
Δείγμα.....	16
Πειραματικός σχεδιασμός .....	16
Μετρήσεις και όργανα μέτρησης .....	17

Αξιολόγηση της επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός .....	18
Πειραματική διαδικασία .....	20
Στατιστική ανάλυση .....	20
<b>IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>21</b>
<b>V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>26</b>
<b>VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>29</b>
<b>VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>30</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.** Ρυθμός επαναφοράς της συνολικής αιμοσφαιρίνης (tHb) στα πρώτα 10'' μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας. .... 21
- Σχήμα 2.** Ρυθμός επαναφοράς της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) στα πρώτα 10'' μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας. .... 22
- Σχήμα 3.** Χρόνος επαναφοράς της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) στις τιμές ηρεμίας μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας. .... 23
- Σχήμα 4.** Εμβαδό επιφανείας υπερκορεσμού της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας ..... 24
- Σχήμα 5.** Χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας..... 24
- Σχήμα 6.** Εύρος μεταβολής της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας ..... 25



## **Η επίδραση ενός ημερήσιου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις στη μυϊκή επανοξυγόνωση σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες νεαρές γυναίκες**

### **I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) αποτελεί μια μη επεμβατική μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της οξυγόνωσης των ιστών, ιδιαίτερα του μυϊκού και του εγκεφαλικού ιστού, μέσω της ανάλυσης της απορρόφησης του φωτός στην κοντά περιοχή του υπέρυθρου φάσματος (700-1000 nm). Το NIRS βασίζεται στην αρχή ότι η οξυγονωμένη και η απο-οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη έχουν διαφορετικά φάσματα απορρόφησης στο υπέρυθρο φως, επιτρέποντας τη μέτρηση της συγκέντρωσής τους στους ιστούς. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την παρακολούθηση της ισορροπίας μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τον τοπικό μεταβολισμό και τη φυσιολογική απόκριση των μυών. Στην αθλητική επιστήμη, το NIRS χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της μυϊκής οξυγόνωσης και της αερόβιας ικανότητας κατά τη διάρκεια της άσκησης. Μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση του NIRS μπορεί να παρέχει ακριβείς πληροφορίες για την αντοχή των αθλητών, την ικανότητα των μυών να καταναλώνουν οξυγόνο και την αποδοτικότητα των προγραμμάτων προπόνησης (Ferrari, Muthabil & Quaresima, 2011). Η τεχνολογία NIRS έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε μελέτες που εξετάζουν την επίδραση της υποξίας και της περιορισμένης αιματικής ροής στους μύες. Εξετάζοντας τη χρήση του NIRS στην παρακολούθηση της μυϊκής οξυγόνωσης κατά τη διάρκεια ασκήσεων υψηλής έντασης, ενώ άλλες μελέτες χρησιμοποίησαν το NIRS για να αξιολογήσουν την απόκριση των μυών σε συνθήκες χαμηλής οξυγόνωσης, καταγράφοντας την επίδραση της προπόνησης στην βελτίωση της αθλητικής απόδοσης (McCully et al., 1994; Van Beekvelt et al., 2001).

Ο συνδυασμός ισχαιμικής περιίδεσης και τεχνολογίας NIRS επιτρέπει την εκτενή ανάλυση της μυϊκής οξυγόνωσης και του μεταβολισμού κατά τη διάρκεια και μετά την άσκηση, προσφέροντας κρίσιμες πληροφορίες για την απόδοση των μυών και την αποκατάστασή τους. Με την ισχαιμική περιίδεση, η ροή του αίματος περιορίζεται

προσωρινά σε έναν μυ ή μια μυϊκή ομάδα, προκαλώντας υποξικές συνθήκες που προσομοιώνουν ιδιαίτερα καταστάσεις άσκησης. Η χρήση του NIRS σε αυτό το πλαίσιο επιτρέπει την παρακολούθηση της οξυγόνωσης του μυός σε πραγματικό χρόνο, καθώς και της επαναφοράς της μετά την απομάκρυνση της περίδεσης. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να καταγράψουν τη μυϊκή ικανότητα οξυγόνωσης και την ταχύτητα της αποκατάστασης, οι οποίες είναι κρίσιμες για την αξιολόγηση της αθλητικής απόδοσης και της αντοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η τοπική υποξία που προκαλείται μέσω περιορισμού της αιματικής ροής μπορεί να ενισχύσει την αναβολική απόκριση κατά την άσκηση με αντιστάσεις (Takarada, Sato & Ishii, 2000), καθώς και ότι η προσωρινή υποξία κατά τη διάρκεια άσκησης με αντιστάσεις μπορεί να διευκολύνει την υπερτροφία των μυών (Hoffman, Wendell, Cooper & Kang, 2003). Η τεχνολογία NIRS επιτρέπει την παρακολούθηση αυτών των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας δεδομένα για την ισορροπία μεταξύ παροχής και κατανάλωσης οξυγόνου στους μύες. Συνοπτικά, ο συνδυασμός ισχαιμικής περίδεσης και NIRS προσφέρει μια αξιόπιστη μέθοδο παρακολούθησης της μυϊκής απόκρισης σε συνθήκες άσκησης, διευκολύνοντας την κατανόηση των φυσιολογικών μηχανισμών που εμπλέκονται στην προσαρμογή των μυών. Επίσης, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει μελέτες για να εξετάσουν τις επιπτώσεις της γήρανσης στο μεταβολισμό και στην κατάσταση οξυγόνωσης του μυός σε κλινικό πληθυσμό (Oliveira, Volino-Souza, Barros-Santos, Conte-Junior & Alvares, 2021; Shiro et al., 2006).

Η παχυσαρκία είναι μία από τις πιο διαδεδομένες χρόνιες νόσους, που χρειάζεται συστηματική ιατρική θεραπεία και πρόληψη. Ορίζεται, γενικά, ως η υπερβολική συσσώρευση λίπους στο σώμα και αναγνωρίζεται ως μια χρόνια κλινική κατάσταση που συνήθως απαιτεί μακρόχρονη θεραπεία για τη μείωση και τη διατήρηση της απώλειας βάρους. Η τοπική κατανομή του λιπώδους ιστού είναι σημαντική για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η παχυσαρκία σχετίζεται με μερικές από τις συνδεόμενες καρδιαγγειακές παθήσεις. Η περίσσεια λίπους στην κεντρική ή την κοιλιακή περιοχή του σώματος συχνά συσχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας και νόσου (Wajchenberg, 2000). Μεταξύ άλλων ασθενειών που σχετίζονται με την παχυσαρκία (υπέρταση, μεταβολικό σύνδρομο, διαβήτη τύπου 2), ένας δείκτης μάζας σώματος (ΔΜΣ)  $>30 \text{ kg/m}^2$  σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών νοσημάτων, καθώς τα άτομα με παχυσαρκία παρουσιάζουν υψηλότερη αρτηριακή σκληρότητα σε σύγκριση με υγιή



άτομα (Krzyszinski et al., 2015). Επιπλέον, αρκετές μελέτες έχουν συσχετίσει την παχυσαρκία με την ενδοθηλιακή δυσλειτουργία. Η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανισορροπία μεταξύ της παραγωγής αγγειοσυσταλτικών παραγόντων και της απελευθέρωσης αγγειοδιασταλτικών από τα ενδοθηλιακά κύτταρα και μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη διαβήτη, υπέρτασης, υπερχοληστερολαιμίας και αθηροσκλήρωση. Ακόμη, αρκετές μελέτες έχουν ασχοληθεί με την σύγκριση της επαναιμάτωσης του σκελετικού μυός μεταξύ υγιή και παχύσαρκων ατόμων, ωστόσο μέχρι στιγμής δεν έχει διερευνηθεί η επίδραση της άσκησης στην επαναιμάτωση των παραπάνω ατόμων.

Η εφαρμογή της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) για την αξιολόγηση της μυϊκής οξυγόνωσης σε παχύσαρκα άτομα έχει προσφέρει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις φυσιολογικές προσαρμογές και περιορισμούς σε σύγκριση με άτομα με φυσιολογικό βάρος, τόσο σε κατάσταση ηρεμίας όσο και κατά τη διάρκεια ή μετά την άσκηση. Σε παχύσαρκα άτομα, η χρήση του NIRS μπορεί να αναδείξει τις επιπτώσεις της αυξημένης λιπώδους μάζας στην αιματική ροή και τη μυϊκή οξυγόνωση. Σε ορισμένες μελέτες παρατηρήθηκαν διαφορές στη μυϊκή οξυγόνωση μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων. Πιο συγκεκριμένα, τα παχύσαρκα άτομα εμφάνισαν χαμηλότερη μυϊκή επανοξυγόνωση σε σύγκριση με νορμοβαρή άτομα. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μειωμένη τριχοειδή πυκνότητα και αυξημένη απόσταση διάχυσης οξυγόνου στον μυϊκό ιστό, λόγω της αυξημένης ποσότητας λίπους (Soares, Reimer, Doyle-Baker & Murias, 2017).

Παρότι υπάρχουν κάποιες μελέτες που εξετάζουν τη χρήση της μεθόδου NIRS σε νορμοβαρή άτομα κατά τη διάρκεια της άσκησης, η υπάρχουσα βιβλιογραφία που εξετάζει ειδικά την εφαρμογή της NIRS σε παχύσαρκα άτομα, καθώς και τις διαφορές στην μυϊκή οξυγόνωση σε σύγκριση με νορμοβαρή άτομα, είναι περιορισμένη. Επιπλέον, πολλές από τις υπάρχουσες μελέτες εστιάζουν περισσότερο στις τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με τη μέτρηση της οξυγόνωσης των μυών σε παχύσαρκα άτομα, όπως η επίδραση του πάχους του λιπώδους ιστού, παρά στη σύγκριση φυσιολογικών αποκρίσεων κατά τη διάρκεια της άσκησης (Van Beekvelt, Borghuis et al., 2001). Ενώ από τις μελέτες έχει γίνει γνωστό ότι η επαναιμάτωση των μυών κατά τη φάση της αποκατάστασης μετά την άσκηση είναι μειωμένη σε κλινικό πληθυσμό σε σχέση με υγιή άτομα, μέχρι σήμερα δεν έχει διερευνηθεί η επίδραση ενός πρωτόκολλου άσκησης με βάρη μέτριας έντασης

στη διαφορά στον ρυθμό της επανοξυγόνωσης μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων. Αναγνωρίζεται, λοιπόν, η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις διαφορές στη μυϊκή οξυγόνωση και την αγγειακή απόκριση μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων κατά τη διάρκεια ενός πρωτόκολλου άσκησης με αντιστάσεις.

### **Σκοπός**

Ο στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση των μεταβολών στην επανοξυγόνωση του έξω πλατύ μυ μετά από απόφραξη του μηρού για 3', μέσω το ρυθμού μεταβολής της O<sub>2</sub>Hb τα πρώτα 10'' μετά την απόφραξη, την τιμή εμβαδού της καμπύλης κορεσμού της O<sub>2</sub>Hb, και τον χρόνο που απαιτήθηκε για την επαναφορά από τη χαμηλότερη στην υψηλότερη τιμή της O<sub>2</sub>Hb πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά από την εκτέλεση άσκησης με αντιστάσεις σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες γυναίκες.

### **Σημασία της έρευνας**

Η σημασία της παρούσας έρευνας έγκειται στη δυνατότητα προσφοράς κρίσιμης πληροφορίας για την κατανόηση των επιπτώσεων της παχυσαρκίας στη μυϊκή οξυγόνωση και αποκατάσταση. Επιδιώκει να απαντήσει σε κρίσιμα ερωτήματα, όπως αν η παχυσαρκία σχετίζεται με μειωμένη ικανότητα των μυών να επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση μετά από άσκηση με αντιστάσεις και αν οι παρατηρούμενες αλλαγές στην οξυγόνωση είναι διαφορετικές σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες. Η κατανόηση αυτών των διαφορών μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις για την ανάπτυξη εξατομικευμένων προγραμμάτων άσκησης σε άτομα με παχυσαρκία.

### **Ερευνητικές υποθέσεις**

Οι ερευνητικές υποθέσεις που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν:

- Υπάρχει διαφορά στον ρυθμό αύξησης της O<sub>2</sub>Hb στα πρώτα 10'' μετά την απελευθέρωση της περίδεσης πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.
- Υπάρχει διαφορά στον χρόνο επαναφοράς της O<sub>2</sub>Hb στις τιμές βάσης μετά την απελευθέρωση της περίδεσης πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.



Οι μηδενικές υποθέσεις της παρούσας έρευνας ήταν:

- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στον ρυθμό αύξησης της O<sub>2</sub>Hb στα πρώτα 10΄ μετά την απελευθέρωση της περιόδου πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στον χρόνο επίτευξης της μέγιστης τιμής O<sub>2</sub>Hb μετά την απελευθέρωση της περιόδου πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο εμβαδόν επιφανείας της υπεροξυγόνωσης μετά την απελευθέρωση της περιόδου πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στον χρόνο επαναφοράς της O<sub>2</sub>Hb στις τιμές βάσης μετά την απελευθέρωση της περιόδου πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο εύρος μεταβολής της O<sub>2</sub>Hb στις τιμές μετά την απελευθέρωση της περιόδου πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση με αντιστάσεις μεταξύ των νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.

#### **Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας**

Η παρούσα έρευνα περιορίζεται σε συγκεκριμένο πληθυσμό και συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων:

- *Πληθυσμός δείγματος:* Το δείγμα περιορίστηκε σε γυναίκες ηλικίας 21-24 ετών. Συνεπώς, τα ευρήματα δεν μπορούν να γενικευτούν σε γυναίκες άλλων ηλικιακών ομάδων, ούτε σε ανδρικό πληθυσμό.
- *Ποσοστό σωματικού λίπους:* Οι συμμετέχουσες είχαν συγκεκριμένο ποσοστό σωματικού λίπους, με όρια που ορίστηκαν για τις νορμοβαρείς και τις παχύσαρκες γυναίκες (νορμοβαρείς ( $\leq 30,9\%$ , N= 14) και παχύσαρκες ( $\geq 31\%$ , N= 13). Επομένως,

τα αποτελέσματα της μελέτης δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε άτομα με ποσοστά σωματικού λίπους εκτός αυτών των ορίων.

- *Είδος άσκησης:* Η έρευνα περιλάμβανε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο άσκησης, 3 σετ των 10 επαναλήψεων στο 60% της 1ΜΕ, με διάλειμμα 3', το οποίο μπορεί να μην έχει τα ίδια αποτελέσματα αν εφαρμοστεί διαφορετικό είδος ή ένταση άσκησης.
- *Αποφυγή χρήσης ουσιών:* Οι συμμετέχουσες κλήθηκαν να αποφύγουν το κάπνισμα 12 ώρες πριν και τη χρήση καφεΐνης 6 ώρες πριν από τις συνεδρίες. Αυτός ο παράγοντας μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικός για πληθυσμούς που δεν ακολουθούν τις ίδιες οδηγίες.
- *Χωρίς χρόνιες παθήσεις ή μυοσκελετικά προβλήματα:* Οι συμμετέχουσες δεν έπασχαν από χρόνιες παθήσεις ή μυοσκελετικά προβλήματα, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή των αποτελεσμάτων σε άτομα με τέτοιου είδους παθήσεις.

#### **Λειτουργικοί ορισμοί**

- *% μυϊκής οξυγόνωση ( $SmO_2$ ):* Η ποσοτική εκτίμηση του ποσοστού οξυγόνου στους μύες (McCully & Hamaoka, 2000).
- *Συγκέντρωση οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ):* Η συγκέντρωση του οξυγονωμένου αίματος στον μυϊκό ιστό (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).
- *Συγκέντρωση αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $HHb$ ):* Η συγκέντρωση του αποξυγονωμένου αίματος στον μυϊκό ιστό (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).
- *Δείκτης επανακορεσμού οξυγόνου των μυών:* Η ταχύτητα με την οποία ο μυϊκός ιστός επανέρχεται σε οξυγονωμένη κατάσταση μετά την απελευθέρωση της ισχαιμίας (Grassi, Marconi & Pogliaghi, 2003).

## II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### ***Αρχές λειτουργίας της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας***

Η εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (near infrared spectroscopy, NIRS) αποτελεί μια μη επεμβατική μέθοδο που βασίζεται στην αρχή ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία, με μήκος κύματος στην περιοχή των 700-2500 nm, μπορεί να διαπερνά τους βιολογικούς ιστούς και να απορροφάτε από συγκεκριμένα χρωμοφόρα, όπως η οξυγονωμένη και η αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη. Το NIRS εκμεταλλεύεται τις διαφορετικές ιδιότητες απορρόφησης αυτών των χρωμοφόρων και με βάση τη διαφορά απορρόφησης του φωτός από την οξυγονωμένη ( $O_2Hb$ ) και την αποξυγονωμένη (HHb) αιμοσφαιρίνη, η μέθοδος επιτρέπει τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του οξυγονωμένου και μη οξυγονωμένου αίματος σε διάφορους ιστούς, κυρίως στους μύες και στον εγκέφαλο.

Η διαδικασία ξεκινά με την εκπομπή ακτινών φωτός σε συγκεκριμένα μήκη κύματος μέσω ειδικών αισθητήρων που τοποθετούνται στην επιφάνεια του δέρματος. Το φως που διέρχεται ή ανακλάται από τον ιστό συλλέγεται από ανιχνευτές, και τα σήματα που λαμβάνονται αναλύονται με φασματοσκοπικές μεθόδους για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την αιμάτωση και την οξυγόνωση των ιστών. Η διαφοροποιημένη απορρόφηση της ακτινοβολίας από αυτά τα μόρια επιτρέπει την ποσοτική ανάλυση της συγκέντρωσης οξυγόνου στους ιστούς, καθώς και την αξιολόγηση της αιμάτωσης και της λειτουργίας των μυών ή του εγκεφάλου. Τα δεδομένα που προκύπτουν από τη φασματοσκοπική ανάλυση επιτρέπουν την παρακολούθηση φυσιολογικών καταστάσεων σε πραγματικό χρόνο (Ferrari, Muthalib & Quaresima, 2011).

Η τεχνολογία αυτή στηρίζεται στη μέτρηση της διαφοράς απορρόφησης του φωτός πριν και μετά τη διέλευση από τον ιστό, γεγονός που επιτρέπει τη συνεχή και ακριβή εκτίμηση της τοπικής αιμάτωσης και της οξυγόνωσης των ιστών, καθιστώντας τη NIRS εξαιρετικά σημαντική σε ένα ευρύ φάσμα κλινικών και ερευνητικών εφαρμογών (Boas & Dale, 2005).

## **Μελέτη της μυϊκής αποξυγόνωσης, επανα-οξυγόνωσης και επαναιμάτωσης με την τεχνική της ισχαιμικής περιίδεσης**

Η τεχνική της ισχαιμικής περιίδεσης και επαναιμάτωσης είναι μια ερευνητική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μελέτη της μυϊκής οξυγόνωσης και της αιματικής ροής στους ιστούς. Η διαδικασία περιλαμβάνει την εφαρμογή πίεσης σε ένα άκρο, συνήθως με τη χρήση μιας περιχειρίδας, για την προσωρινή διακοπή της αιματικής ροής (ισχαιμία), ακολουθούμενη από την απελευθέρωση της πίεσης, που επιτρέπει την αποκατάσταση της αιμάτωσης (επαναιμάτωση). Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά σε συνδυασμό με την εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS) για την παρακολούθηση της οξυγόνωσης των μυών σε πραγματικό χρόνο (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).

Η διαδικασία ξεκινά με την εφαρμογή μιας περιχειρίδας, συνήθως γύρω από το άνω ή το κάτω άκρο, η οποία φουσκώνεται για να διακόψει την αρτηριακή και φλεβική ροή αίματος στον ιστό, προκαλώντας ισχαιμία. Η διάρκεια της ισχαιμίας ποικίλει ανάλογα με το πρωτόκολλο, αλλά συνήθως διαρκεί μερικά λεπτά. Μετά την επίτευξη ισχαιμίας, η περιχειρίδα αποσυμπιέζεται, επιτρέποντας την επαναιμάτωση του ιστού. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, η μυϊκή οξυγόνωση παρακολουθείται με τη χρήση NIRS, η οποία μετρά τη συγκέντρωση της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $HHb$ ) στον ιστό.

Με την τεχνική αυτή, μετρούνται οι ακόλουθες παράμετροι:

- % μυϊκής οξυγόνωση ( $SmO_2$ ): Η ποσοτική εκτίμηση του ποσοστού οξυγόνου στους μύες (McCully & Hamaoka, 2000).
- Συγκέντρωση οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ): Η συγκέντρωση του οξυγονωμένου αίματος στον μυϊκό ιστό (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).
- Συγκέντρωση αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $HHb$ ): Η συγκέντρωση του αποξυγονωμένου αίματος στον μυϊκό ιστό (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).
- Δείκτης επανακορεσμού οξυγόνου των μυών: Η ταχύτητα με την οποία ο μυϊκός ιστός επανέρχεται σε οξυγονωμένη κατάσταση μετά την απελευθέρωση της ισχαιμίας (Grassi, Marconi & Pogliaghi, 2003).

Οι δείκτες αυτοί παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα των μυών να διατηρούν και να ανακτούν την οξυγόνωση υπό συνθήκες ισχαιμίας και επαναιμάτωσης. Για παράδειγμα, η ταχύτερη ανάκαμψη της μυϊκής οξυγόνωσης κατά την επαναιμάτωση υποδηλώνει καλύτερη αγγειακή λειτουργία και καλύτερη ικανότητα οξυγόνωσης του



μυϊκού ιστού. Αντίθετα, αργή ανάκαμψη μπορεί να υποδηλώνει αγγειακή δυσλειτουργία ή χαμηλή ανθεκτικότητα του ιστού (Ganesan, Cotter, Reuland, Cerussi, Tromberg & Galasseti, 2014).

Η τεχνική της ισχαιμικής περιόδου, έχει εφαρμοστεί σε διάφορους πληθυσμούς, όπως σε υγιείς ενήλικες, για την αξιολόγηση της αγγειακής λειτουργίας και της αντίδρασης στην υποξία (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011). Σε αθλητές, για την αξιολόγηση της ικανότητας των μυών να διατηρούν και να ανακτούν οξυγόνωση κατά τη διάρκεια και μετά από έντονη άσκηση (Koga et al., 2007). Σε ασθενείς με μεταβολικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, για την αξιολόγηση της αγγειακής λειτουργίας και της ικανότητας ανάκτησης της οξυγόνωσης σε συνθήκες μειωμένης αιματικής ροής (Bushel et al., 2001).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ υγιών ατόμων και ασθενών με καρδιαγγειακές παθήσεις δείχνει συχνά ότι οι ασθενείς παρουσιάζουν μειωμένη ταχύτητα επανακορεσμού οξυγόνου, υποδηλώνοντας αγγειακή δυσλειτουργία (Bushel et al., 2001). Αντίθετα, οι αθλητές συνήθως εμφανίζουν ταχύτερη ανάκαμψη της μυϊκής οξυγόνωσης, αντανακλώντας την αυξημένη ικανότητα τους να αποκαθιστούν την αιματική ροή και να παρέχουν οξυγόνο στους μυς τους μετά από έντονη άσκηση (Ganesan, Cotter, Reuland, Cerussi, Tromberg & Galasseti, 2014).

### ***Αποκρίσεις της μυϊκής οξυγόνωσης με την τεχνική της ισχαιμικής περιόδου και επαναιμάτωσης μετά από άσκηση***

Η τεχνική της ισχαιμικής περιόδου έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη μελέτη των αποκρίσεων της μυϊκής οξυγόνωσης μετά από άσκηση. Η διαδικασία περιλαμβάνει την εφαρμογή πίεσης με περιχειρίδα σε ένα άκρο για την προσωρινή διακοπή της αιματικής ροής, ακολουθούμενη από την επαναιμάτωση του ιστού. Αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση της μυϊκής οξυγόνωσης και της αγγειακής ανταπόκρισης σε συνθήκες αυξημένης ανάγκης για οξυγόνο, όπως αυτές που προκαλούνται από την άσκηση (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011).

Μετά από άσκηση, οι αποκρίσεις της μυϊκής οξυγόνωσης στην τεχνική της ισχαιμικής περιόδου και επαναιμάτωσης έχουν μελετηθεί για να αξιολογηθεί η ικανότητα των μυών να ανακάμπτουν από την αυξημένη ζήτηση οξυγόνου. Η αποκατάσταση της οξυγόνωσης μετά από άσκηση θεωρείται κρίσιμος παράγοντας για την κατανόηση της

μυϊκής και της αγγειακής λειτουργίας. Μια σχετική μελέτη (Kutsuzawa, Shioua, Kurita, Haida & Yamabayashi, 2001) έδειξε ότι μετά από ένα πρωτόκολλο άσκησης χειρολαβής, 20 επαναλήψεων ανά λεπτό για 3 λεπτά, στο 7% της μέγιστης δύναμης χειρολαβής, στα επόμενα 10' αποκατάστασης, οι ηλικιωμένοι συμμετέχοντες παρουσίασαν βραδύτερη επαναφορά της οξυγονωμένης και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης σε σύγκριση με τους νεότερους συμμετέχοντες. Η μελέτη ανέφερε ότι οι ηλικιωμένοι είχαν μεγαλύτερους χρόνους επανακορεσμού λόγω ηλικιακής διαφοράς και μειωμένης περιφερικής κυκλοφορίας του αίματος, ενώ οι ασθενείς με χρόνια καρδιαγγειακή νόσο παρουσίασαν ακόμα πιο αργούς χρόνους αποκατάστασης της μυϊκής οξυγόνωσης.

Σε μία άλλη μελέτη (McCully, Halber, & Posner, 1994), μετά από πρωτόκολλό άσκησης κάμψεις ποδοκνημικής, εκτελώντας μία επανάληψη κάθε 5" για 1', δεν βρέθηκαν διαφορές στην επαναφορά της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης για τα επόμενα 6' μεταξύ ηλικιωμένων και νέων συμμετεχόντων. Ωστόσο και οι δύο ομάδες αποτελούνταν από προπονημένα άτομα.

### ***Αποκρίσεις της μυϊκής οξυγόνωσης στην ηρεμία, στην άσκηση και την αποκατάσταση σε άτομα με χρόνιες παθήσεις***

Η μελέτη της μυϊκής οξυγόνωσης σε παχύσαρκα άτομα κατά την ηρεμία, την άσκηση και την αποκατάσταση παρέχει κρίσιμες πληροφορίες για τις φυσιολογικές προσαρμογές και τις πιθανές παθοφυσιολογικές αλλαγές που σχετίζονται με την παχυσαρκία και άλλες σχετικές χρόνιες παθήσεις, όπως με τον σακχαρώδη διαβήτη τύπου

Η μελέτη των Jalil και συν. (2024) διερεύνησε την επίδραση του σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 στη μυϊκή οξυγόνωση κατά τη διάρκεια άσκησης σε παχύσαρκα άτομα χωρίς επιπλοκές. Βρέθηκε ότι παρά τη φυσιολογική πνευμονική λειτουργία κατά την ηρεμία και μετά την άσκηση, τα άτομα με διαβήτη παρουσίασαν μειωμένη αύξηση της συνολικής αιμοσφαιρίνης και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης κατά τη διάρκεια της άσκησης σε σύγκριση με τα παχύσαρκα άτομα χωρίς διαβήτη. Αυτή η μείωση στη μυϊκή οξυγόνωση μπορεί να συμβάλλει στην παρατηρούμενη μείωση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου σε αυτή την ομάδα (Jalil et al., 2024).

Στη μελέτη των Machado, Barbosa, Sales, Souza και Nobrega (2017) εξετάστηκε η μυϊκή αποξυγόνωση κατά τη διάρκεια δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την σε άτομα με Μεταβολικό Σύνδρομο (ΜετΣ). Δαπιστώθηκε ότι τα



άτομα τα άτομα με ΜεΤΣ εμφάνισαν σημαντική μικρότερη αποξυγόνωση των μυών σε σύγκριση με υγιή άτομα. Η μειωμένη ικανότητα εξαγωγής οξυγόνου από τους μυς μπορεί να συμβάλλει στη μείωση της αερόβιας ισχύος, που είναι χαρακτηριστικό του μεταβολικού συνδρόμου.

Το 2016, οι Julian και συνεργάτες αξιολόγησαν τις αγγειακές προσαρμογές σε έφηβους με παχυσαρκία μετά από ένα πρόγραμμα προπόνησης διάρκειας 12 εβδομάδων, κατά την εκτέλεση υπομέγιστης αερόβιας άσκησης. Οι συμμετέχοντες εμφάνισαν βελτιωμένες περιφερειακές και κεντρικές αγγειακές προσαρμογές, όπως φάνηκε από τη βελτίωση της αιματικής ροής στους μυς και τη μυϊκή οξυγόνωση κατά τη διάρκεια της άσκησης. Αυτές οι βελτιώσεις υποδηλώνουν ότι η συστηματική άσκηση μπορεί να αντιστρέψει ορισμένες από τις αγγειακές δυσλειτουργίες που σχετίζονται με την παχυσαρκία (Julian et al., 2016).

Οι Kutsuzawa, Shioua, Kurita, Haida και Yamabayashi (2001), αφού υπολόγισαν τη μέγιστη δύναμη χειρολαβής του μη κυρίαρχου βραχίονα με δυναμόμετρο, εκτέλεσαν με ρυθμό 20 πιέσεις χειρολαβής ανά λεπτό για 3 λεπτά, σε ύπτια θέση, στο 7% της μέγιστης δύναμης λαβής του μη κυρίαρχου βραχίονα. Στη συνέχεια συγκρίθηκαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά σε νεαρά και μεγαλύτερα άτομα: 1) το pHi και η συγκέντρωση της PCr κατά την ολοκλήρωση της άσκησης, 2) η επανασύνθεση της PCr κατά την αποκατάσταση μετά την άσκηση και 3) ο επανακορεσμός της αιμοσφαιρίνης κατά τη φάση ανάκαμψης. Δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν εννέα νεαρά άτομα (μία γυναίκα και οκτώ άνδρες, ηλικίας  $28,1 \pm 5,0$  ετών) και εννέα ηλικιωμένα (δύο γυναίκες και επτά άνδρες, ηλικίας  $61,4 \pm 4,6$  ετών). Οι μετρήσεις NIRS λήφθηκαν χρησιμοποιώντας ένα ελεγχόμενο από υπολογιστή φασματοφωτόμετρο τριών καναλιών και τριών μήκων κύματος (OM-100A, Shimadzu Co., Kyoto, Japan). Οι τιμές της μέγιστης O<sub>2</sub>Hb και της ελάχιστης HHb κατά την ανάκτηση ορίστηκαν στο 100%, και οι τιμές της O<sub>2</sub>Hb και της HHb κατά την ολοκλήρωση της άσκησης ήταν 0%. Ο ρυθμός αποκατάστασης της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης της παροχής οξυγόνου στον μυ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων στη συγκέντρωση PCr και στο pHi σε ηρεμία και στο τέλος της άσκησης δεν διέφεραν μεταξύ των νέων και των ηλικιωμένων ατόμων. Επιπλέον, ο χρόνος επανασύνθεσης της PCr δεν διέφερε μεταξύ των ομάδων. Ωστόσο, σύμφωνα με τα δεδομένα NIRS, υπήρξε σημαντική διαφορά στο ρυθμό ανάκτησης της O<sub>2</sub>Hb και της HHb μεταξύ των δύο ομάδων. Πιο συγκεκριμένα, η αποκατάσταση των τιμών

μετά την άσκηση στην ομάδα των ηλικιωμένων ήταν σημαντικά πιο αργή. Αυτό υποδηλώνει ότι στους ηλικιωμένους υπάρχει επιβράδυνση της οξυγόνωσης των μυών, πιθανόν λόγω μειωμένης περιφερειακής κυκλοφορίας, η οποία συνδέεται με τη διαδικασία της γήρανσης. Οι μετρήσεις NIRS αντανάκλυσαν μια ισορροπία μεταξύ της παροχής και της χρήσης  $O_2$  όσον αφορά τον ρυθμό επανακορεσμού μετά την άσκηση. Σε αυτή τη μελέτη, ο ρυθμός αποκατάστασης της από-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ήταν πιο αργός στα μεγαλύτερα άτομα από ότι στα νεαρά άτομα.

Ο Vieira de Oliveira και συν. (2021) ερεύνησε τον ρυθμό επανακορεσμού του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης μετά από πιέσεις χειρολαβής. Δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν είκοσι υγιή νεαρά άτομα ( $34 \pm 11$  ετών), 20 ηλικιωμένοι χωρίς καρδιολογικά ή μυοσκελετικά προβλήματα ( $67 \pm 4$  ετών) και 25 ηλικιωμένοι με καρδιαγγειακά προβλήματα ( $67 \pm 5$  έτη). Οι ασκούμενοι εκτέλεσαν ένα σετ πιέσεων χειρολαβής μέχρι εξάντλησης στο 30% της μέγιστης εκούσιας σύσπασης. Χρησιμοποιήθηκε εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία για την αξιολόγηση της οξυγόνωσης των μυών του αντιβραχίου, ενώ ο ρυθμός επανακορεσμού οξυγόνου κατά την αποκατάσταση της άσκησης ( $SmO_2RR$ ) υπολογίστηκε ως η γραμμική κλίση της τιμής  $SmO_2$  στα πρώτα 5 δευτερόλεπτα αμέσως μετά την άσκηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το  $SmO_2RR$  είχε σημαντικά ταχύτερη ανάκαμψη σε υγιείς νέους σε σύγκριση με ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας χωρίς καρδιαγγειακή νόσο, καθώς και σε σύγκριση με ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας με κίνδυνο για καρδιαγγειακή νόσο. Καμία στατιστικά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε στην  $SmO_2RR$  μεταξύ των δύο ομάδων ηλικιωμένων. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η γήρανση, ανεξάρτητα από την παρουσία παραγόντων κινδύνου καρδιαγγειακής νόσου, επηρεάζει αρνητικά τον επανακορεσμό του μυϊκού οξυγόνου μετά την άσκηση.

Οι Shiro και συν. (2006) μελέτησαν την επανοξυγόνωση του έξω πλατύ μετά από μέγιστη άσκηση σε στατικό ποδήλατο. Πιο συγκεκριμένα, οι συμμετέχουσες υποβλήθηκαν σε δοκιμασία μέγιστης αερόβιας ικανότητας χρησιμοποιώντας εργομετρικό ποδήλατο. Η ένταση της άσκησης αυξήθηκε σταδιακά με ρυθμός 10 ή 15  $W \cdot \text{min}^{-1}$ , ανάλογα με την ηλικία και το σωματικό βάρος κάθε ατόμου. Ο ρυθμός περιστροφών διατηρήθηκε σταθερός στις 60 στροφές ανά λεπτό (rpm), ενώ η δοκιμασία συνεχίστηκε μέχρι το σημείο που η κίνηση των ποδιών δεν συγχρονιζόταν πλέον με τον ρυθμό του μετρονόμου, που αποτέλεσε και το κριτήριο τερματισμού της δοκιμασίας. Το δείγμα της έρευνας



αποτελέσαν τριάντα τρεις υγιείς δραστήριες γυναίκες (40-67 ετών) και 25 υγιείς γυναίκες με καθιστική ζωή (40-76 ετών) και χωρίστηκαν σε άτομα με καθιστική ζωή μέσης ηλικίας (N= 12), ηλικιωμένους με καθιστική ζωή (N= 13), σε ενεργούς μεσήλικες (N= 13) και σε ενεργούς ηλικιωμένους (N= 20). Όλα τα άτομα ήταν υγιή και χωρίς υπέρταση, διαβήτη και καρδιαγγειακή νόσο, όπως αξιολογήθηκε από το ιατρικό τους ιστορικό. Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν η πνευμονική πρόσληψη οξυγόνου, ο καρδιακός ρυθμός και η αρτηριακή πίεση. Επιπροσθέτως, μετρήθηκε, μέσω NIRS, η οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη/μυοσφαιρίνη (Hb/MbO<sub>2</sub>) του έξω πλατύ καθώς και ο χρόνος επαναοξυγόνωσής του. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο χρόνο ανάκαμψης της οξυγόνωσης του μυός μεταξύ ηλικιωμένων και μεσήλικων ατόμων, καθώς ο χρόνος ανάκαμψης ήταν μεγαλύτερος στις ομάδες ηλικιωμένων ατόμων. Επίσης, παρατηρήθηκε μικρότερος χρόνος ανάκαμψης των ομάδων με ενεργή ζωή σε σύγκριση με τις ομάδες ατόμων με καθιστική ζωή.

#### ***Εφαρμογή της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας κατά την εκτέλεση της άσκησης 'έκταση γόνατος'.***

Οι Lauver και συν. (2019) μελέτησαν τις μικροαγγειακές προσαρμογές (μέσω NIRS) και τη μυϊκή ενεργοποίηση (μέσω sEMG) στον έξω και έσω πλατύ κατά την εκτέλεση της άσκησης εκτάσεις γόνατος. Το πρωτόκολλο άσκησης που ακολούθησαν ήταν 4 σετ στο 30% της 1 μέγιστης επανάληψης, όπου στο 1<sup>ο</sup> σετ εκτελέστηκαν 30 επαναλήψεις και στα υπόλοιπα 3 σετ από 15 επαναλήψεις, με 1' διάλειμμα μεταξύ των σετ. Σύγκριναν 4 διαφορετικά προγράμματα άσκησης, έκκεντρων επαναλήψεων, σύγκεντρων επαναλήψεων, έκκεντρων με απόφραξη και σύγκεντρων με απόφραξη. Η απόφραξη ορίστηκε στο 130% της συστολικής πίεσης ηρεμίας. Το δείγμα αποτέλεσαν 17 άτομα, ηλικίας 24 ετών, χωρίς τραυματισμούς ή χρόνιες παθήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγαλύτερη μυϊκή ενεργοποίηση του έσω και έξω πλατύ, υψηλότερη αύξηση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης και μυοσφαιρίνης στα πρωτόκολλα άσκησης των σύγκεντρων και έκκεντρων επαναλήψεων με απόφραξη.

Σε μία άλλη μελέτη, οι Ganesan και συν. (2014) μελέτησαν την επίδραση της ίσχειμης περιόδου στον έξω πλατύ μυ κατά την εκτέλεση εκτάσεων γόνατος. Το δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 6 υγιείς ενήλικες που εκτέλεσαν 3 σετ στις εκτάσεις γόνατος με 90'' διάλειμμα μεταξύ των σετ. Οι 3 συνθήκες που εξετάστηκαν ήταν: α) επαναλήψεις

μέχρι την εξάντληση χωρίς ίσχαιμη περίδεση, β) μέχρι εξάντληση με ίσχαιμη περίδεση, και γ) τον αριθμό των επαναλήψεων που εκτέλεσαν στην συνθήκη (β) χωρίς όμως ίσχαιμη περίδεση. Η πίεση της απόφραξης ορίστηκε στα 100 mmHg. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν, μέσω εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS), ήταν η οξυγονωμένη ( $O_2Hb$ ), η αποκατάσταση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHbR), η επαναφορά της  $O_2Hb$  ( $O_2HbR$ ) κατά την αποκατάσταση και η οξυγόνωση του μυός (stO<sub>2</sub>). Τα αποτελέσματα έδειξαν γρηγορότερη επαναφορά του  $O_2HbR$  και μικρότερη επανοξυγόνωση του μυός (stO<sub>2</sub>) κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων στη συνθήκη άσκησης με ίσχαιμη περίδεση μέχρι εξάντλησης απ' ότι στις άλλες δύο συνθήκες.

Οι Earp, Gesick, Angelino, και Adami (2022) ερεύνησαν τις επιδράσεις της ισομετρικής άσκησης στην μικροαγγειακή απόκριση του επιγονατιδικού τένοντα σε 8 ισομετρικές εκτάσεις κνήμης 5 δευτερολέπτων στο 25%, 50% και 75% της μέγιστης ισομετρικής δύναμης με 20' διάλειμμα μεταξύ των πρωτοκόλλων. Δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 13 ενήλικες, ηλικίας 18-35 ετών, χωρίς τραυματισμούς στα κάτω άκρα. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλότερες τιμές οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης μετά την άσκηση στο 50% και 75% της μέγιστης ισομετρικής, ενώ δεν βρέθηκαν διαφορές στο 25% στη συγκέντρωση της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) ή στη συνολική αιμοσφαιρίνη (THb) μετά την άσκηση, αλλά και μεταξύ του 50% και 75%. Συμπερασματικά, στο 50% και 75% της μέγιστης ισομετρικής δύναμης στις εκτάσεις κνήμης υπάρχουν διαφορές μετά την άσκηση με υψηλότερες τιμές οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μετά την άσκηση συγκρίθηκαν με τις τιμές πριν από την άσκηση. Η  $O_2Hb$  αυξήθηκε σημαντικά μετά την άσκηση στο 50% και το 75% της μέγιστης δύναμης, σε αντίθεση με το 25% όπου δεν υπήρξε σημαντική αλλαγή.

#### ***Διαφορές στη μικροαγγειακή λειτουργία μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων***

Οι Soares και συν. (2018) μέτρησαν τις διαφορές στην επανοξυγόνωση του κορεσμού οξυγόνου (StO<sub>2</sub>) του πρόσθιου κνημιαίου μετά από ίσχαιμη περίδεση (διάρκειας 5 min) στο κάτω άκρο μεταξύ υγιή και παχύσαρκων ατόμων. Δείγμα της μελέτης αποτέλεσαν 20 υγιή άτομα (ηλικίας  $27 \pm 1$  ετών, 13 άνδρες και 7 γυναίκες) και 17 άτομα με παχυσαρκία (ηλικίας  $26 \pm 1$  ετών, 12 άνδρες και 5 γυναίκες) που δεν είχαν καμία πρόσθετη ασθένεια. Δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων στην ηλικία,



στην αρτηριακή πίεση ηρεμίας και στη συγκέντρωση γλυκόζης στο αίμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι οι τιμές  $StO_2$  ήταν σημαντικά μικρότερες ( $21,6 \pm 1,3\%$ ) στα άτομα με παχυσαρκία σε σύγκριση με τα υγιή ( $30,4 \pm 2,9\%$ ). Επίσης, υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της κλίσης της καμπύλης  $StO_2$ , καθώς και της καμπύλης κατά την φάση της επανα-οξυγόνωσης, όπου τα υγιή άτομα παρουσίασαν γρηγορότερη επανα-οξυγόνωση του πρόσθιου κνημιαίου.

Σε μία μελέτη των Lipford και συν. (2017) εξετάστηκε η επίδραση ενός πρωτοκόλλου άσκησης εκτάσεων γόνατος μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων ατόμων στις αλλαγές της επανα-οξυγόνωσης πριν την άσκηση, αμέσως μετά, 1 ώρα αργότερα και 24 ώρες αργότερα. Το δείγμα της μελέτης ήταν ηλικίας 18-39 ετών, με ποσοστό σωματικού λίπους  $\leq 30\%$  για την νορμοβαρή ομάδα και  $>30\%$  για την ομάδα με παχυσαρκία. Το πρωτόκολλο άσκησης περιελάμβανε 4 σετ των 8 επαναλήψεων στο 85% της 1ME στις εκτάσεις γόνατος με 1' διάλειμμα μεταξύ των σετ. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η μικροαγγειακή λειτουργία, μετρημένη μέσω της υπερβάλλουσας αιματικής ροής (EBF), επηρεάστηκε διαφορετικά μεταξύ παχύσαρκων και μη παχύσαρκων ατόμων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές μετά από την προπόνηση. Συγκεκριμένα, στην ομάδα των παχύσαρκων παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της EBF αμέσως μετά την άσκηση ( $547,00 \pm 311,15 \text{ ml}/100 \text{ ml}/\text{min}\cdot\text{s}$ ) σε σύγκριση με τις τιμές πριν από την άσκηση ( $428,54 \pm 261,59 \text{ ml}/100 \text{ ml}/\text{min}\cdot\text{s}$ ,  $p= 0,046$ ), ενώ στους νορμοβαρής η αλλαγή δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Ωστόσο, 24 ώρες μετά την άσκηση, η EBF μειώθηκε σημαντικά στην ομάδα των παχύσαρκων ( $389,33 \pm 252,32 \text{ ml}/100 \text{ ml}/\text{min}\cdot\text{s}$ ,  $p= 0.011$ ), φτάνοντας σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά αμέσως μετά την άσκηση, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στους νορμοβαρής. Αυτό υποδηλώνει ότι η άμεση αγγειοδιασταλτική αντίδραση στην άσκηση είναι διαφορετική στα άτομα με παχυσαρκία σε σύγκριση με τους νορμοβαρή, με πιο έντονες αυξομειώσεις στα επίπεδα της EBF μέσα σε 24 ώρες.

### III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### **Δείγμα**

Στη μελέτη συμμετείχαν είκοσι επτά γυναίκες (ηλικίας:  $21,2 \pm 2,3$  ετών, σωματικής μάζας:  $77,4 \pm 11,7$  kg, ύψους:  $170,7 \pm 4,8$  cm, δείκτη σωματικής μάζας:  $24,7 \pm 2,9$  kg/m<sup>2</sup>, ποσοστό σωματικού λίπους:  $30,6 \pm 3,3\%$ ). Το συνολικό δείγμα χωρίστηκε σε δύο ομάδες, ανάλογα με το ποσοστό σωματικού λίπους, σε νορμοβαρείς ( $\leq 30,9\%$ , N=14, ηλικίας:  $22,2 \pm 1,2$  ετών και ύψους:  $168,2 \pm 1,6$  cm) και σε παχύσαρκες ( $\geq 31\%$ , N=13, ηλικίας:  $20,3 \pm 1,3$  ετών και ύψους:  $171,2 \pm 2,4$  cm). Οι συμμετέχουσες έπρεπε να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις για να συμπεριληφθούν στη μελέτη, όπως να είναι ηλικίας 21-24 ετών, να έχουν ποσοστό σωματικού λίπους  $\leq 30,9\%$  για τις νορμοβαρείς και  $\geq 31\%$  για τις παχύσαρκες, να μην πάσχουν από χρόνιες παθήσεις ή νοσήματα, να μην έχουν μυοσκελετικά προβλήματα, να μην έχουν καπνίσει 12 ώρες πριν τις συνεδρίες και να μην έχουν καταναλώσει καφεΐνη 6 ώρες πριν από τις συνεδρίες.

#### **Πειραματικός σχεδιασμός**

Σε πρώτη επίσκεψη των συμμετεχουσών στη μελέτη πραγματοποιήθηκε ενημέρωσή τους για τον σκοπό και τις διαδικασίες της μελέτης, μέτρηση των ανθρωπομετρικών τους χαρακτηριστικών και μέτρηση της μέγιστης δύναμης στη μονοποδική έκταση του γόνατος. Στην επόμενη επίσκεψη, οι συμμετέχουσες πραγματοποίησαν άσκηση που περιλάμβανε μονοποδική έκταση γόνατος, εκτελώντας 3 σετ των 10 επαναλήψεων στο 60% της μέγιστης δύναμής τους. Μεταξύ των σετ υπήρχε διάλειμμα διάρκειας 3 λεπτών. Ο ρυθμός επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός, μετά από την πρόκληση απόφραξης της ροής αίματος στον μηρό και απελευθέρωσής της, εκτιμήθηκε με τη μέτρηση της μεταβολής των επιπέδων οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) και της ολικής αιμοσφαιρίνης (tHb) μετρήθηκε πριν την άσκηση, 3 λεπτά μετά την άσκηση και 24 ώρες μετά από την άσκηση.



### **Μετρήσεις και όργανα μέτρησης**

*Μέτρηση σωματομετρικών χαρακτηριστικών.* Οι συμμετέχουσες προσήλθαν στο εργαστήριο κατά τις πρωινές ώρες (9:00–10:00). Αρχικά, ενημερώθηκαν για την πειραματική διαδικασία και υπέγραψαν γραπτή φόρμα συγκατάθεσης. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η καταγραφή του ύψους και του σωματικού βάρους με αναστημόμετρο και ζυγαριά (SECA, Model 220, Hamburg, Germany) υψηλής ακρίβειας (με ακρίβεια 0,1 κιλών). Οι συμμετέχουσες ανέβηκαν στη ζυγαριά φορώντας ελαφρύ ρουχισμό και χωρίς παπούτσια. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε το πρωί, πριν την κατανάλωση φαγητού ή νερού, για να διασφαλιστεί η σταθερότητα των δεδομένων. Το σωματικό ύψος των συμμετεχουσών μετρήθηκε με τη χρήση αναστημόμετρου (SECA, Hamburg, Germany) με ακρίβεια 0,1 εκατοστών. Οι συμμετέχουσες στέκονταν όρθιες, με την πλάτη σε ευθεία γραμμή και τα πόδια μαζί ενώ το σκέλος του αναστημόμετρου τοποθετούνταν στην κορυφή του κεφαλιού.

*Μέτρηση συνολικού ποσοστού λίπους.* Το συνολικό ποσοστό λίπους μετρήθηκε με τη χρήση του λιπομετρητή Tanita MC-780, ο οποίος διαθέτει ανάλυση ακρίβειας 0,1%, με τη μέθοδο της βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Οι συμμετέχουσες στάθηκαν ξυπόλητες στις ηλεκτρόδια της συσκευής, με τα χέρια στα πλάγια του σώματος. Όλες οι συμμετέχουσες ακολούθησαν τις οδηγίες να μην έχουν φάει ή πιει 4 ώρες πριν τη μέτρηση.

*Μέγιστη δύναμη - Μια μέγιστη επανάληψη (1ME).* Το πρωτόκολλο εύρεσης της 1ME στη μονοποδική έκταση γόνατος ξεκίνησε με μια γενική προθέρμανση 5 λεπτών αυτορυθμιζόμενης βάρδισης στο δαπεδοεργόμετρο. Στη συνέχεια, οι συμμετέχουσες ολοκλήρωσαν 3 σετ προθέρμανσης σε μηχανήμα έκτασης ποδιών που περιλάμβαναν 10 επαναλήψεις στο 50%, 5 επαναλήψεις στο 70% και 1 επανάληψη στο 90% του αυτοεκτιμώμενου 1ME των συμμετεχόντων με 90 δευτερόλεπτα ανάπαυσης μεταξύ των σετ. Μετά από αυτό, το βάρος αυξανόταν σταδιακά κατά περίπου 5% και εκτελούνταν μονές επαναλήψεις. Αυτό συνεχίστηκε μέχρι οι συμμετέχουσες να μην μπορούν να εκτελέσουν με επιτυχία την μονοποδική έκταση γόνατος στο πλήρες εύρος κίνησης. Μεταξύ κάθε μέγιστης προσπάθειας παρέχονταν 3 λεπτά διαλείμματος, με τη 1ME να ορίζεται ως το μέγιστο φορτίο που ανυψώθηκε επιτυχώς μια φορά.

*Εγγύς Υπέρυθρη Φασματοσκοπία (NIRS).* Η εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία (NIRS, Oxymon MKIII, Artinis, Netherlands) χρησιμοποιήθηκε για τη συνεχή καταγραφή των

μεταβολών της οξυγονωμένης ( $O_2Hb$ ), αποξυγονωμένης ( $HHb$ ) και συνολικής ( $tHb$ ) αιμοσφαιρίνης στη μικροαγγειακή κυκλοφορία του έξω πλατύ μυός. Στις ασκούμενες τοποθετήθηκε ένα ζεύγος καναλιών οπτικών ινών εκπομπής και ανίχνευσης υπέρυθρου φωτός σταθεροποιημένα σε ειδική πλαστική υποδοχή η οποία προσαρμοζόταν στην επιφάνεια του δέρματος πάνω από το μυ. Για τη σταθεροποίηση της πλαστικής υποδοχής και των καναλιών των οπτικών ινών χρησιμοποιήθηκε διάφανη υποαλλεργική αυτοκόλλητη ταινία και επίδεσμος περιδέσης για καλύτερη συγκράτηση και μέγιστο αποκλεισμό του εξωτερικού φωτός. Το κέντρο του ζεύγους των οπτικών ινών τοποθετήθηκε στο  $1/3$  της απόστασης από το μέσο της εξωτερικής πλευράς της επιγονατίδας έως την πρόσθια άνω λαγόνια άκανθα. Η απόσταση μεταξύ των οπτικών ινών ήταν 30-50 mm, ανάλογα με το πάχος της δερματοπτυχής του έξω πλατύ μυ του κάθε ασκούμενου, έτσι ώστε να δοθεί από το NIRS το καλύτερο δυνατό σήμα (5 – 7% όπως ορίζεται από το κατασκευαστή). Σε κάθε δοκιμαζόμενη μετρήθηκε το πάχος της δερματοπτυχής στο σημείο τοποθέτησης του ζεύγους των οπτικών ινών με τη χρήση δερματοπτυχόμετρου (Harpenden Ltd) και αυτό ήταν μικρότερο από το μισό της απόστασης του ζεύγους των οπτικών ινών. Η καταγραφή των δεδομένων από το σύστημα NIRS (OxymonIII) γίνονταν με συχνότητα δειγματοληψίας 50 Hz και μεταφέρονταν σε υπολογιστή με ειδικό λογισμικό (Oxysoft 2.1.6) και η ανάλυσή τους έγινε με μέσο όρο 1 δευτερολέπτου.

### ***Αξιολόγηση της επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός***

Για την αξιολόγηση της επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός έγινε χρήση της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας, συνδυαζόμενη με απόφραξη και στη συνέχεια απελευθέρωση της αιματικής ροής του κάτω άκρου με συνεχή καταγραφή των συγκεντρώσεων της  $O_2Hb$  και της  $tHb$ . Για την καταγραφή οι συμμετέχουσες ήταν σε καθιστή θέση με το πόδι ακίνητο και εκτεταμένο σε γωνία  $0^\circ$ , στερεωμένο επάνω σε ειδικό έδρανο. Στην αρχή, καταγράφονταν οι τιμές ηρεμίας για 3 λεπτά με κανονική αιματική ροή. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε περιμηρίδα και έγινε απόφραξη της αιματικής ροής για 5 λεπτά με αύξηση της πίεσης στο θάλαμο της περιμηρίδας  $>290$  mmHg. Αμέσως μετά γινόταν απελευθέρωση της πίεσης της περιμηρίδας με τις ασκούμενες να παραμένουν ακίνητες για 2 λεπτά. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, καταγράφονταν συνεχώς οι μεταβολές της οξυγονωμένης ( $O_2Hb$ ) και της συνολικής ( $tHb$ ) αιμοσφαιρίνης.



Για την αξιολόγηση της επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν:

- Ο ρυθμός αύξησης της tHb και της O<sub>2</sub>Hb στα πρώτα 10'' μετά το τέλος της απόφραξης της αιματικής ροής. Ο ρυθμός αύξησης της O<sub>2</sub>Hb και της tHb υπολογίστηκε από την κλίση της καμπύλης της O<sub>2</sub>Hb και της tHb στα πρώτα 10 δευτερόλεπτα μετά την διακοπή της απόφραξης και αποκατάστασης της ροής του αίματος. Η κλίση υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης, όπου η μεταβολή της συγκέντρωσης της O<sub>2</sub>Hb ή της tHb σε σχέση με τον χρόνο ( $\Delta t$ ) δίνει τον ρυθμό αύξησης.
- Το εμβαδό επιφανείας της O<sub>2</sub>Hb από τη χρονική στιγμή που έφτασε στις τιμές ηρεμίας μετά τον τερματισμό της απόφραξης έως την επαναφορά της στις ίδιες τιμές μετά τον υπερσυμψηφισμό κατά την αποκατάσταση. Το εμβαδό κάτω από την καμπύλη της O<sub>2</sub>Hb υπολογίστηκε από τη χρονική στιγμή που η O<sub>2</sub>Hb επέστρεψε στις τιμές ηρεμίας μετά την απελευθέρωση της περιόδου μέχρι την πλήρη αποκατάστασή της. Ο υπολογισμός του εμβαδού επιφάνειας της καμπύλης της O<sub>2</sub>Hb έγινε με τη χρήση της μεθόδου των τραπεζοειδών.
- Ο χρόνος επαναφοράς της O<sub>2</sub>Hb στις τιμές ηρεμίας, ο οποίος ορίστηκε ως ο χρόνος που απαιτείται για να επιστρέψει η συγκέντρωση της O<sub>2</sub>Hb στις τιμές ηρεμίας, αφού απελευθερωθεί η περίδεση. Αυτός ο χρόνος υπολογίστηκε από τα δεδομένα της NIRS, καταγράφοντας τη χρονική στιγμή που η O<sub>2</sub>Hb επέστρεψε στην αρχική της τιμή πριν την ισχαιμία.
- Ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής της O<sub>2</sub>Hb μετά την απελευθέρωση της περιμερίδας μετρήθηκε απευθείας από τα δεδομένα της NIRS. Η μέγιστη τιμή προσδιορίστηκε ως το υψηλότερο σημείο της καμπύλης της O<sub>2</sub>Hb κατά την περίοδο μετά τη λήξη της απόφραξης.
- Το εύρος μεταβολής της O<sub>2</sub>Hb μετά τη διακοπή της απόφραξης που υπολογίστηκε ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης τιμής της O<sub>2</sub>Hb που επιτεύχθηκε μετά τη διακοπή της περιόδου και της ελάχιστης τιμής της O<sub>2</sub>Hb στο τέλος της περιόδου.

### **Πειραματική διαδικασία**

Μετά την άφιξη στο χώρο του εργαστηρίου, οι συμμετέχουσες κάθονταν για 5 λεπτά. Στη συνέχεια εκτελούνταν η διαδικασία αξιολόγησης της επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός πριν την άσκηση. Στη συνέχεια, οι δοκιμαζόμενες εκτελούσαν 2 σετ προθέρμανσης των 10 επαναλήψεων. Το 1<sup>ο</sup> σετ εκτελέστηκε με φορτίο 35% της 1ΜΕ και το 2<sup>ο</sup> σετ με φορτίο 50% της 1ΜΕ. Στη συνέχεια εκτέλεσαν 3 σετ των 15 επαναλήψεων εκτάσεων γόνατος στο 60% της 1ΜΕ, με 3 λεπτά ανάπαυσης μεταξύ των σετ. Τρία λεπτά μετά το τέλος του 3<sup>ου</sup> σετ καθώς και 24 ώρες μετά ακολουθήθηκε ξανά η διαδικασία αξιολόγησης της επανα-οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός.

### **Στατιστική ανάλυση**

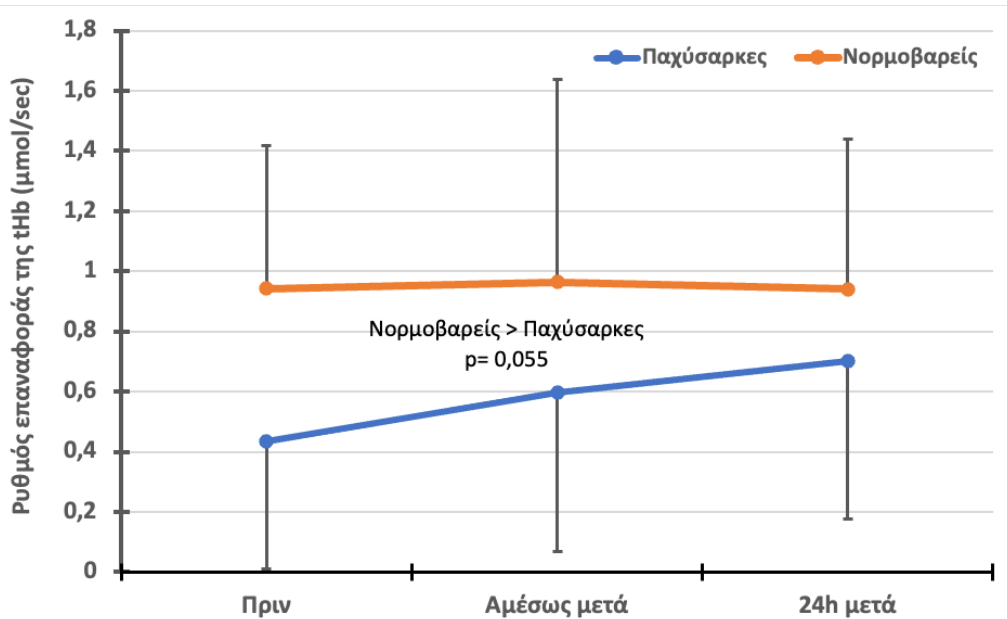
Για την παρουσίαση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε περιγραφική στατιστική (μέση τιμή, τυπική απόκλιση). Οι ανεξάρτητοι παράγοντες ήταν η ομάδα άσκησης (παχύσαρκες και νορμοβαρείς) και η χρονική στιγμή μέτρησης (πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση). Οι εξαρτημένες μεταβλητές ήταν ο ρυθμός αύξησης της ολικής αιμοσφαιρίνης και της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, π χρόνος επαναφοράς της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης στην τιμή ηρεμίας, το εμβαδό επιφανείας της καμπύλης υπερκορεσμού της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης και το εύρος μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης. Για τη διερεύνηση της επίδρασης της ομάδας άσκησης (παχύσαρκες και νορμοβαρείς), της χρονικής στιγμής μέτρησης (πριν, αμέσως μετά και 24 ώρες μετά την άσκηση) και της αλληλεπίδρασής τους στις εξαρτημένες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στον δεύτερο παράγοντα. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων προσδιορίστηκαν με το τεστ Newman-Keuls. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο  $p < 0,05$ .



#### IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

##### **Ρυθμός αύξησης της ολικής αιμοσφαιρίνης**

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)} = 1,6$ ,  $p = 0,21$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)} = 1,6$ ,  $p = 0,21$ ] στον ρυθμό αύξησης της ολικής αιμοσφαιρίνης με τη λήξη της απόφραξης της αιματικής ροής. Παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα [ $F_{(1,27)} = 4,07$ ,  $p = 0,055$ ] με τις νορμοβαρείς κοπέλες να παρουσιάζουν υψηλότερο ρυθμό αύξησης της ολικής αιμοσφαιρίνης (Σχήμα 1).

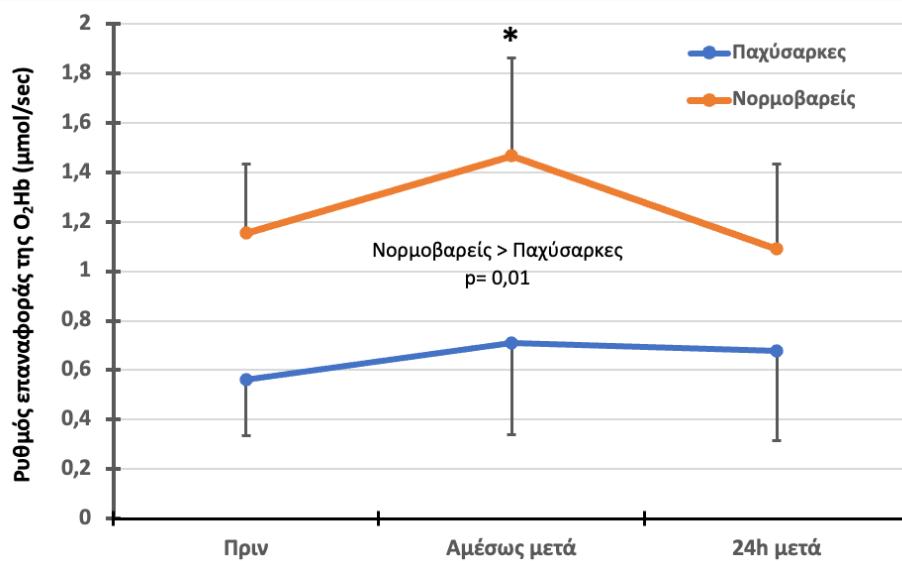


**Σχήμα 1.** Ρυθμός επαναφοράς της συνολικής αιμοσφαιρίνης (tHb) στα πρώτα 10'' μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας.

##### **Ρυθμός αύξησης της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης**

Παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)} = 5,87$ ,  $p = 0,01$ ] καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)} = 12,7$ ,  $p = 0,01$ ] και του παράγοντα ομάδα [ $F_{(1,27)} = 25,82$ ,  $p < 0,01$ ] στον ρυθμό αύξησης της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης με τη λήξη της απόφραξης

της αιματικής ροής. Στις νορμοβαρείς δοκιμαζόμενες παρατηρήθηκε υψηλότερος ρυθμός αύξησης της της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης αμέσως μετά το τέλος της άσκησης συγκριτικά με πριν και 24 ώρες μετά την άσκηση. Δεν παρατηρήθηκε μεταβολή του ρυθμού αύξησης της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης στις παχύσαρκες νεαρές γυναίκες, στις οποίες ο ρυθμός αύξησης της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ήταν σταθερά μικρότερος συγκριτικά με τις νορμοβαρείς (Σχήμα 2).

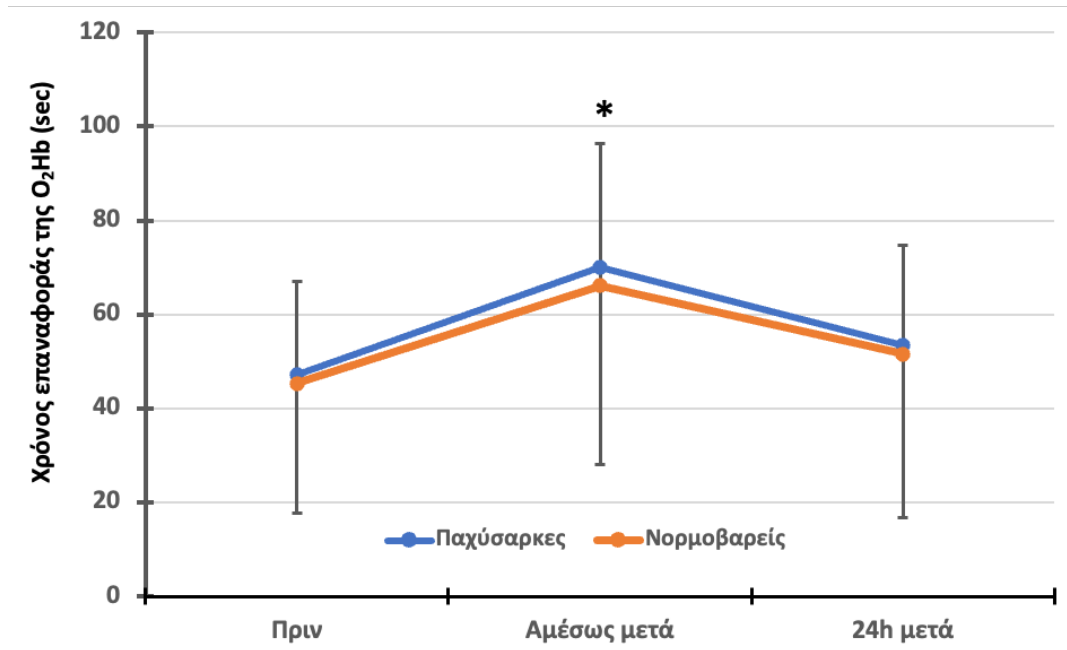


**Σχήμα 2.** Ρυθμός επαναφοράς της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) στα πρώτα 10'' μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας.

\* $p < 0,05$  από πριν και 24 ώρες μετά την άσκηση

### **Χρόνος επαναφοράς της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης στην τιμή ηρεμίας**

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)}=0,2$ ,  $p=0,98$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα άσκησης [ $F_{(1,27)}=0,76$ ,  $p=0,79$ ] στον ρυθμό αύξησης της ολικής αιμοσφαιρίνης με τη λήξη της απόφραξης της αιματικής ροής. Παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)}=6,19$ ,  $p=0,01$ ] με τις τιμές να είναι υψηλότερες αμέσως μετά την άσκηση συγκριτικά με πριν και 24 ώρες μετά την άσκηση (Σχήμα 3).

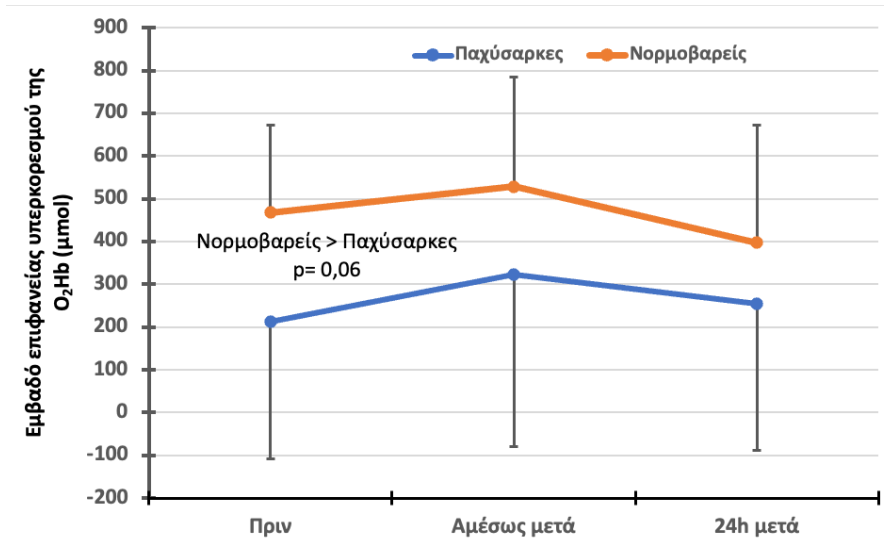


**Σχήμα 3.** Χρόνος επαναφοράς της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (O<sub>2</sub>Hb) στις τιμές ηρεμίας μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας

\* $p < 0,05$  από πριν και 24 ώρες μετά την άσκηση

#### **Εμβαδό επιφανείας της καμπύλης υπερκορεσμού της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης**

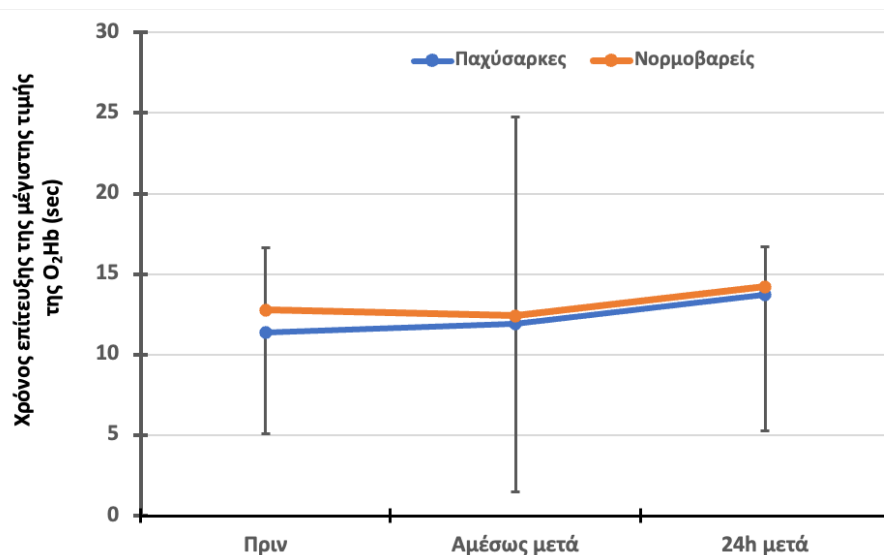
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)} = 0,69$ ,  $p = 0,50$ ] και κύρια επίδραση του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)} = 2,52$ ,  $p = 0,09$ ] στο εμβαδό επιφανείας της καμπύλης υπερκορεσμού της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης με τη λήξη της απόφραξης της αιματικής ροής. Παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα [ $F_{(1,27)} = 3,78$ ,  $p = 0,06$ ] με τις νορμοβαρείς γυναίκες να παρουσιάζουν υψηλότερο εμβαδό επιφανείας της καμπύλης υπερκορεσμού της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (Σχήμα 4).



**Σχήμα 4.** Εμβαδό επιφανείας υπερκορεσμού της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας.

#### Χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)}=0,04$ ,  $p= 0,97$ ] καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα άσκησης [ $F_{(1,27)}= 0,14$ ,  $p= 0,71$ ] και του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)}= 0,63$ ,  $p= 0,54$ ] στο χρόνο επίτευξης της μέγιστης τιμής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης με τη λήξη της απόφραξης της αιματικής ροής (Σχήμα 5).

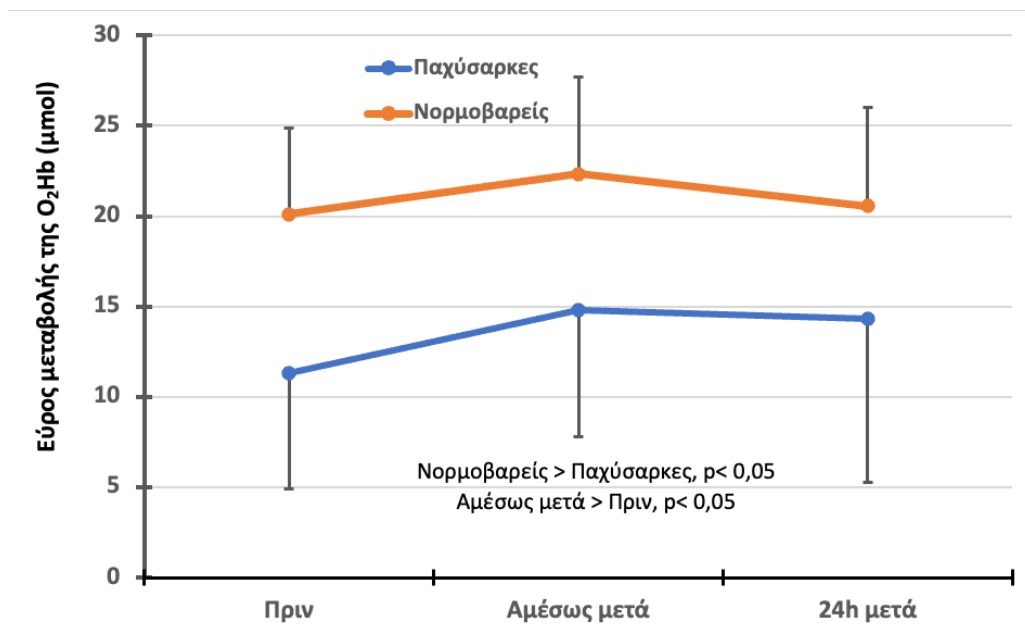


**Σχήμα 5.** Χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής της οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας.



### Εύρος μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)}= 1,02$ ,  $p= 0,37$ ]. Παρατηρήθηκε, ωστόσο, κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα άσκησης [ $F_{(1,27)}= 11,17$ ,  $p= 0,01$ ] και του παράγοντα χρονική στιγμή μέτρησης [ $F_{(2,50)}= 5,05$ ,  $p= 0,01$ ] στο εύρος μεταβολής της ολικής αιμοσφαιρίνης με τη λήξη της απόφραξης της αιματικής ροής. Οι τιμές ήταν υψηλότερες στις νορμοβαρείς κοπέλες συγκριτικά με τις παχύσαρκες και στο σύνολο του δείγματος υψηλότερες αμέσως μετά την άσκηση σε σύγκριση με πριν την άσκηση (Σχήμα 6).



**Σχήμα 6.** Εύρος μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) μετά τον τερματισμό της απόφραξης της αιματικής ροής πριν, αμέσως μετά και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες νεαρής ηλικίας.

## V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη συγκρίθηκε η μεταβολή της επανα-οξυγόνωση του έξω πλατύ μυ αμέσως μετά και 24 ώρες μετά από την εκτέλεση άσκησης με αντιστάσεις σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες. Οι αρχικές ερευνητικές υποθέσεις ήταν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό λιπώδης ιστού θα επηρέαζε αρνητικά τις τιμές επαναφοράς της οξυγόνωσης του μυός. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας επιβεβαίωσαν τις υποθέσεις αυτές για το σύνολο σχεδόν των φυσιολογικών παραμέτρων και στις τρεις χρονικές στιγμές (πριν, αμέσως μετά 24 ώρες μετά) μέτρησης. Γενικά, οι δύο ομάδες (παχύσαρκες και νορμοβαρείς) διέφεραν στην ταχύτητα επαναφοράς της  $O_2Hb$ , γεγονός που υποδηλώνει διαφοροποίηση στη μυϊκή επανα-οξυγόνωση. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές σε στατικές μεταβλητές ηρεμίας (όπως η βασική τιμή  $O_2Hb$  ή  $tHb$ ), γεγονός που συμφωνεί με άλλες μελέτες (McCully et al., 1994), οι οποίες υποστηρίζουν ότι η βασική μυϊκή οξυγόνωση δεν επηρεάζεται σημαντικά από το σωματικό βάρος, εφόσον δεν υφίστανται κυκλοφορικές διαταραχές.

Η επαναφορά της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) στα πρώτα 10'' φαίνεται να επιβεβαιώνει τις αρχικές ερευνητικές μας υποθέσεις, καθώς παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά του ρυθμού επαναφοράς της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) μεταξύ των δύο ομάδων. Ωστόσο δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών χρονικών διαστημάτων (πριν, αμέσως μετά, 24 ώρες αργότερα). Τα ευρήματα σχετικά με τη βραδύτερη επαναφορά της  $O_2Hb$  στις παχύσαρκες κοπέλες συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες (Ryan, Erickson, Brizendine, Young & McCully, 2012) οι οποίες έχουν δείξει μειωμένη τριχοειδική πυκνότητα και λειτουργική ικανότητα αγγειοδιαστολής σε παχύσαρκα άτομα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε μεταβολές στο μικροκυκλοφορικό σύστημα, όπως αυξημένη αγγειακή αντίσταση. Συνεπώς, η παχυσαρκία φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο τη φάση αποκατάστασης και λιγότερο την άμεση οξυγόνωση του μυός κατά την ηρεμία. Οι μεταβολές μετά την άσκηση εμφανίστηκαν κυρίως στις παραμέτρους που αντανακλούν την ροή αίματος και την οξυγόνωση στους ιστούς. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός αύξησης της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) και το εύρος μεταβολής της συνολικής αιμοσφαιρίνης ( $tHb$ ) αυξήθηκαν σημαντικά αμέσως μετά την άσκηση, ειδικά στις νορμοβαρείς κοπέλες. Αυτό οφείλεται στο ότι η άσκηση προκαλεί άμεση αγγειοδιαστολή και αυξημένη καρδιακή



παροχή, ενισχύοντας τη ροή αίματος και την τροφοδοσία οξυγόνου στους μύες. Αντίθετα, παράμετροι όπως ο χρόνος επαναφοράς της αιμοσφαιρίνης και ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης τιμής δεν επηρεάστηκαν άμεσα, πιθανώς επειδή σχετίζονται με σταθερότερους μηχανισμούς αγγειακής αντίδρασης που δεν μεταβάλλονται από ένα μόνο ερέθισμα άσκησης. Συνεπώς, παρατηρήθηκε μια καλύτερη μικροαγγειακή λειτουργία και προσαρμογή της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) στην ομάδα με τις νορμοβαρή κοπέλες, ωστόσο φάνηκε η άσκηση να έχει επίδραση στην επαναφορά της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ( $O_2Hb$ ) και στην ομάδα με τις κοπέλες με παχυσαρκία.

Οι επιδράσεις της άσκησης δεν ήταν ίδιες για όλες τις παραμέτρους στις δύο ομάδες γυναικών. Οι νορμοβαρείς γυναίκες εμφάνισαν σημαντικά ισχυρότερη υπεραϊμία (πιο απότομη αύξηση  $O_2Hb$  και μεγαλύτερη επιφανειακή περιοχή υπερκορεσμού) σε σχέση με τις παχύσαρκες. Αυτό ευθυγραμμίζεται με προηγούμενες μελέτες που έδειξαν ότι η παχυσαρκία συνοδεύεται από μειωμένη μικροαγγειακή λειτουργία, δηλαδή μικρότερο ρυθμό επαναροής και μικρότερη περιοχή υπερκορεσμού (Pawlak et al., 2018). Συνεπώς, η άσκηση προκάλεσε εντονότερη αγγειοδιαστολή στις νορμοβαρείς γυναίκες, ενώ στις παχύσαρκες η ανταπόκριση ήταν εξασθενημένη, όπως συμβαίνει γενικά σε αγγειακές παθήσεις. Άλλες μελέτες επιβεβαιώνουν ότι οι λεπτότεροι ή υγιείς συμμετέχοντες εμφανίζουν μεγαλύτερη μικροαγγειακή ανταπόκριση σε προκλητές ισχαιμίες (Pawlak et al., 2018).

Σε παραμέτρους όπου δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές (π.χ. χρόνος επίτευξης της μέγιστης  $O_2Hb$ ), πιθανολογείται ότι αυτές αντανakλούν βασικές ιδιότητες της μυϊκής λειτουργίας που δεν μεταβάλλονται από μια μόνο προπόνηση. Τέτοιοι χρόνοι πιθανόν οροθετούνται από εσωτερικούς παράγοντες (όπως η διάρκεια της κατανάλωσης οξυγόνου) που δεν τροποποιούνται εύκολα βραχυπρόθεσμα (Julian et al., 2016).

Και στις δύο ομάδες, αν και φάνηκαν υψηλότερες τιμές επαναφοράς της  $O_2Hb$  αμέσως μετά την άσκηση, οι τιμές είχαν επανέλθει στις αρχικές τους τιμές 24 ώρες αργότερα, γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στα άμεσα αποτελέσματα που μπορεί να έχει η άσκηση στην καλύτερη μικροαγγειακή λειτουργία, που δεν φαίνεται όμως να υπάρχει και ύστερα από 24 ώρες από το ημερήσιο πρόγραμμα άσκησης με αντιστάσεις. Οι αλλαγές που προκλήθηκαν άμεσα μετά την άσκηση δεν διατηρήθηκαν στις 24 ώρες. Όλες οι τιμές των μετρήσιμων δεικτών επανήλθαν περίπου στα προ της άσκησης επίπεδα μετά ένα 24ωρο. Αυτό δείχνει ότι τα οφέλη μιας προπονητικής μονάδας άσκησης είναι

προσωρινά και οφείλονται κυρίως σε άμεσους παράγοντες (π.χ. αγγειακή λειτουργία). Η βιβλιογραφία δείχνει ότι οι βελτιώσεις στην αγγειακή λειτουργία μετά από μια μόνο προπονητικής μονάδας άσκηση συχνά αναιρούνται σε λίγες ώρες (Iwamoto et al., 2018).

Μακροπρόθεσμα προγράμματα άσκησης όντως βελτιώνουν τη μικροαγγειακή λειτουργία σε παχύσαρκα άτομα. Για παράδειγμα, σε έφηβους παχύσαρκους, ένα συνδυαστικό πρόγραμμα άσκησης και δίαιτας 6 εβδομάδων αύξησε σημαντικά τον δείκτη υπεραιμίας, ένδειξη βελτιωμένης ενδοθηλιακής λειτουργίας (Tang et al., 2019). Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι επαναλαμβανόμενη άσκηση ενεργοποιεί νέες προσαρμογές (π.χ. αυξημένη τριχοειδική πυκνότητα) που βελτιώνουν τη μικροκυκλοφορία. Αντίθετα, τα άμεσα αποτελέσματα μιας μόνο προπονητικής μονάδας άσκησης, όπως δείξαμε στην παρούσα μελέτη, δεν επιφέρουν κάποια διατηρήσιμη αγγειακή διαφορά.

Στις 24 ώρες μετά την άσκηση, οι διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων εξαλείφθηκαν (τιμές όμοιες με τα αρχικά πριν την άσκηση). Η παχυσαρκία δεν επέφερε διαφορετικούς ρυθμούς αποκατάστασης. Όλοι οι δείκτες επανήλθαν με ίδιο τρόπο ανεξάρτητα του σωματικού βάρους. Αυτό σημαίνει ότι η παχυσαρκία δεν επηρέασε την ανάκαμψη πέρα από τις βασικές διαφοροποιήσεις, και όλοι οι συμμετέχοντες είχαν παρόμοια μικροαγγειακή εικόνα μετά ένα 24ωρο. Με άλλα λόγια, μετά την απόφραξη της αιματικής ροής και της επαναφοράς της, τόσο οι παχύσαρκες όσο και οι νορμοβαρείς γυναίκες έφτασαν στα αρχικά επίπεδα αγγειακής ανταπόκρισης. Παρόμοια, άλλες μελέτες δείχνουν ότι, εκτός από τη συνεχή εκτέλεση άσκησης, οι βελτιώσεις στην αγγειακή υγεία αμβλύνονται εντός ημερών, οδηγώντας σε ομογενοποίηση των αγγειακών μετρήσεων μεταξύ ομάδων (Iwamoto et al., 2018).

Συνεπώς, τα άτομα με υψηλότερο ποσοστό σωματικού λίπους θα έχουν και μειωμένη μικροαγγειακή λειτουργία και απόκριση, γεγονός που σημαίνει ότι θα μπορούσε η περίσσεια λίπους να οδηγήσει σε αντίσταση στην ινσουλίνη, αγγειακό οξειδωτικό στρες, μειωμένη διαθεσιμότητα του αγγειακού νιτρικού οξειδίου, ενδοθηλιακή δυσλειτουργία και αγγειοκινητική δυσλειτουργία της στεφανιαίας μικροκυκλοφορίας συμβάλλοντας έτσι στην τροποποιημένη ρύθμιση της αιμάτωσης των ιστών και προδιαθέτοντας τους ασθενείς σε μυοκαρδιακή ισχαιμία. Πιθανά, η καθημερινή εκτέλεση σωματικής άσκησης να βελτιώνει τη μικροαγγειακή λειτουργία σε αυτά τα άτομα και να μειώνει τους παραπάνω κινδύνους.



## VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι στις παχύσαρκες γυναίκες η επανοξυγόνωση του έξω πλατύ ήταν πιο βραδεία και η μικροαγγειακή ανταπόκριση μειωμένη σε σύγκριση με τις νορμοβαρείς γυναίκες. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός αύξησης της O<sub>2</sub>Hb (και κατά προσέγγιση της tHb) στα πρώτα 10" μετά την πλήρη απόφραξη ήταν σημαντικά μικρότερος στις παχύσαρκες κοπέλες. Παρομοίως, το εμβαδόν της καμπύλης κορεσμού της O<sub>2</sub>Hb ήταν μειωμένο στις παχύσαρκες γυναίκες, υποδηλώνοντας περιορισμένη αιματική ροή και αγγειοδιαστολή. Ο χρόνος επαναφοράς στις αρχικές τιμές και ο χρόνος επίτευξης της μέγιστης O<sub>2</sub>Hb αυξήθηκαν στις παχύσαρκες γυναίκες, δείχνοντας πιο αργή επανοξυγόνωση μετά το ισχαιμικό ερέθισμα. Επιπλέον, το εύρος μεταβολής της O<sub>2</sub>Hb ήταν συνολικά μικρότερο στην ομάδα των παχύσαρκων. Ωστόσο, οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν στο τέλος μιας προπονητικής μονάδας άσκησης με αντιστάσεις δεν διατηρούνται 24 ώρες μετά. Φαίνεται ότι απαιτείται η εφαρμογή μιας επαρκούς εβδομαδιαίας συχνότητας άσκησης για τη διατήρηση των ευνοϊκών μεταβολών στη μικροαγγειακή λειτουργία και την πρόκληση βέλτιστων μακροπρόθεσμων μεταβολών.

### **Προτάσεις για μελλοντικές εργασίες**

Κατά την εκπόνηση και μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας προέκυψαν διάφορα ερωτήματα τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικών ερευνών. Μερικές προτάσεις για μελλοντικές έρευνες είναι οι εξής:

- Εξέταση της επίδρασης του ημερησίου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις, μεταξύ λιποβαρών, νορμοβαρών και παχύσαρκων ατόμων.
- Εξέταση της επίδρασης του ημερησίου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις μεταξύ των δύο διαφορετικών φύλων
- Εξέταση της επίδρασης του ημερησίου προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις, μεταξύ διαφορετικών ηλικιακών ομάδων.
- Μελέτη της επίδρασης άλλων εξωτερικών φορτίων στην άσκηση της μονοποδικής έκτασης γόνατος.

## VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Boas, D. A., & Dale, A. M. (2005). Simulation study of magnetic resonance imaging-guided cortically constrained diffuse optical tomography of human brain function. *Applied Optics*, 44(10), 1957-1965.
2. Earp, J. E., Gesick, H., Angelino, D., & Adami A. (2022). Effects of isometric loading intensity on patellar tendon microvascular response. *Scand J Med Sci Sports*, 32(8), 1182-1191. Doi: 10.1111/sms.14175.
3. Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: Recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1955), 4577-4590.
4. Ganesan, G., Cotter J. A., Reuland, W., Cerussi, A. E., Tromberg, B. J., & Galassetti, P. (2014). Effect of blood flow restriction on tissue oxygenation during knee extension. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47, 187-193. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000393.
5. Grassi, B., Marconi, C., & Pogliaghi, S. (2003). Muscle oxygenation and pulmonary gas exchange kinetics during cycling exercise on-transitions in humans. *Journal of Applied Physiology*, 95(1), 149-158.
6. Hamaoka, T., Iwane, H., Shimomitsu, T., Katsumura, T., Murase, N., Nishio, S., ... Chance, B. (1996). Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *Journal of Applied Physiology*, 81(3), 1410-1417.
7. Hoffman, J. R., Wendell, M., Cooper, J., & Kang, J. (2003). Comparison between linear and nonlinear in-season training programs in freshman football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(3), 561-565.
8. Iwamoto, E., Bock, J.M., Casey, D.P., Kruse, N.T., Hughes, W.E., & Limberg, J.K. (2018). High-intensity exercise enhances conduit artery vascular function in older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 50(1), 124–130. doi:10.1249/MSS.0000000000001405.
9. Jlali, I., Touil, I., Ibn Haj Amor, H., Bouzid, M. A., Hamouda, O., Heymad, E. et al. (2024). Impaired muscle oxygenation despite normal pulmonary function in type 2 diabetes without complications. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 326, E60-E647. DOI: 10.1152/ajpendo.00392.2023.
10. Julian, V., Thivel, D., Pereira, B., Costes, F., Richard, R., & Duclos, M. (2016). Improving peripheral and central vascular adjustments during exercise through a training program in adolescents with obesity. *Obesity Facts*, 9, 321-331. DOI: 10.1159/000447456.



11. Koga, S., Poole, D. C., Ferreira, L. F., Whipp, B. J., Kondo, N., Saitoh, T. & Barstow, T. J. (2007). Spatial heterogeneity of quadriceps muscle deoxygenation kinetics during cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 103(6), 2049-2056. doi: 10.1152/jappphysiol.00627.2007.
12. Kutsuzawa, T., Shioya, S., Kurita, D., Haida, M., & Yamabayashi, H. (2001). Effects of age on muscle energy metabolism and oxygenation in the forearm muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 901-906.
13. Lauver, D. J., Cayot, T. E., Rotarius, T. R., & Scheuermann, B. W. (2019). Acute neuromuscular and microvascular responses to concentric and eccentric exercises with blood flow restriction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34, 2725-2733. Doi: 10.1519/JSC.0000000000003372.
14. Lipford, G. F., Evans, R. K., Acevedo, E. O., Wolfe, L., G., Franco, R., L. (2017). Excess Blood Flow Response to Acute Resistance Exercise in Individuals Who are Obese or Nonobese. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31, 3120-3127. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001748
15. McCully, K. K., Iotti, S., Kendrick, K., Wang, Z., Posner, J. D., Leigh, J. S., & Chance, B. (1994). Simultaneous in vivo measurements of HbO<sub>2</sub> saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. *Journal of Applied Physiology*, 77(1), 5-10.
16. Machado, A. C., Barbosa, T. C., Sales, A. R. K., Souza, M. N., & da Nóbrega, A. C. L. (2017). Adults with initial metabolic syndrome have altered muscle deoxygenation during incremental exercise. *Obesity (Silver Spring)*, 25, 424-431. DOI: 10.1002/oby.21744.
17. Murias, J. M., Soares, R. N., Reimer, R. A., & Wong, A. (2018). Near-infrared spectroscopy assessment of microvasculature detects differences in vascular responsiveness in healthy lean and obese individuals. *Microvascular Research*, 116, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2018.05.003>
18. Oliveira, G. V., Soares, R. G., Volino-Souza, M., Murias, J. M., & Alvares, T. S. (2019). The association between near-infrared spectroscopy assessment of microvascular reactivity and flow-mediated dilation is disrupted in individuals at high risk for cardiovascular disease. *Microcirculation*, 26(7), e12556. <https://doi.org/10.1111/micc.12556>.
19. Pawlak, M., Kaczmarek, P., Rajfur, Z., Szymura, J., & Przybylski, J. (2018). Assessment of heart rate variability in elite rowers during 2000-m ergometer test. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(1), 76–84. <https://doi.org/10.1111/cpf.12402>.
20. Ryan, T. E., Erickson, M. L., Brizendine, J. T., Young, H. J. & McCully, K. K. (2012). Noninvasive evaluation of skeletal muscle mitochondrial capacity with near-infrared spectroscopy: correcting for blood volume changes. *Journal of Applied Physiology*, 113(2), 175-183. doi: 10.1152/jappphysiol.00319.2012.

21. Soares, R. N., McLay, K. M., George, M. A. & Murias, J. M. (2018). Differences in oxidative metabolism modulation induced by ischemia/reperfusion between trained and untrained individuals assessed by NIRS. *Physiological Reports*, 5(19), e13384. doi: 10.14814/phy2.13384.
22. Soares, R. N., Reimer, R. A., Doyle-Baker, P. K. & Murias, J. M. (2017). Metabolic inflexibility in individuals with obesity assessed by near-infrared spectroscopy. *Diab Vasc Res*, 14(6):502-509, <https://doi.org/10.1177/1479164117725478>.
23. Shiro, M. Norio, O. Takuya, K. Ryotaro, H. Toshiyuki U. Chihoko, N. Takeshi, M. Mayuko, H. Takafumi, K. Toshihito. (2006). Age and Activity Status Affect Muscle Reoxygenation Time after Maximal Cycling Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38, 1277-1281.
24. Takarada, Y., Sato, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2097-2106.
25. Van Beekvelt, M. C., Borghuis, M. S., van Engelen, B. G., Wevers, R. A., & Colier, W. N. (2001). Adipose tissue thickness affects in vivo quantitative near-IR spectroscopy in human skeletal muscle. *Clinical Science*, 101(1), 21-28. doi:10.1042/cs1010021.
26. Tang, D., Bai, S., Li, X., Yao, M., Gong, Y., Hou, Y., Li, J., & Yang, D. (2019). Improvement of microvascular endothelial dysfunction induced by exercise and diet is associated with microRNA-126 in obese adolescents. *Microvascular Research*, 123, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2018.10.009>.
27. Vieira de Oliveira, M. Volino-Souza, E. Barros-Santos, C. A. Conte-Junior, T.S. Alvares. (2022). The influence of cardiovascular risk factors on near-infrared spectroscopy-derived muscle oxygen saturation during exercise recovery in older adults. *Sport Sciences for Health*, 18:1221–1228. <https://doi.org/10.1007/s11332-021-00892-y>.
28. Wajchenberg, B.L. (2000). Subcutaneous and visceral adipose tissue: Their relation to the metabolic syndrome. *Endocrinology reviews*, 21, 697-638 <https://doi.org/10.1210/edrv.21.6.0415>.