



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ 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

Συσχέτιση της μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων του έξω πλατύ μυός κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών

Περικλής Κάβουρας [Α.Ε.Μ. 12071]

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

Συσχέτιση της μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων του έξω πλατύ μυός κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών

Περικλής Κάβουρας [Α.Ε.Μ. 12071]

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

3ο Μέλος: Αντρέας Ζαφειρίδης, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Α.Π.Θ. Σέρρες

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

Correlation between muscle oxygenation changes and motor unit activation of the vastus lateralis muscle during resistance exercise in normal weight and obese women

Periklis Kavouras [R.N. 12071]

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

Member 3: Andreas Zafeiridis, *Professor, D.P.E.S.S. – A.U.Th. Serres*

Komotini, 2025



“Στην γυναίκα που φωτίζει τη ζωή μου και αγαπώ”



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Ηλία Σμήλιο που με στηρίζει, με εμπιστεύεται και μου δίνει ευκαιρίες για να βελτιωθώ και να αγαπήσω περισσότερο τον τομέα της νευροφυσιολογίας και της κλινικής άσκησης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κ. Ελένη Δούδα για τη στήριξη της όλα αυτά τα χρόνια στις διάφορες απορίες μου και στην υλοποίηση της διατριβής.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Καθηγητή κ. Αντρέα Ζαφειρίδη για την άμεση βοήθεια του σε όλες τις απορίες μου σχετικά με την οξυγόνωση του μυός.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου που με στήριξαν αλλά και τις αγαπημένες μου φοιτήτριες που βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής της μελέτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη γυναίκα μου για την υποστήριξη της καθ' όλη την διάρκεια της μεταπτυχιακής μου συγγραφής καθώς και για την στήριξη και την αγάπη που μου δείχνει καθημερινά.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με συμπαραστάθηκαν και συνεχίζουν να με στηρίζουν με τον δικό τους μοναδικό τρόπο όλα αυτά τα χρόνια των φοιτητικών μου χρόνων. Χωρίς αυτούς δεν θα πετύχαινα πολλούς από τους στόχους μου.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Περικλής Κάβουρας: Συσχέτιση της μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων του έξω πλατύ μυός κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή Ηλία Σμήλιου)

Η μελέτη της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και της μεταβολής της οξυγόνωσης του μυός κατά την άσκηση παρέχει πληροφορίες για τη λειτουργία του νευρομυϊκού συστήματος για τις μεταβολικές λειτουργίες κατά την άσκηση, αντίστοιχα,. Σκοπός της μελέτης ήταν να εξετάσει τη μεταβολή της μυϊκής οξυγόνωσης και της ενεργοποίησης κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση άσκησης με αντιστάσεις καθώς και τη συσχέτιση μεταξύ αυτών των μεταβολών σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες. Συνολικά συμμετείχαν 25 γυναίκες οι οποίες χωρίστηκαν, με βάση το ποσοστό σωματικού λίπους (ΠΣΛ), σε σε (n=13, ΠΣΛ: 25,4±3,41%, ηλικία:20,7±0,89 ετών) και σε παχύσαρκες (n=12, ΠΣΛ: 40,47±6,07%, ηλικία: 20,5±0,97 ετών) και εκτέλεσαν στην άσκηση μονοποδική έκταση γόνατος 3 σειρές των 10 επαναλήψεων στο 60% της 1ΜΕ με διάλειμμα 3' μεταξύ των σειρών. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της άσκησης καταγράφηκε η ηλεκτρομυογραφική (ΗΜΓ) δραστηριότητα του έξω πλατύ μυός και μέσω αποσύνθεσης του ΗΜΓ σήματος προσδιορίστηκε το πλάτος του δυναμικού ενέργειας (ΔΕΚΜπλ), η συχνότητα ενεργοποίησης (ΣΕν). Επίσης, καταγράφηκε η μεταβολή της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μέσω εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) και υπολογίστηκε η κλίση της μεταβολής της οξυγονωμένης (O₂Hb) και της αποξυγονωμένης (HHb) αιμοσφαιρίνης κατά την εκτέλεση των σετ. Παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση (p<0,05) της ΗΜΓrms δραστηριότητας και της ΣΕν των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση των σετ χωρίς να υπάρξει διαφοροποίηση (p<0,05) στη μεταβολή μεταξύ των δύο ομάδων. Παρατηρήθηκε μείωση του συντελεστή Α (p<0,05) και αύξηση του συντελεστή Β (p<0,05) στην ομάδα των παχύσαρκων γυναικών. Η κλίση αύξησης της HHb και μείωσης της O₂Hb ήταν υψηλότερη (p<0,05) στις νορμοβαρείς γυναίκες. Δεν υπήρξε σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ρυθμού μεταβολής του ΗΜΓrms σήματος (r = 0,08–0,30) και της ΣΕν (r = 0,04 – 0,28) με τον ρυθμό μεταβολής της O₂Hb και της HHb σε κάθε σετ είτε στο σύνολο του δείγματος είτε σε κάθε



ομάδα χωριστά. Συμπερασματικά, οι παχύσαρκες γυναίκες παρουσιάζουν διαφορετικό πρότυπο νευρομυϊκής ενεργοποίησης, με μεγαλύτερη επιστράτευση κινητικών μονάδων μεγαλύτερου μεγέθους όπως παρατηρείται από την αύξηση του συντελεστή B (πιθανά τύπου II) και από τις διαφορετικές μεταβολές στη μυϊκή οξυγόνωση και τη μεταβολική λειτουργία συγκριτικά με τις νορμοβαρείς γυναίκες. Η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ της μεταβολής της νευρομυϊκής ενεργοποίησης και της οξυγόνωσης του μυός πιθανά να οφείλεται στην αυξημένη χρήση του αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας κατά την εκτέλεση του συγκεκριμένου προγράμματος άσκησης.

Λέξεις – κλειδιά: Ηλεκτρομυογραφία, άσκηση με αντιστάσεις, σύσταση σώματος



ABSTRACT

Kavouras Periklis: Correlation between muscle oxygenation changes and motor unit activation of the vastus lateralis muscle during resistance exercise in normal weight and obese women

(Under the supervision of Professor Ilias Smilios)

The study of motor unit activation and changes in muscle oxygenation during exercise provides information on the function of the neuromuscular system and the metabolic functions during exercise, respectively. The aim of this study was to examine the changes in muscle oxygenation and motor unit activation during resistance exercise and the correlation between these changes in normal weight and obese women. A total of 25 women were divided, based on body fat percentage (BF), into normal weight ($n=13$, BF: $25.4\pm 3.41\%$, age: 20.7 ± 0.89 years) and obese ($n=12$, BF: $40.47\pm 6.07\%$, age: 20.5 ± 0.97 years) and performed in the single leg knee extension exercise 3 sets of 10 repetitions at 60% of 1RM with a 3' rest between sets. During the performance of the exercise, electromyographic (EMG) activity of the vastus lateralis muscle was recorded and through decomposition of the EMG signal, the amplitude of the motor unit action potential (MUAP) and the firing rate (FR) were determined. Also, the change in the oxygenation of the vastus lateralis muscle was recorded by near-infrared spectroscopy (NIRS) and the slope of the change in oxygenated (O_2Hb) and deoxygenated (HHb) hemoglobin during the performance of the sets was calculated. There was a significant increase ($p<0.05$) in EMGrms activity and FR of the motor units during the performance of the sets with no differences ($p<0.05$) in the changes between the two groups. A significant decrease in coefficient A ($p<0.05$) and an increase in coefficient B ($p<0.05$) were observed in the group of obese women. The slope of increase in HHb and decrease in O_2Hb was higher ($p<0.05$) in normoweight women. There were no significant correlations between the rate of change of the EMGrms signal ($r = 0.08-0.30$) and FR ($r = 0.04-0.28$) with the rate of change of O_2Hb and HHb in each set either in the whole sample or in each group separately. In conclusion, obese women exhibit a distinct pattern of neuromuscular activation, characterized by a larger recruitment of larger motor units as indicated by the increase in coefficient B (likely



type II) and by altered changes muscles oxygenation and metabolic function compared to normoweight women. The lack of correlation between the change in neuromuscular activation and muscle oxygenation is likely due to the increased use of anaerobic energy production mechanisms during the performance of this exercise program.

Key words: *Electromyography, resistance exercise, body composition*



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	13
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
<i>Σκοπός</i>	17
<i>Υποθέσεις της έρευνας</i>	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
<i>Οριοθετήσεις της έρευνας</i>	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
<i>Λειτουργικοί ορισμοί</i>	20
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	22
<i>Παχυσαρκία και Επιπτώσεις στην Υγεία</i>	22
<i>Άσκηση και Νευρομυϊκές Προσαρμογές στα Παχύσαρκα άτομα</i>	24
<i>Ηλεκτρομυογραφία</i>	26
<i>Ηλεκτρομυογραφία και παχυσαρκία</i>	27
<i>Εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία</i>	28
<i>Έγγυς υπέρυθρη φασματοσκοπία και άσκηση</i>	29
<i>Συμπεράσματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας</i>	30
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	32
<i>Δείγμα</i>	32
<i>Πειραματικός σχεδιασμός</i>	32
<i>Μετρήσεις</i>	33
<i>Στατιστική ανάλυση</i>	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
<i>Ηλεκτρομυογραφικό σήμα (ΗΜΓrms) κατά την εκτέλεση της άσκησης</i>	40
<i>Δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση της άσκησης</i>	40
<i>Μεταβολή της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση της άσκησης</i>	41
<i>Μεταβολή του συντελεστή A κατά την εκτέλεση της άσκησης</i>	42



Μεταβολή του συντελεστή Β κατά την εκτέλεση της άσκησης	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Ρυθμός μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O_2Hb) κατά την εκτέλεση της άσκησης	44
Ρυθμός μεταβολής της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) κατά την εκτέλεση της άσκησης	44
Συσχέτιση των μεταβολών των δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής δραστηριότητας κατά την εκτέλεση των σετ άσκησης	45
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	48
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα. 1.** Ανάλυση της σχέσης μεταξύ της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και του πλάτους του δυναμικού ενέργειας τους. 36
- Σχήμα. 2.** Μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητα του έξω πλατύ μυ κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες..... 39
- Σχήμα. 3.** Πλάτος δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες..... 40
- Σχήμα. 4.** Μεταβολή της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες..... 41
- Σχήμα. 5.** Μεταβολή του συντελεστή A κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες. 42
- Σχήμα. 6.** Μεταβολή του συντελεστή B κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες..... 43
- Σχήμα. 7.** Ρυθμός μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O_2Hb) στον έξω πλατύ μυ σε κάθε σετ κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης κνήμης σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες..... 44
- Σχήμα. 8.** Ρυθμός μεταβολής της απο-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) στον έξω πλατύ μυ σε κάθε σετ κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης κνήμης σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες..... 45



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ της μεταβολής δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης γόνατος στις παχύσαρκες γυναίκες ($n= 12$).....	46
Πίνακας 2. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ της μεταβολής δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης γόνατος στις φυσιολογικού βάρους γυναίκες ($n= 13$).....	46
Πίνακας 3. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ της μεταβολής δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης γόνατος στο σύνολο του δείγματος ($n=25$, φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες).....	47



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Οι σοβαροί κίνδυνοι για την υγεία που συνδέονται με την παχύσαρκία, όπως σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2, η αρτηριακή υπέρταση, οι καρδιαγγειακές παθήσεις κ.α.....	23
Εικόνα 2. Ψηφιακός ζυγός Seca 704.....	33
Εικόνα 3. Φορητό αναστημόμετρο Seca, Bodymeter 213.....	33
Εικόνα 4. Αναλυτής σύστασης σώματος Tanita MC780.....	34
Εικόνα 5. Trigno System Delsys.....	35
Εικόνα 6. Galileo Sensors, Delsys.....	35
Εικόνα 7. Κατευθυντήριες οδηγίες τοποθέτησης ηλεκτροδίων επιφανείας στον έξω πλατύ μυ Fregiks & Hermens, 1999; 2000.....	35
Εικόνα 8. Ειδική πλαστική υποδοχή για την σταθεροποίηση των οπτικών ινών.....	38
Εικόνα 9. . Σύστημα NIRS, Oxymon MkIII, Artinis.....	38



Συσχέτιση της μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων του έξω πλατύ μυός κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως παχυσαρκία ορίζεται η αυξημένη συσσώρευση σωματικού λίπους και θεωρείται ως ένας από τους κύριους παράγοντες κινδύνου για την εμφάνιση καρδιαγγειακών προβλημάτων, σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 και διαφόρων τύπου καρκίνου. Επίσης, άτομα με σοβαρή παχυσαρκία αντιμετωπίζουν μειωμένη ποιότητα ζωής και πρόωρη θνησιμότητα. Δυστυχώς, τα ποσοστά των ατόμων με παχυσαρκία αυξάνονται δραματικά. Από το 1990 – 2022 τα ποσοστά για τις ηλικίες από 5-19 ετών αυξήθηκαν από το 2% στο 8% παγκοσμίως ενώ στα άτομα 18 ετών και άνω υπερδιπλασιάστηκε από το 7% στο 16% σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας.

Η σωματική άσκηση και συγκεκριμένα η προπόνηση με αντιστάσεις αποτελεί ένα από τα βασικά θεραπευτικά μέσα πρόληψης και αντιμετώπισης της παχυσαρκίας, καθώς συμβάλει στην μείωση του σωματικού λίπους, στην διατήρηση αλλά και στην βελτίωση του μυοσκελετικού συστήματος. Επιπλέον, βελτιώνει την καρδιαγγειακή λειτουργία μειώνοντας την αρτηριακή υπέρταση, βελτιώνει το λιπιδαιμικό προφίλ, μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 κ.ά. αναδεικνύοντας τον πολυδιάστατο ρόλο της άσκησης στη διαχείριση της παχυσαρκίας (Lopez et al., 2022).

Για την καλύτερη αξιολόγηση της νευρομυϊκής λειτουργίας κατά την άσκηση με αντιστάσεις σε άτομα με παχυσαρκία, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της μεταβολής της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών μέσω της επιφανειακής ηλεκτρομυογραφίας (ΗΜΓ). Η ΗΜΓ είναι μια τεχνική καταγραφής της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών για την εκτίμηση της ενεργοποίησης του νευρομυϊκού συστήματος που πραγματοποιείται είτε με επιφανειακά ηλεκτρόδια καταγραφής είτε με ενδομυϊκά ηλεκτρόδια. Μέσω επιφανειακών ηλεκτροδίων καταγραφής καταγράφεται το χωρόχρονο άθροισμα των δυναμικών ενέργειας των μυϊκών ινών των συγκεκριμένων κινητικών μονάδων δίνοντας το τελικό ηλεκτρομυογραφικό σήμα. Με σύγχρονες προσεγγίσεις πραγματοποιείται η αποσύνθεση του ηλεκτρομυογραφικού σήματος ώστε να ληφθούν πιο λεπτομερείς πληροφορίες σε επίπεδο κινητικών μονάδων. Πιο



συγκεκριμένα, λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων, την συχνότητα ενεργοποίησης τους, το κατώφλι επιστράτευσης τους κ.ά (Duan, Rhee, Mehta & Srinivasan, 2018). Επομένως, η ηλεκτρομυογραφία αποτελεί ένα μέσο αξιολόγησης της μυϊκής δραστηριότητας προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για την αξιολόγηση αλλά και τον σχεδιασμό μελλοντικών προγραμμάτων άσκησης σε παχύσαρκους ασθενείς.

Η κατανόηση της μυϊκής δραστηριότητας κατά την άσκηση με αντιστάσεις σε παχύσαρκα και νορμοβαρή άτομα απαιτεί την λεπτομερή ανάλυση του ηλεκτρομυογραφικού σήματος, η οποία παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την νευρομυϊκή ενεργοποίηση και τους μηχανισμούς κόπωσης. Μακροχρόνια μελέτη που εξετάστηκε η μεταβολή του ηλεκτρομυογραφικού σήματος μετά από πρωτόκολλα με αντιστάσεις με στόχο την υπερτροφία και την αντοχή έδειξαν σταδιακή μείωση στο πλάτος του ηλεκτρομυογραφικού σήματος λόγω μακροχρόνιων νευρομυϊκών προσαρμογών. (Stefanovic et al., 2022). Ωστόσο, μελέτη δώδεκα εβδομάδων που εξέτασε δύο διαφορετικές προπονήσεις (1 σετ ή 6 σετ στις ασκήσεις κάμψεις αγκώνων και πιέσεις ποδιών) παρατήρησαν αύξηση στις τιμές δύναμης και με τις δύο προπονήσεις αλλά η ομάδα που εκτέλεσε τα περισσότερα σετ είχε υψηλότερο πλάτος στις τιμές του ηλεκτρομυογραφικού σήματος (McBride, Blaak & McBride, 2003). Σε επίπεδο κινητικών μονάδων, μελέτες έχουν εξετάσει την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα και την μεταβολή της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση ισομετρικών προγραμμάτων άσκησης και παρατήρησαν ότι κατά την έκταση γόνατος στο 50% της μέγιστης ισομετρικής δύναμης παρατηρήθηκε αύξηση στη συχνότητα ενεργοποίησης και στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα (Contessa, Letizi, De Luca & Kline, 2018) ενώ σε ένταση 20% παρατηρήθηκε μείωση (Adam & De Luca, 2003). Παρά τις πολλές μελέτες που έχουν εξετάσει την μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας, την συχνότητα ενεργοποίησης και το δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων σε νορμοβαρή άτομα, η βιβλιογραφία δεν περιλαμβάνει μελέτες οι οποίες καταγράφουν μεταβολές της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας κατά την εκτέλεση πρωτοκόλλων άσκησης με αντιστάσεις σε παχύσαρκα άτομα ή να συγκρίνουν τις δυο ομάδες.

Εκτός από την μέθοδο της ηλεκτρομυογραφίας άλλη μια χρήσιμη μέθοδος αξιολόγησης της μυϊκής λειτουργίας αλλά σε ότι αφορά το μεταβολισμό, είναι η εγγύς



υπέρυθρη φασματοσκοπία. Αποτελεί μια μη επεμβατική τεχνική που επιτρέπει την αξιολόγηση της οξυγόνωσης των ιστών και της αιμάτωσης τους. Η τεχνολογία της έγγυς υπέρυθρης φασματοσκοπίας, μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερο βάθος κατά αρκετά χιλιοστά στους βιολογικούς ιστούς (700 – 900nm) σε σύγκριση με το κοινό φως και ειδικά στα απορροφητικά χρωμοφόρα κύτταρα στους σκελετικούς μύες (αιμοσφαιρίνη, μυοσφαιρίνη και κυτόχρωμα c οξειδάση). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί η τοπική οξυγόνωση του μυός (Balaban, Motha & Arai, 1996). Σε αρκετές μελέτες, παρατηρήθηκε ότι η άσκηση με αντιστάσεις οδηγεί σε συστηματική μείωση της τοπικής οξυγόνωσης του μυός (SmO_2), ανεξαρτήτως σωματικού βάρους ενώ οι μεταβολές στην ολική αιμοσφαιρίνη διαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα, σε παχύσαρκα και νορμοβαρή άτομα κατά την εκτέλεση 6 αργών και 6 γρήγορων μέγιστων ισοκινητικών εκτάσεων γόνατος παρατηρήθηκε μείωση της SmO_2 και στις δύο ομάδες ενώ οι τιμές της ολικής αιμοσφαιρίνης μειώθηκαν μόνο στην ομάδα των παχύσαρκων. Αυτό πιθανά οφείλεται στο αυξημένο ποσοστό λιπώδους ιστού και στις τυχών μεταβολές που προκύπτουν στην μικροκυκλοφορία (Alvarez, Oliveira, Soares & Murias, 2020). Κατά την εκτέλεση 3 σειρών των 8 επαναλήψεων καθισμάτων με μπάρα στο 70% και 80% της μίας μέγιστης επανάληψης καταγράφηκε μείωση στις τιμές της SmO_2 στα νορμοβαρή άτομα (Davis, Yakel & Anderson, 2020). Επιπλέον, κατά την εκτέλεση 3 σειρών των 8 επαναλήψεων καθισμάτων με μέγιστη ταχύτητα εκτέλεσης, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μείωση της SmO_2 και μείωση των τιμών της ολικής αιμοσφαιρίνης συγκριτικά με 3 σειρές των 8 επαναλήψεων καθισμάτων με μπάρα, το οποίο οι Timon et al. (2018) αποδίδουν στην υψηλότερη αύξηση της τοπικής αιμάτωσης και μυϊκής καταπόνησης. Επίσης, η χρήση εντάσεων στο 60% – 75% της μίας μέγιστης επανάληψης των 4 σειρών και 4-16 επαναλήψεων στην άσκηση καθίσματα με μπάρα οδηγούν σε μείωση των τιμών της SmO_2 όσο αυξάνεται το φορτίο της επιβάρυνσης ή ο συνολικός αριθμός επαναλήψεων, γεγονός που αποδίδεται στην αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου και την μηχανική πίεση του μυός που περιορίζει την αιματική κυκλοφορία όσο αυξάνεται η ένταση της προσπάθειας. Ο χρόνος επανοξυγόνωσης όμως φάνηκε να αυξάνεται ανάλογα με την ένταση της άσκησης (Gomez – Carmona et. al., 2020). Συμπερασματικά και με βάση τις μελέτες, η μείωση των τιμών της SmO_2 μετά από άσκηση με αντιστάσεις λειτουργεί ως μια αναμενόμενη φυσιολογική απόκριση του οργανισμού ως απάντηση στο ερέθισμα της άσκησης. Η άσκηση με αντιστάσεις αυξάνει την κατανάλωση οξυγόνου στους ενεργούς μύς και



ταυτόχρονα η μηχανική πίεση που αναπτύσσεται περιορίζει την αιματική ροή, οδηγώντας σε έντονη από - οξυγόνωση. Οι διαφοροποιήσεις στις τιμές της ολικής αιμοσφαιρίνης σχετίζονται με τις αιμοδυναμικές προσαρμογές του κάθε ατόμου και με την εφαρμογή του πρωτοκόλλου.

Θα ήταν ενδιαφέρον να συνδυαστεί η μελέτη της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας με τη μεταβολή της οξυγόνωσης του μυός και να διερευνηθεί εάν η μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων σχετίζεται με τη μεταβολή της μυϊκής οξυγόνωσης. Ωστόσο, δεν υπάρχουν μελέτες που να εξετάσαν τον ρυθμό μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση ενός ημερήσιου προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες γυναίκες και αν υπάρχει διαφοροποίηση σε αυτές τις μεταβολές μεταξύ των δύο ομάδων γυναικών.

Σκοπός

Ο σκοπός της μελέτης ήταν να εξετάσει τη μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας, της ενεργοποίησης κινητικών μονάδων και της μυϊκής οξυγόνωσης κατά την εκτέλεση άσκησης με αντιστάσεις καθώς και τη συσχέτιση μεταξύ αυτών των μεταβολών σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες γυναίκες.

Σημασία της έρευνας

Με τη διεξαγωγή της μελέτης θα προκύψουν νέα δεδομένα αναφορικά με την εκτέλεση ενός προγράμματος με αντιστάσεις σε απροπύνητες παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες τα οποία θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του νευρομυϊκού συστήματος, της συμπεριφοράς των κινητικών μονάδων (συχνότητα ενεργοποίησης σε σχέση με το δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων) και του ρυθμού μεταβολής της οξυγονωμένης και από-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης τοπικά του έξω πλατύ μυός κατά την εκτέλεση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου άσκησης. Επιπλέον, θα συσχετιστούν οι δείκτες που αφορούν την μυϊκή οξυγόνωση του μυός και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης ώστε να παρατηρηθεί αν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ νευρικών και μεταβολικών μηχανισμών.

Η παρούσα μελέτη είναι σημαντική καθώς θα αποτελέσει μία βάση για τον σχεδιασμό πρωτοκόλλων άσκησης με στόχο τη βελτίωση της μικροαγγειακής λειτουργίας



των ατόμων με υψηλό ποσοστό σωματικού λίπους και θα παρέχει δεδομένα σχετικά με την ερμηνεία του μηχανισμού της μικροαγγειακής λειτουργίας, της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και του ρυθμού μεταβολής της οξυγόνωσης των μυών και της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας μετά από εκτέλεση άσκησης με αντιστάσεις σε και παχύσαρκες αγύμναστες γυναίκες.

Ερευνητικές υποθέσεις

Η ερευνητική υπόθεση που εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη ήταν:

- Η εκτέλεση μιας προπονητικής μονάδας ενός προγράμματος άσκησης με αντιστάσεις θα προκαλέσει οξείες μεταβολές στην οξυγονωμένη και την αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και αύξηση της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων του έξω πλατύ μυός σε νεαρές απροπόνητες νορμοβαρείς και παχύσαρκες γυναίκες χωρίς να υπάρξουν διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων.

Οι μηδενικές υποθέσεις της παρούσας έρευνας ήταν:

- Δεν θα υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας του έξω πλατύ μυός μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών κατά την εκτέλεση της άσκησης με αντιστάσεις.
- Δεν θα υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μεταβολή της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών κατά την εκτέλεση της άσκησης με αντιστάσεις.
- Δεν θα υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στον ρυθμό μεταβολής της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών κατά την εκτέλεση της άσκησης με αντιστάσεις.
- Δεν θα υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στον ρυθμό μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών κατά την εκτέλεση της άσκησης με αντιστάσεις.
- Δεν θα υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της μεταβολής των ηλεκτρομυογραφικών παραμέτρων και των δεικτών οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός στις νορμοβαρείς και στις παχύσαρκες γυναίκες.



Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας

Οι οριοθετήσεις της παρούσας μελέτης είναι:

- *Ως προς την επιλογή του δείγματος:* Οι συμμετέχουσες στην έρευνα ήταν φοιτήτριες του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης.
- *Ως προς τους μύες που εξετάστηκαν:* Επιλέχθηκε μόνον ο έξω πλατύς μυς, ενώ υπάρχουν και άλλοι μύες που συμμετέχουν ενεργά (έσω πλατύ, ορθός μηριαίος μυς) κατά την μονοποδική έκταση γόνατος σε μηχανήμα.
- *Ως προς την προπονητική εμπειρία:* Οι δοκιμαζόμενες είχαν μηδενική εμπειρία σε οποιαδήποτε προπόνηση με αντιστάσεις. Δεν γνωρίζουμε αν τα ευρήματα θα ήταν διαφορετικά σε περίπτωση σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ απροπόνητων και προπονημένων γυναικών.
- *Ως προς την κατανομή του δείγματος σε ομάδες:* Το ποσοστό σωματικού λίπους ήταν μόνο ένας παράγοντας που αξιολογήθηκε με χρήση δερματοπτυχόμετρου για να κατατάξει τις γυναίκες στις δύο ομάδες. Ίσως θα έπρεπε να εξεταστεί το τοπικό ποσοστό σωματικού λίπους μέσω υπερηχογραφίας για να υπάρχει μεγαλύτερη αξιοπιστία.
- *Ως προς την τοποθέτηση της συσκευής NIRS και των ηλεκτροδίων καταγραφής:* Η συσκευή NIRS και τα ηλεκτρόδια επιφανείας έπρεπε να τοποθετηθούν και τα δύο στον έξω πλατύ μυ. Λόγω του χαμηλού ποσοστού μυϊκής μάζας (των αγύμναστων νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών) και του αυξημένου ποσοστού σωματικού λίπους στην περιοχή του μηρού που πιθανά οδηγούσε σε απώλεια δεδομένων (μειωμένο ηλεκτρομυογραφικό σήμα και αυξημένο θόρυβο στην καταγραφή, μειωμένη εισροή υπέρυθρων ακτινών σε βάθος στον μυ) οδήγησε πιθανά σε μικρότερη ανίχνευση συνολικού αριθμού μορίων αιμοσφαιρίνης.
- *Ως προς την ηλεκτρομυογραφία:* Η τοποθέτηση περισσότερων ηλεκτροδίων επιφάνειας είτε στον ίδιο μυ είτε σε συναγωνιστές μυς, θα μπορούσε να εμπλουτίσει τα ευρήματα της μελέτης καθώς θα μπορούσαν να ανιχνευθεί μεγαλύτερος αριθμός κινητικών μονάδων. *Ως προς την ανίχνευση του συνολικού αριθμού κινητικών μονάδων:* Λόγω του υψηλού ποσοστού σωματικού λίπους στις παχύσαρκες γυναίκες πιθανά να επηρεάστηκε η ικανότητα ανίχνευσης



υψηλότερου συνολικού αριθμού κινητικών μονάδων από τα ηλεκτρόδια επιφανείας και κατά την διαδικασία αποσύνθεσης του ηλεκτρομυογραφικού σήματος.

Λειτουργικοί ορισμοί

- *Έξω πλατύς μυς*: Εκφύεται από το έσω και έξω χείλος της τραχείας γραμμής του μηριαίου και από την πρόσθια και έξω επιφάνεια του μηριαίου. Καταφύεται με τον επιγονατιδικό σύνδεσμο στο κνημιαίο κύρτωμα. Όλος ο τετρακέφαλος μυς νευρώνεται από το μηριαίο νεύρο και η ενέργεια του μυός αφορά την στατική του λειτουργία στην αποφυγή της κάμψης του γόνατος στην όρθια θέση και την δυναμική λειτουργία στην έκταση του γόνατος.
- *Έγγκυς Υπέρυθρη Φασματοσκοπία (NIRS)*: Τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης και του ρυθμού μεταβολής των ποσοστών του οξυγόνου μέσω των χρωμοφόρων κυττάρων που απορροφούν το φως στους βιολογικούς ιστούς. Το ορατό φως (~400 – 650 nm), όπου αποτελείται από μικρότερα μήκη κύματος δεν μπορεί να διεισδύσει σε μεγάλο βάθος στους ιστούς. Αντίθετα, το υπέρυθρο φως (~700 –900 nm) είναι ικανό να διεισδύσει αρκετά χιλιοστά έως και εκατοστά στον μυ (Balaban, 1996). Τα κύρια απορροφητικά χρωμοφόρα κύτταρα στους σκελετικούς μύες είναι η αιμοσφαιρίνη (Hb), η μυοσφαιρίνη (Mb) και η κυτταροχρωμική οξειδάση (cytox).
- *Αιμοσφαιρίνη (Hb)*: Η αιμοσφαιρίνη θεωρείται ένα από τα κύρια απορροφητικά χρωμοφόρα κύτταρα στους σκελετικούς μύες και αποτελεί την χρωστική ουσία των ερυθροκυττάρων που μεταφέρει το οξυγόνο. Αποτελείται από έναν αριθμό αμινοξέων που σχηματίζουν μια πρωτεΐνη, την σφαιρίνη και μια ένωση που ονομάζεται αίμη. Η αίμη περιέχει άτομα σιδήρου και την πορφυρίνη. Βάσει ερευνών, κάθε ερυθρό αιμοσφαίριο περιέχει περίπου 300 εκατομμύρια μόρια αιμοσφαιρίνης. Η αιμοσφαιρίνη, όταν μεταφέρει μόριο οξυγόνου ονομάζεται οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη ενώ όταν δεν μεταφέρει ονομάζεται αποξυγονωμένη.
- *Ηλεκτρομυογραφία*: Τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών. Η ηλεκτρική τάση καταγράφεται από ειδικά ασύρματα επιφανειακά ηλεκτρόδια τα οποία συνδέονται με έναν ενισχυτή σήματος, έναν μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα και στην



συνέχεια ασύρματα με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με την ηλεκτρομυογραφία ελέγχεται η λειτουργία και η διεγερσιμότητα των νευρώνων, η λειτουργία των μυών και της νευρομυϊκής σύναψης.

- *Αποσύνθεση ηλεκτρομυογραφικού σήματος:* Μέσω της αποσύνθεσης του ηλεκτρομυογραφικού σήματος συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση της συχνότητας ενεργοποίησης και του δυναμικού ενέργειας επιστρατευμένων κινητικών μονάδων. Με την ανάλυση της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με την νευρομυϊκή λειτουργία και της ικανότητας παραγωγής δύναμης.
- *Κινητική μονάδα:* Ως κινητική μονάδα ορίζεται ο κινητικός νευρώνας μαζί με το σύνολο των σκελετικών μυϊκών ινών που νευρώνονται από τις τελικές απολήξεις του νευράξονα του.
- *Συχνότητα ενεργοποίησης κινητικών μονάδων:* Πόσο συχνά ενεργοποιείται μια κινητική μονάδα κατά την εκτέλεση μιας κίνησης στη μονάδα του χρόνου.
- *Δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων:* Το άθροισμα των εξωτερικών δυναμικών ενέργειας – δράσης των μυϊκών ινών που στελεχώνουν μια κινητική μονάδα.
- *Συντελεστές A και B του εκθετικού μοντέλου της σχέσης της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και του πλάτους του δυναμικού ενέργειας τους:* Βάσει εκθετικού στατιστικού μοντέλου μπορεί να προσδιοριστεί η σχέση της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων σε σχέση με το δυναμικό ενέργειας τους. Μέσω του εκθετικού μοντέλου $y = A \cdot \exp^{(Bx)}$ προκύπτουν οι συντελεστές A και B. Ο συντελεστής A δηλώνει τη θεωρητική μέγιστη συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και ο συντελεστής B το ρυθμό πτώσης της μέσης συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων σε σχέση με το πλάτος του δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων.
- *Μέγιστη ισομετρική σύσπαση:* Στατικό έργο των μυών με το μήκος τους να μην μεταβάλλεται, καθώς η δύναμη που παράγουν ισούται ή είναι μικρότερη από την εξωτερική αντίσταση.



II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Παχυσαρκία και επιπτώσεις στην υγεία

Η υπερβολική συσσώρευση σωματικού λίπους και σωματικού βάρους αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για την υγεία. Συγκεκριμένα, δεν είναι λίγες οι ασθένειες που ταυτίζονται σημαντικά με τα αυξημένα επίπεδα σωματικού λίπους. Καρδιαγγειακές νόσοι, σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2 και αρτηριακή υπέρταση είναι ένας μικρός αριθμός από την πληθώρα των ασθενειών που προκαλούνται από την παγκόσμια πανδημία που μαστίζει τον κόσμο, την παχυσαρκία (Sun et al., 2008; Boilot et al., 2006). Βάσει του παγκόσμιου οργανισμού υγείας, τα άτομα με δείκτη μάζας σώματος >25 θεωρούνται υπέρβαρα ενώ >30 παχύσαρκα. Θεωρείται πανδημία, διότι πάνω από 1,2 εκατομμύρια παχύσαρκοι άνθρωποι πεθαίνουν ετησίως.

Το υψηλό ποσοστό σωματικού λίπους συνδέεται με την επιδείνωση της καρδιαγγειακής λειτουργίας, επηρεάζοντας την εύρυθμη λειτουργία του αγγειακού συστήματος. Η παρουσία υψηλού ποσοστού σωματικού λίπους σχετίζεται με την στένωση των αρτηριών και του φλεβικού διαμετρήματος προκαλώντας μειωμένη μικροαγγειακή λειτουργία και πιο αργή μεταφορά οξυγονωμένου αρτηριακού αίματος στους ιστούς. Πιο συγκεκριμένα, οι μικρές αρτηρίες και τα τριχοειδή αγγεία επηρεάζονται αρκετά, περιορίζοντας την αιματική ροή προς στους διάφορους ιστούς και την διαδικασία κυτταρικής οξυγόνωσης. Η στένωση αυτή, η οποία συχνά προκαλείται κυρίως από φλεγμονώδεις διεργασίες, αθηροσκλήρωση και αυξημένο οξειδωτικό στρες έχει ως αποτέλεσμα την δυσλειτουργία των ενδοθηλιακών κυττάρων και την μείωση της αγγειακής ελαστικότητας. Η μικροαγγειακή λειτουργία εξαρτάται από την μικροαγγειακή πυκνότητα και τον αυξημένο αριθμό των τριχοειδών στο τριχοειδικό δικτύου (Jonk et al., 2007). Στους σκελετικούς μύες, τα τριχοειδή αγγεία περιέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο του αγγειακού όγκου (έως και το 90%), (Boushel et al., 2001; Jones, Scott, Chaturvedi & Hughes, 2016; Mancini, Bolinger, Li, Kendrick, Chance & Wilson, 1994). Μερικοί από τους πιθανούς λόγους της μειωμένης μικροαγγειακής λειτουργίας των παχύσαρκων ατόμων είναι τα χαμηλά ποσοστά του μονοξειδίου του αζώτου στο αίμα. Η αγγειοδιαστολή αυξάνει την αιματική ροή προς τους μύες που συμμετέχουν κατά την άσκηση, επιτρέποντας τη αύξηση μεταφοράς οξυγόνου και θρεπτικών συστατικών, χωρίς όμως να



επηρεάζει τον συνολικό όγκο αίματος (Stapleton, James, Goodwill & Frisbee, 2008). Επιπλέον μεταβολές στην αρχιτεκτονική δομή των αγγείων, όπως η πάχυνση των βασικών μεμβρανών που τα περιβάλλουν, η αύξηση της διαμέτρου των αγγείων και η στένωση του χωρικού διαμερίσματος επηρεάζει την μικροαγγειακή λειτουργία (Zebekakis et al., 2005). Επιπροσθέτως, η απελευθέρωση φλεγμονωδών δεικτών στην κυκλοφορία του αίματος όπως του παράγοντα TNF α , ο οποίος σχετίζεται με την μειωμένη τριχοειδική λειτουργία και την αγγειοσυσταλτική ικανότητα, μπορούν να οδηγήσουν σε αγγειακή δυσλειτουργία (Knudson et al., 2007; Hodnett & Hester, 2007). Επιπλέον, το αυξημένο ποσοστό σωματικού λίπους μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη αντίστασης της ινσουλίνης, μια παθολογική κατάσταση που διαταράσσει τον φυσιολογικό μεταβολισμό της γλυκόζης και των λιπιδίων. Η αντίσταση στην ινσουλίνη προκαλεί αυξημένη απελευθέρωση ελεύθερων λιπαρών οξέων από τον λιπώδη ιστό, γεγονός που οδηγεί σε υπερλιπιδαιμία και συσσώρευση λιπιδίων στα τοιχώματα των αιμοφόρων αγγείων. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί αθηρωματική πλάκα στα τοιχώματα των αγγείων και αθηροσκλήρωση οδηγώντας σε βλάβη του ενδοθήλιου και των αγγείων, μειώνοντας την ικανότητα αγγειοσυστολής (Saltiel & Kahn, 2001; Hotamisligil, 2006).

Η παχυσαρκία συνδέεται τόσο με την ανάπτυξη της αρτηριακής υπέρτασης όσο και με το σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2. Το αυξημένο ποσοστό σωματικού λίπους, κυρίως του σπλαχνικού, οδηγεί σε αντίσταση στην ινσουλίνη, όπως προαναφέρθηκε, η οποία επηρεάζει σημαντικά τον μεταβολισμό της γλυκόζης και των λιπιδίων. Αυτή η κατάσταση, συμβάλλει στην υπεργλυκαιμία και στην δυσλιπιδαιμία, βασικά χαρακτηριστικά του σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 (DeFronzo et al., 2015). Επίσης, η αντίσταση στην ινσουλίνη σχετίζεται με ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, μειωμένη παραγωγή μονοξειδίου του αζώτου (NO) και αυξημένη δραστηριότητα αγγειοσυσταλτικών παραγόντων (ενδοθελίνη – 1). Αυτές οι διαταραχές οδηγούν σε αυξημένη αγγειακή αντίσταση και αρτηριακή υπέρταση (Muniyappa, Montagnani, Kon Koh & Quon, 2007). Τέλος, η παχυσαρκία, αποτελεί ένα από τον κύριους παράγοντες ανάπτυξης του μεταβολικού συνδρόμου, ενός συνόλου μεταβολικών διαταραχών που αυξάνουν σημαντικά τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων και του σακχαρώδους διαβήτη τύπου 2. Τα χαρακτηριστικά του μεταβολικού συνδρόμου περιλαμβάνουν την κεντρική παχυσαρκία, την αντίσταση στην ινσουλίνη, υπέρταση και δυσλιπιδαιμία (Grundy et al., 2004).



Εικόνα 1. Κίνδυνοι για την υγεία που συνδέονται με την παχυσαρκία, όπως σακχαρώδης διαβήτης τύπου 2, η αρτηριακή υπέρταση, οι καρδιαγγειακές παθήσεις κ.α.

Άσκηση και νευρομυϊκές προσαρμογές στα παχύσαρκα άτομα

Αρκετές μελέτες υπογραμμίζουν ότι η σωματική άσκηση αποτελεί βασικό πυλώνα στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας, προσφέροντας όχι μόνο μείωση του σωματικού βάρους και βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ των ασθενών αλλά και σημαντικές προσαρμογές στο νευρομυϊκό σύστημα που ενισχύουν την λειτουργικότητα, τη γενική δύναμη, την υγεία και την ποιότητα ζωής των ατόμων (Cavaggioni et al., 2025; Hang, Χίαογυ, Jue, Yingli & Li, 2025). Πιο συγκεκριμένα, το νευρομυϊκό σύστημα έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται στις μεταβολές των μηχανικών φορτίσεων που δέχεται (Gelfi, Vasso & Cerretelli, 2011). Οι μηχανικές φορτίσεις που δέχεται το νευρομυϊκό σύστημα από την συστηματική προπόνηση με αντιστάσεις οδηγεί σε αύξηση της μυϊκής υπερτροφίας και της μυϊκής δύναμης. Σε υγιή άτομα, η αύξηση στην δύναμη προέρχεται από προσαρμογές που συμβαίνουν είτε στο κεντρικό (εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός) είτε στο περιφερικό (περιφερικά νεύρα, μυϊκό σύστημα) επίπεδο του νευρομυϊκού συστήματος (Narici, Roi, Landoni, Minetti & Cerretelli, 1989).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παχυσαρκία επιβάλλει το σώμα σε μια κατάσταση χρόνιας μηχανικής υπερφόρτωσης λόγω του αυξημένου σωματικού βάρους. Το αυξημένο σωματικό βάρος λειτουργεί ως επιπλέον φορτίο το οποίο δρα ως ένα χρόνιο ερέθισμα,



προκαλώντας προσαρμογές στο νευρομυϊκό σύστημα. Μελέτη υποστηρίζει ότι το αυξημένο σωματικό βάρος ίσως λειτουργεί ως ευνοϊκό ερέθισμα με στόχο την ενδυνάμωση (Thoren, Seliger, Macek, Vavra & Rutenfranz, 1973). Επιπλέον, άλλη μελέτη αναφέρει σημαντικές αυξήσεις στη μυϊκή ισχύ αθλητών που προπονούσαν φορώντας γιλέκα επιβάρυνσης (Bosco, Rusko & Hirvonen, 1986). Αν θεωρήσουμε το γιλέκο ως ανάλογο του υπερβολικού ποσοστού σωματικού λίπους στην παχυσαρκία, τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να υποστηρίζουν την άποψη των παραπάνω ερευνητών. Παχύσαρκα έφηβα κορίτσια όπου είχα υψηλότερα ποσοστά μυϊκής μάζας και καλύτερη νευρομυϊκή ενεργοποίηση και συντονισμό των μυών των κάτω άκρων συγκριτικά με νορμοβαρή κορίτσια (Garcia-Vicencio et al., 2016).

Επιπροσθέτως, οι φυλετικές διαφορές κατέχουν σημαντικό ρόλο, καθώς τα αγόρια λόγω ορμονικών παραγόντων έχουν μεγαλύτερο ερέθισμα για μυϊκή υπερτροφία και μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκής μάζας. Αυτό όμως δεν δηλώνει απαραίτητα ότι δεν στηρίζονται αρκετά και σε νευρικές προσαρμογές για τη βελτίωση της δύναμης. Αντιθέτως, τα κορίτσια, πιθανά να στηρίζονται περισσότερο σε νευρικές προσαρμογές ως αντιστάθμιση του ερεθίσματος μυϊκής υπερτροφίας συγκριτικά με τα αγόρια (Garcia – Vicencio et. al., 2023). Συνεπώς, οι νευρικές προσαρμογές ενδέχεται να είναι λιγότερο κυρίαρχες στα παχύσαρκα αγόρια σε σύγκριση με τα κορίτσια. Επιπλέον, κατά την αξιολόγηση της ισομετρικής και ισοκινητικής δύναμης κατά την έκταση του γόνατος μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ανδρών δεν παρατήρησαν διαφορές. Ωστόσο, όσον αφορά τα παχύσαρκα άτομα, τα ευρήματα έδειξαν χαμηλότερες τιμές δύναμης ανά μονάδα μάζας σώματος και μειωμένη νευρομυϊκή ενεργοποίηση συγκριτικά με τα νορμοβαρή άτομα. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο περιορισμός του αυξημένου ποσοστού σωματικού λίπους και βάρους σε συνδυασμό με την μειωμένη νευρομυϊκή ενεργοποίηση, ίσως εξηγούν τη μείωση στον λόγο της σχέσης δύναμης/μάζας και δεν οφείλεται τόσο στις συσταλτικά χαρακτηριστικά του μυός που παρατηρήθηκε στα παχύσαρκα άτομα κατά την έκταση γόνατος (Maffiuletti et al., 2007 ; Blimkie, Sale & Bar – Or, 1990). Σε ασκήσεις που απαιτούν την χρήση του σωματικού βάρους (καθίσματα, άλματα) το αυξημένο σωματικό βάρος κατέχει ισχυρότερο περιοριστικό παράγοντα. Επιπλέον, η έλλειψη κίνητρου, κινητικής δεξιότητας και καλού νευρομυϊκού συντονισμού κινήσεων είναι επιπλέον περιοριστικοί παράγοντες των παχύσαρκων ατόμων (Blimkie, Sale & Bar – Or, 1990).



Η προπόνηση με αντιστάσεις έχει θετικές προσαρμογές στον έλεγχο και την διατήρηση της στάσης του σώματος και της ισορροπίας των παχύσαρκων ατόμων. Πιο συγκεκριμένα, σε έρευνα που εφάρμοσαν πρωτόκολλο άσκησης τεσσάρων εβδομάδων παρατήρησαν βελτίωση στην τροποποιημένη δοκιμασία ισορροπίας με εκτείνοντα αστέρα (mSEBT), (Asadi, De Villarreal, & Arazi, 2015). Κάποιοι από τους πιθανούς μηχανισμούς που δικαιολογούν τις παραπάνω βελτιώσεις, περιλαμβάνουν την ιδιοδεκτικότητα, τον καλύτερο νευρομυϊκό συντονισμό των μυών, τη βελτίωση της συνεργασίας αγωνιστών και ανταγωνιστών μυών και άλλες νευρομυϊκές ιδιότητες (Gribble, Kelly, Refshauge & Hiller, 2012; Gribble, Hertel & Plisky, 2013). Η επαναλαμβανόμενη επαφή με ασταθείς επιφάνειες οδηγεί την προσαρμογή του νευρομυϊκού συστήματος ενώ βελτιώνει και την ευαισθησία των προσαγωγών οδών (μετάδοση πληροφοριών από το σώμα προς τον εγκέφαλο). Επιπλέον, η διέγερση των ιδιο-υποδοχέων (μυϊκοί άτρακτοι, τενόντια όργανα του Golgi κ.α.) ανάλογα με το ερέθισμα της άσκησης παρέχουν πληροφορίες για την μεταβολή της τάσης και του μήκους των τενόντων και των μυών επιτρέποντας στο ΚΝΣ να σχεδιάζει και να διορθώνει εκούσιες κινήσεις αποφεύγοντας αρκετές φορές και πιθανούς τραυματισμούς (Peterka & Loughlin, 2004; Hung, 2015). Επίσης, οι καθιστικές συνήθειες των παχύσαρκων ατόμων και η περιορισμένη φυσική δραστηριότητα προκαλεί μεταβολή στη σωστή στάση του σώματος προκαλώντας πρόσθια μετατόπιση του κέντρου βάρους. Τέλος, πρωτόκολλα άσκησης με στόχο τη βελτίωση του νευρομυϊκού συντονισμού αυξάνουν την σταθερότητα των μυών και ελαχιστοποιούν τις μετατοπίσεις του κέντρου βάρους μέσω της τροποποιήσεως στην ενεργοποίηση των κινητικών μονάδων των μυών των κάτω άκρων (Guzman – Munoz et. al., 2020).

Ηλεκτρομυογραφία

Η ηλεκτρομυογραφία είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την καταγραφή της μεταβολής της ηλεκτρικής δραστηριότητας του μυός κατά την μυϊκή σύσπαση ή σε κατάσταση ηρεμίας και, έμμεσα, για τον έλεγχο της λειτουργίας των νευρώνων που βρίσκονται έξω από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και τον έλεγχο της μυϊκής ενεργοποίησης από το νευρικό σύστημα (De Luca et al., 2006). Επιπλέον, η ηλεκτρομυογραφία αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την διάγνωση διάφορων ασθενειών, αλλά και για την ερμηνεία της παθοφυσιολογίας διαφόρων ασθενειών.



Μέσω της αποσύνθεσης του ηλεκτρομυογραφικού σήματος συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό ενέργειας και τη συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων από το κεντρικό νευρικό σύστημα. Η ανάλυση της μεταβολής της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση προγραμμάτων άσκησης παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις προσαρμογές της νευρομυϊκής λειτουργίας για την παραγωγή δύναμης (De Luca, Le Fever, McCue & Xenakis, 1982; De Luca & Klime, 2012; De Luca & Hostage, 2010). Μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρομυογραφίας συλλέγεται το μη επεξεργασμένο ηλεκτρομυογραφικό σήμα του μυός και με τη χρήση ειδικών τεχνικών ανάλυσης του, πραγματοποιείται η αποσύνθεση του και μπορούν να αναλυθούν παράμετροι σε επίπεδο κινητικών μονάδων.

Η κινητική μονάδα αποτελείται από ένα σύνολο μυϊκών ινών που νευρώνονται από τις τελικές απολήξεις που βρίσκονται κατά μήκος του νευράξονα ενός α κινητικού νευρώνα (Raynor & Preston, 2003). Ανάλογα με το ερέθισμα της άσκησης μεταβάλλεται η συχνότητα ενεργοποίησης αλλά και ο αριθμός των κινητικών μονάδων που ενεργοποιούνται. Το μέγεθός της νευρικής ώσεως που θα μεταφερθεί στην κινητική μονάδα ανάλογα το ερέθισμα, πρέπει να είναι συγκεκριμένο ώστε να μπορεί να ενεργοποιήσει έναν συγκεκριμένο αριθμό κινητικών μονάδων (McNeil, Butler, Taylor & Gardevia, 2013; Orsatto, Rodrigues & Phillips, 2022). Εάν, αυτό το μέγεθος είναι αρκετό, όλες οι μυϊκές ίνες της συγκεκριμένης κινητικής μονάδας θα ενεργοποιηθούν. Διαφορετικά, δεν θα ενεργοποιηθεί καμία λόγω του νόμου "όλον ή ουδέν" (ικανοποιητικό ερέθισμα για την ενεργοποίηση της κινητικής μονάδας). Αν δεν υπάρξει το επαρκές ερέθισμα, δεν θα ενεργοποιηθεί αλλά και αν υπάρξει περισσότερο δεν θα ενεργοποιηθεί και περισσότερο (Henneman, Somjen & Carpenter, 1964).

Ηλεκτρομυογραφία και παχυσαρκία

Η ηλεκτρομυογραφία είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να καταγράψει τις αλλαγές στην ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών, είτε όταν αυτοί συσπώνται είτε όταν βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας. Η ενεργοποίηση των μυών καθώς και η σταδιακή εμφάνιση της κόπωσης που εμφανίζεται κατά την άσκηση, μπορεί να αξιολογηθεί μέσω της ανάλυσης του πλάτους του ηλεκτρομυογραφικού σήματος σε σχέση με τον χρόνο. Ωστόσο, αρκετές μελέτες αναφέρουν ότι το υποδόριο λίπος και το αυξημένο στρώμα σωματικού λίπους στην περιοχή του μυός που θα καταγραφεί η ηλεκτρομυογραφική



δραστηριότητα που κυριαρχεί στα άτομα με παχυσαρκία, προκαλούν μείωση στις τιμές του πλάτους του ηλεκτρομυογραφικού σήματος καθώς αυξάνεται και η παρεμβολή του σήματος από γειτονικούς μύες (Kuiken, Lowery, & Stoykon, 2003) Επιπλέον, το στρώμα του υποδόριου λίπους πάνω από την επιφάνεια του μυός εξασθενεί τη διανομή του δυναμικού ηλεκτρικού δυναμικού του (Farina and Rainoldi, 1999). Επιπροσθέτως, σε μελέτη που ήθελαν να εξετάσουν την ποιότητα του πλάτους του ηλεκτρομυογραφικού σήματος στον μακρύ παλαμικό μυ και ορθό κοιλιακό μυ μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών γυναικών, παρατήρησαν ότι τόσο το αυξημένο στρώμα σωματικού λίπους στην επιφάνεια του μυός όσο και το επίπεδο δύναμης επηρεάζουν τις παραμέτρους του ηλεκτρομυογραφικού σήματος. Ωστόσο, στατιστικά σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους του ηλεκτρομυογραφικού σήματος που προκαλούνται από το αυξημένο ποσοστό στρώμα σωματικού λίπους παρατηρούνται μόνο στον ορθό κοιλιακό μυ. Αυτό υποδηλώνει ότι η επίδραση του λιπώδους ιστού στο ηλεκτρομυογραφικό σήμα εξαρτάται από τον εξεταζόμενο μυ, κάτι που μπορεί να σχετίζεται με την αναλογία των μυϊκών ινών τύπου I και τύπου II. Για να προσδιοριστεί με ακρίβεια πώς το στρώμα του σωματικού λίπους στην επιφάνεια των μυών επηρεάζει το ηλεκτρομυογραφικό σήμα και σχετίζεται με τον τύπο του μυός και το είδος των μυϊκών ινών, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες (Bartuzi, Tokarski & Roman, 2010).

Όσον αφορά την ενεργοποίηση των κινητικών μονάδων, μελέτες έχουν εξετάσει την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα και την μεταβολή της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση ισομετρικών προγραμμάτων και βρήκαν ότι στο 50% της μέγιστης ισομετρικής δύναμης κατά την έκταση γόνατος παρατηρείται αύξηση στην συχνότητα ενεργοποίησης και της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας (Contessa, 2018) ενώ σε ένταση 20% της μέγιστης ισομετρικής δύναμης παρατηρήθηκε μείωση αυτών των παραμέτρων (Adam, 2003). Ωστόσο, δεν υπάρχουν μελέτες που να έχουν συγκρίνει τη μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος άσκησης μεταξύ νορμοβαρών και παχύσαρκων γυναικών.

Εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία

Η αξιολόγηση της τοπικής οξυγόνωσης του μυός πραγματοποιείται μέσω της χρήσης της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (Near infrared spectroscopy, NIRS) η οποία χρησιμοποιείται αρκετά σε μελέτες φυσιολογίας τα τελευταία χρόνια. Η τεχνική NIRS,



μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης και του ρυθμού μεταβολής των ποσοτών του οξυγόνου μέσω των χρωμοφόρων κυττάρων που απορροφούν το φως στους βιολογικούς ιστούς. Το ορατό φως (~400 – 650 nm), όπου αποτελείται από μικρότερα μήκη κύματος δεν μπορεί να διεισδύσει εν το βάθη στους ιστούς. Εν αντιθέσει, το υπέρυθρο φως (~700 – 900 nm) είναι ικανό να διεισδύσει αρκετά χιλιοστά έως και εκατοστά στον μυ (Balaban, 1996). Τα κύρια απορροφητικά χρωμοφόρα κύτταρα στους σκελετικούς μύες είναι η αιμοσφαιρίνη (Hb), η μυοσφαιρίνη (Mb) και η κυτταροχρωμική οξειδάση (cytox). Η κυτοχρωμική c οξειδάση (ή κυτόχρωμα c) είναι ένα διαμεμβρανικό ένζυμο, το οποίο βρίσκεται στην εξωτερική μεμβράνη των μιτοχονδρίων και είναι το τελευταίο ένζυμο της αναπνευστικής αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων. Ωστόσο, η συγκέντρωση του κυτοχρώματος c στους μύες των θηλαστικών είναι πιθανώς ~5% ή μικρότερο σε σύγκριση με αυτή της αιμοσφαιρίνης και της μυοσφαιρίνης (Balaban, 1996) υποδηλώνοντας ότι τα αξιόπιστα δεδομένα που λαμβάνουμε από τα σήματα που συλλέγονται από την χρήση της τεχνικής NIRS είναι από τα χρωμοφόρα κύτταρα της αιμοσφαιρίνης και της αίμης της μυοσφαιρίνης. Επιπλέον, η μελέτη της μεταβολής της οξυγόνωσης του μυός με τη μέθοδο της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας, δίνει πληροφορίες για τη μικροαγγειακή λειτουργία, την τοπική μεταβολική λειτουργία και την τοπική αιμάτωση του μυός (Ferrari, Mottola & Quaresima, 2004; Soares, Reimer & Murias, 2017; Willingham & McCully, 2017).

Εγγύς υπέρυθρη φασματοσκοπία και άσκηση

Η μικροαγγειακή λειτουργία είναι μειωμένη στα παχύσαρκα άτομα και μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην αιμοδυναμική λειτουργία, στην μη ομαλή λειτουργία των ενδοθηλιακών κυττάρων, σε μειωμένη αγγειοσυσταλτικότητα των αγγείων λόγω αυξημένης αρτηριακής σκληρότητας που μακροχρόνια οδηγούν σε καρδιαγγειακά νοσήματα (Krzyszinski et al., 2015). Προηγούμενες μελέτες χρησιμοποιούν τεχνικές της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας ώστε να ανιχνεύσουν με αποτελεσματικό τρόπο τις μεταβολές στην αγγειακή ανταπόκριση και στην μικροκυκλοφορία των κάτω άκρων μέσω του ρυθμού επαναοξυγόνωσης του μυός μετά από μια δοκιμασία αιματικής απόφραξη (Soares, McLay, Georg & Murias, 2017). Η προσέγγιση αυτή έχει αποδειχθεί αξιόπιστη (McLay et al., 2016) και ικανή να ανιχνεύει διαφορές στην αγγειακή ανταπόκριση μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών (McLay et al., 2016). Σε μελέτη εξέτασαν με την τεχνική της



εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας και σε συνδυασμό με μια δοκιμασία αιματικής απόφραξης διάρκειας 5 λεπτών, τις διαφορές στην αγγειακή ανταπόκριση εντός της μικροαγγειακής κυκλοφορίας στο κάτω άκρο μεταξύ παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι ο ρυθμός επανοξυγόνωσης καθώς και η συνολική πρόσληψη οξυγόνου από τον μυϊκό ιστό ήταν μικρότερη για τα παχύσαρκα άτομα συγκριτικά με τα νορμοβαρή (Soares, Reimer, Alenezi, Doyle – Baker & Murias, 2018).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ακριβείς μηχανισμοί που εμπλέκονται στην ικανότητα των αιμοφόρων αγγείων να προσαρμόζονται και να ρυθμίζουν την ποσότητα και την ροή του αίματος που θα πρέπει να διοχετεύσουν ως απάντηση στα διαφορά ερεθίσματα του οργανισμού δεν έχει κατανοηθεί πλήρως και καθορίζονται από διάφορους παράγοντες, όπως η αθηροσκλήρωση και η μικροαγγειακή δυσλειτουργία που συσχετίζονται με την παχυσαρκία (Charakida et. al., 2010; Patel et. al., 2016;). Επίσης, τα παχύσαρκα άτομα έχουν μειωμένη αγγειοδιασταλτική λειτουργία και μεγαλύτερη αντίσταση στα αγγείων τους, μικρότερη επιστράτευση τριχοειδών αγγείων κατά την φάση της αντιδραστικής υπεραϊμίας, καθώς και αυξημένα επίπεδα ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας στο πλάσμα συγκριτικά με νορμοβαρή άτομα (Patel et al., 2016; Jonk et al., 2007). Τέλος, η αυξημένη έκθεση των παχύσαρκων ατόμων σε ελεύθερες ρίζες (ROS) έχουν την ικανότητα να μειώνουν την δράση της δραστηριότητας της ενδοθηλιακής συνθάσης του νιτρικού οξειδίου (eNOS), οδηγώντας στην μείωση της παραγωγής οξειδίου του αζώτου (προστατευτική δράση αγγείων) επιτείνοντας με αυτόν τον τρόπο την ενδοθηλιακή λειτουργία και την αγγειακή βλάβη (Heinonen et al., 2014; Soares and Murias, 2018).

Συμπεράσματα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Η σωματική άσκηση και συγκεκριμένα η προπόνηση με αντιστάσεις, αποτελεί ουσιώδη άμεση θεραπευτική παρέμβαση στην παχυσαρκία όχι μόνο για τον έλεγχο του σωματικού βάρους και την σωστή ρύθμιση και λειτουργία του μεταβολισμού, αλλά και για τις νευρομυϊκές και αγγειοδραστικές προσαρμογές. Η προπόνηση με αντιστάσεις ενισχύει το ερέθισμα για μυϊκή υπερτροφία, τη νευρομυϊκή ενεργοποίηση και την λειτουργική ικανότητα ενώ η χρόνια μηχανική φόρτιση που δέχεται το σώμα λόγω του αυξημένου σωματικού βάρους ενδέχεται να δρα ως ερέθισμα μυϊκής ενδυνάμωσης στα παχύσαρκα και υπέρβαρα άτομα. Ωστόσο, το αυξημένο ποσοστό σωματικού λίπους και λιπώδους



στρώματος στην επιφάνεια τους μύς επιδρά αρνητικά στην καταγραφή του ηλεκτρομυογραφικού σήματος και συνδέεται με μειωμένη νευρομυϊκή ενεργοποίηση. Επιπλέον, η μικροαγγειακή και ενδοθηλιακή δυσλειτουργία παρατηρείται στα παχύσαρκα άτομα και αναδεικνύονται μέσω της τεχνικών της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας και την αιματικής απόφραξης. Εν κατακλείδι, η συστηματική άσκηση μπορεί να επιφέρει πολλαπλά οφέλη, βελτιώνοντας τη νευρομυϊκή λειτουργία, την ισορροπία, και την αγγειακή λειτουργία στα άτομα με παχυσαρκία. Μέχρι σήμερα, καμία μελέτη δεν έχει αξιολογήσει τον ρυθμό μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και την μεταβολή της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση ενός ημερησίου προγράμματος προπόνησης με αντιστάσεις με στόχο την μυϊκή υπερτροφία σε και παχύσαρκες γυναίκες. Δεν έχει διερευνηθεί κατά πόσο υφίσταται συσχέτιση μεταξύ της μυϊκής οξυγόνωσης και της μεταβολής της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων μεταξύ των δύο πληθυσμιακών ομάδων.



III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν 25 γυναίκες οι οποίες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες με βάση το συνολικό ποσοστό σωματικού λίπους. Τη μια ομάδα αποτέλεσαν 13 φυσιολογικού βάρους γυναίκες (ηλικίας $20,7 \pm 0,89$ ετών και ποσοστό σωματικού λίπους $25,4 \pm 3,41\%$) και την άλλη ομάδα 12 παχύσαρκες γυναίκες (ηλικίας $20,5 \pm 0,97$ ετών και ποσοστό σωματικού λίπους $40,47 \pm 6,07\%$). Όλες οι δοκιμαζόμενες συμμετείχαν εθελοντικά στη μελέτη, ήταν υγιείς και δεν είχαν προπονητική εμπειρία στην άσκηση με αντιστάσεις. Οι συμμετέχουσες, αφού άκουσαν προσεκτικά και κατανόησαν τις οδηγίες και τις απαιτήσεις της έρευνας, αποδέχτηκαν τους όρους συμμετοχής.

Πειραματικός σχεδιασμός

Οι δοκιμαζόμενες προσήλθαν στο εργαστήριο δύο φορές. Την πρώτη φορά αξιολογήθηκε η μία μέγιστη επανάληψη στη μονοποδική έκταση γόνατος σε μηχάνημα και η σύσταση σώματος για την αξιολόγηση του ολικού ποσοστού σωματικού λίπους, την μυϊκή μάζα και του δείκτη μάζας σώματος. Επιπλέον, εκτέλεσαν μερικές επαναλήψεις (10 - 20 συνολικά ανά άτομο) για την αξιολόγηση της τεχνικής εκτέλεσης της άσκησης και να επισημανθούν οι ανάλογες διορθώσεις όπου χρειάστηκαν. Επίσης, καθορίστηκε η ιδανική θέση για την τοποθέτηση της κάθε ασκούμενης στο μηχάνημα εκτάσεων γόνατος, του ηλεκτροδίου επιφανείας για την καταγραφή του βέλτιστου ηλεκτρομυογραφικού πλάτους και της οπτικής ίνας για την καταγραφή της οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης του έξω πλατύ μυός.

Τη δεύτερη φορά, πριν από την εκτέλεση του βασικού πρωτοκόλλου άσκησης, εκτελέστηκε προθέρμανση που αποτελούνταν από 2 σετ των 10 επαναλήψεων στο 35 και 55% της μίας μέγιστης επανάληψης στην μονοποδική έκταση γόνατος στο μηχάνημα με χρόνο αποκατάστασης 3' μεταξύ των σετ. Έπειτα, οι ασκούμενες εκτέλεσαν ένα πρωτόκολλο άσκησης που αποτελούνταν από 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικών εκτάσεων γόνατος στο 60% της 1ΜΕ με διάλειμμα 3' μεταξύ των σετ. Κατά την εκτέλεση των σετ καταγραφόταν η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα (ΗΜΓ) και η οξυγόνωση του έξω πλατύ μυός. Μέσω αποσύνθεσης του ΗΜΓ σήματος προσδιορίστηκε το πλάτος του δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων (ΔΕΚΜπλ), η συχνότητα ενεργοποίησης



(ΣΕν) τους και οι συντελεστές A και B κατά την μειομετρική φάση της άσκησης. Οι δύο συντελεστές προκύπτουν από το εκθετικό μοντέλο ($y=a*\exp^{(bx)}$) όπου ο συντελεστής A δηλώνει τη θεωρητική μέγιστη συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και ο συντελεστής B το ρυθμό πτώσης της μέσης συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων σε σχέση με το πλάτος του δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων. Η οξυγόνωση του έξω πλατύ μυ αξιολογήθηκε μέσω της τεχνικής της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) και υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της οξυγονωμένης (O_2Hb) και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) κατά την εκτέλεση των σετ.

Μετρήσεις

Ανθρωπομετρικές μετρήσεις: Για την αξιολόγηση της σωματικής μάζας των ασκούμενων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός ζυγός (Seca 704, Εικόνα 2). Η κάθε δοκιμαζόμενη, με ελαφριά ένδυση, στεκόταν ακίνητη στο κέντρο τις πλατφόρμας του ζυγού, κοιτάζοντας μπροστά και χωρίς να στηρίζεται κάπου. Είχε ζητηθεί από την ασκούμενη να αφαιρέσει τα υποδήματά της και οτιδήποτε άλλο βαρύ αντικείμενο είχε πάνω της. Η μάζα του σώματός της μετρήθηκε με ακρίβεια 100 gr. Για την αξιολόγηση του ύψους, η εξεταζόμενη στεκόταν σε όρθια θέση με τις φτέρνες ενωμένες χωρίς να φοράει υποδήματα και με το κεφάλι να κοιτάει ευθεία μπροστά. Η μέτρηση του ύψους πραγματοποιήθηκε με την χρήση φορητού αναστημόμετρου (Seca bodymeter 213, Εικόνα 3) στον κατακόρυφο άξονα του οποίου ήταν προσαρμοσμένος ένας οριζόντιος χάρακας που ερχόταν σε επαφή με το υψηλότερο σημείο του κεφαλιού της δοκιμαζόμενης. Η καταγραφή του σωματικού ύψους γινόταν με ακρίβεια 0,1 cm.



Εικόνα 2. Ψηφιακός ζυγός Seca 704.



Εικόνα 3. Φορητό αναστημόμετρο Seca, Bodymeter 213.



Σύσταση σώματος: Για την αξιολόγηση της σύστασης του σώματος των ασκούμενων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της βιοηλεκτρικής αγωγιμότητας (Tanita MC-780, Εικόνα 4). Στην κάθε ασκούμενη ζητήθηκε πριν από την μέτρηση να απέχει 3 ώρες από την κατανάλωση στερεάς ή υγρής μορφής τροφή, 24 ώρες αποχή από οποιοδήποτε αλκοολούχο ρόφημα, να μην έχει εκτελέσει οποιαδήποτε μορφής έντονης άσκησης για τουλάχιστον 12 ώρες πριν την μέτρηση, 30'' λεπτά πριν να έχει πραγματοποιηθεί ούρηση και να μην λάβει οποιαδήποτε φαρμακευτική αγωγή που θα μπορούσε να επηρεάσει τα δεδομένα της μέτρησης (π.χ. διουρητικά). Επιπλέον, όλες οι ασκούμενες έπρεπε να μην βρίσκονται σε περίοδο έμμηνου ρύσης καθώς και 3 μέρες πριν ή μετά από αυτή. Τέλος, τους ζητήθηκε να αφαιρέσουν οποιοδήποτε μεταλλικό αντικείμενο (π.χ. κοσμήματα) που έρχονται σε επαφή με το σώμα πριν την μέτρηση. Εφόσον οι ασκούμενες τηρούσαν τα παραπάνω κριτήρια, τους ζητήθηκε να αφαιρέσουν τα υποδήματα καθώς και τις κάλτσες τους. Έπειτα απολυμάνθηκαν όλα τα πλαστικά και μεταλλικά μέρη στις χειρολαβές και στην πλατφόρμα ζύγισης με απολυμαντικά μαντηλάκια και τηρήθηκε χρόνος αναμονής τουλάχιστον 5 λεπτών για την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Στην συνέχεια, η κάθε ασκούμενη τοποθέτησε τα δάχτυλα του άκρο ποδός στις δύο μπροστινές μεταλλικές επιφάνειες και τις πτέρνες στις δύο οπίσθιες μεταλλικές επιφάνειες. Εφόσον, περίμενε για μερικά δευτερόλεπτα ώστε να σταθεροποιηθεί η ισορροπία της πάνω στην πλατφόρμα και να οριστικοποιηθεί το τελικό σωματικό της βάρος, της ζητήθηκε να πιάσει τις δύο χειρολαβές, να τοποθετήσει τα χέρια σε ουδέτερη στάση και τέλος να περιμένει μερικά δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της μέτρησης της σύστασης σώματος.

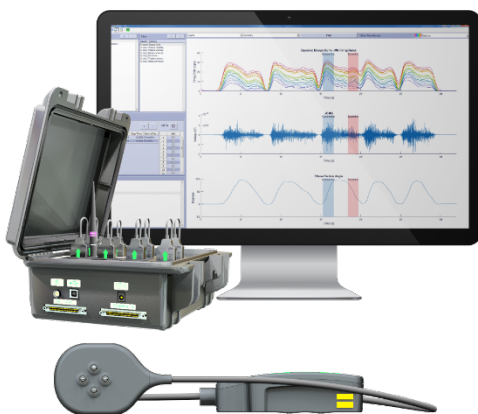


Εικόνα 4. Αναλυτής σύστασης σώματος Tanita MC780.

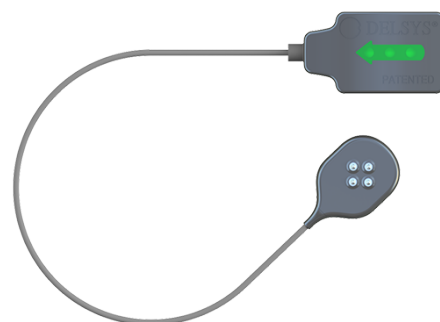


Ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα: Η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα του έξω πλατύ μυός καταγράφηκε με χρήση ασύρματων ηλεκτροδίων επιφάνειας (Galileo Sensors, Delsys, Trigno Research System, Delsys, Εικόνες 5 και 6) τοποθετημένα στον κατά μήκος άξονα της γαστέρας των μυών, σύμφωνα με την φορά των μυϊκών ινών και ακολουθώντας τις οδηγίες της SEMIAN (Hermens et al., 1999; Hermens, Freriks, Disselhorst – Klug, & Rau, 2000) και με ειδικό λογισμικό (EMGWorks Acquisition). Το καταγραφικό ηλεκτρόδιο τοποθετήθηκε στον έξω πλατύ μυ στα 2/3 της μεταξύ γραμμής από την άνω λαγόνια ακρολοφία προς το έσω μέρος της επιγονατίδας (Εικόνα 7). Η κεφαλή του ηλεκτροδίου, διαστάσεων 23 × 30 x 7 mm, αποτελείται από πλέγμα τεσσάρων επιφανειακών, κυλινδρικών, ασημένιων ηλεκτροδίων (διαμέτρου 0,5 mm), τοποθετημένα σε σχήμα ρόμβου, με απόσταση μεταξύ τους 0,5 cm. Με το σχηματισμό, ανά ζεύγος, διπολικής διάταξης ο αισθητήρας επιτρέπει την καταγραφή τεσσάρων καναλιών ηλεκτρομυογραφικού σήματος. Το ηλεκτρομυογραφικό σήμα καταγραφόταν κατά την εκτέλεση των μονοποδικών εκτάσεων κνήμης με ρυθμό δειγματοληψίας 2222Hz με φίλτρο τιμών στα 20 – 450Hz. Για τη μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης αφαιρέθηκαν από το δέρμα οι τρίχες και οι νεκρές μονωτικές στοιβάδες της επιδερμίδας με χρήση ξυραφιού, έντονο τρίψιμο και καθάρισμα με αλκοολικό διάλυμα.

Το μη επεξεργασμένο ηλεκτρομυογραφικό σήμα από το 1^ο κανάλι καταγραφής του αισθητήρα μετατράπηκε σε τετραγωνική ρίζα των μέσων τιμών υψωμένες στο τετράγωνο



Εικόνα 5. Trigno System Delsys.



Εικόνα 6. Galileo Sensors, Delsys.



6. Vastus Lateralis

Anatomy	
Subdivision	
Function	Extension of knee joint
Placement	
Start position	Sitting on table, knees in slight flexion, upper body slightly bend backward
Location	At 2/3 of line <i>anterior spina iliaca superior – lateral side of patella</i>
Orientation	In the direction of muscle fiber
Test	Extend knee while pressing against the leg above the ankle in the direction of flexion

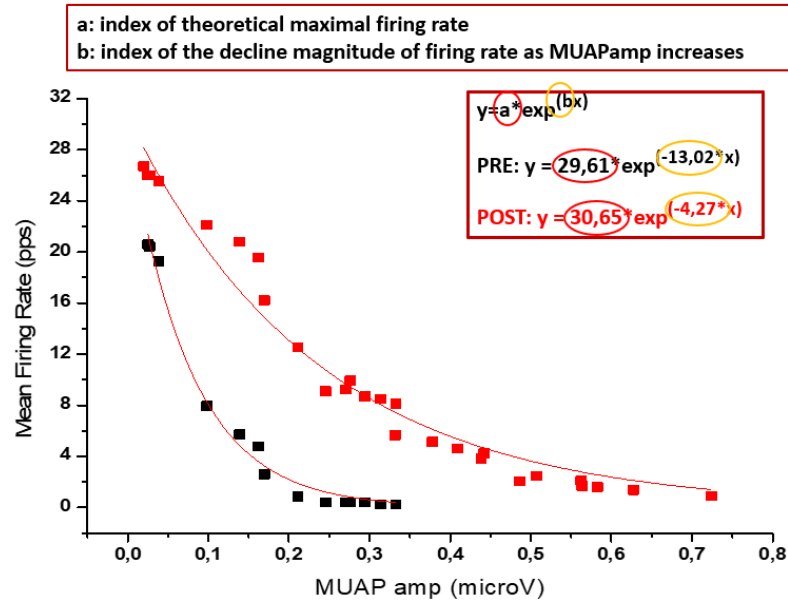


Εικόνα 7. Κατευθυντήριες οδηγίες τοποθέτησης ηλεκτροδίων επιφανείας στον έξω πλατύ μυ (Freriks & Hermens, 1999; 2000).

(ΗΜΓrms) και αναλύθηκε η τιμή του κατά τη μειομετρική φάση της κίνησης σε κάθε επανάληψη του κάθε σετ κατά της εκτέλεση μονοποδικής έκτασης γόνατος στο μηχάνημα. Για το διαχωρισμό της μειομετρικής και της πλειομετρικής φάσης της κίνησης χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας με γυροσκόπο και επιταχυνσιόμετρο που τοποθετήθηκε 20 εκατοστά κάτω από το μέσω της επιγονατίδας.

Το καταγεγραμμένο ηλεκτρομυογραφικό σήμα των τεσσάρων καναλιών αποσυντέθηκε στα δυναμικά ενέργειας των κινητικών μονάδων που το απαρτίζουν χρησιμοποιώντας αλγόριθμο αποσύνθεσης και αναγνώρισης κινητικών μονάδων βάσει του πλάτους, του σχήματος και της διάρκειας του δυναμικού ενέργειας της κάθε κινητικής μονάδας (DeLuca, Chang, Roy, Kline & Nawab 2015), με τη χρήση ειδικού λογισμικού (Delsys NeuroMap v. 1.2.2). Στην ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι κινητικές μονάδες των οποίων τα δυναμικά ενέργειας προσδιορίστηκαν με ακρίβεια ανάλυσης υψηλότερη από 85% χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της αποσύνθεσης – σύνθεσης – αποσύνθεσης – σύγκρισης (Nawab, Chang & De Luca, 2010). Για τη μειομετρική φάση της κάθε επανάληψης αντλήθηκαν οι τιμές για το πλάτος του δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων (ΔΕΚΜπλ) και της συχνότητας ενεργοποίησης (Σεν) των κινητικών μονάδων. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι εκθετικές σχέσεις των ΔΕΚΜπλ με τη ΣΕν κατά την εκτέλεση των επαναλήψεων χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$Y = \alpha * \exp^{(\beta x)}$$



Σχήμα 1. Ανάλυση της σχέσης μεταξύ της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και του πλάτους του δυναμικού ενέργειας τους.

όπου ο συντελεστής a αποτελεί δείκτη της θεωρητικής μέγιστης συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και ο συντελεστής b δείκτη του ρυθμού πτώσης της συχνότητας ενεργοποίησης σε σχέση με την αύξηση του πλάτους του δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων (Σχήμα 1). Όσο υψηλότερη η τιμή του συντελεστή A τόσο υψηλότερη η μέγιστη θεωρητική συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων και όσο λιγότερη αρνητική η τιμή του συντελεστή B τόσο περισσότερο αυξάνεται η συχνότητα ενεργοποίησης των μεγαλύτερου μεγέθους κινητικών μονάδων.

Οξυγόνωση του μυός: Η μεταβολή της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός μετρήθηκε με την μέθοδο της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS) εξετάζοντας τις μεταβολές στην οξυγονωμένη και αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη. Στον έξω πλατύ μυ της κάθε ασκούμενης τοποθετήθηκε ζευγάρι καναλιών οπτικών ινών εγγύς υπέρυθρου φάσματος ακτινοβολίας. Η προαναφερθείσα διάταξη ήταν σταθεροποιημένη σε ειδική πλαστική υποδοχή (Εικόνα 8), η οποία με την σειρά της προσαρμοζόταν στην επιφάνεια του δέρματος πάνω από τον υπό εξέταση μυ. Χρησιμοποιήθηκε διαφανής υποαλλεργική αυτοκόλλητη ταινία για την σταθεροποίηση της πλαστική υποδοχής και των οπτικών ινών, καθώς και κοινός επίδεσμος περίδεσης για τον βέλτιστο αποκλεισμό του εξωτερικού φωτός. Για την μείωση της εξωτερικής αντίστασης και για την καλύτερη καταγραφή, πραγματοποιήθηκε καθαρισμός του δέρματος με αλκοολούχο διάλυμα καθώς



απομακρύνθηκαν και οι τρίχες στην περιοχή με ξυράφι. Το κέντρο της απόστασης των οπτικών ινών τοποθετήθηκε στο 1/3 της απόστασης από την πρόσθια λαγόνια άκανθα ως το μέσο της εξωτερικής πλευράς της επιγονατίδας. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι προτάσεις του κατασκευαστή της συσκευής NIRS (Oxymon MkIII, Artinis, Holland, Εικόνα 9) που χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη ποιότητα σήματος (5%-7%), η απόσταση των οπτικών μυών ήταν 30-40 mm ανάλογα με το πάχος της δερματοπτυχής του έξω πλατύ μυός της κάθε ασκούμενης. Το πάχος της δερματοπτυχής μετρήθηκε με το δερματοπτυχόμετρο στο σημείο τοποθέτησης των οπτικών ινών της συσκευής NIRS για κάθε ασκούμενη ώστε να οριστεί η απόσταση των οπτικών ινών. Χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη μορφή του νόμου Beer-Lambert με τη χρήση της μεταβολής, ως προς το χρόνο, της οπτικής πυκνότητας συνεχούς εκπεμπόμενου κύματος υπέρυθρου φωτός σε μήκη 760 και 835 nm για τον υπολογισμό της μικρογραμμομοριακής μεταβολής στον ιστό της O₂Hb και της HHb. Η καταγραφή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με συχνότητα δειγματοληψίας 50 Hz και μεταφέρονταν σε υπολογιστή με ειδικό λογισμικό (Oxysoft 2.1.6). Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές στη μειομετρική φάση της κάθε επανάληψης που εκτελέστηκε.

Στατιστική ανάλυση

Για την ανάλυση του ΗΜΓrms, της συχνότητας ενεργοποίησης, του πλάτους του δυναμικού ενέργειας και των συντελεστών A και B, οι τιμές υπολογίστηκαν ανά δύο επαναλήψεις. Για τον έλεγχο των διαφορών μεταξύ των δύο ομάδων άσκησης, των σετ και των επαναλήψεων στη συχνότητα ενεργοποίησης, στο δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων, στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα (ΗΜΓrms), στους συντελεστές A και B



Εικόνα 8. Ειδική πλαστική υποδοχή για την σταθεροποίηση των οπτικών ινών.



Εικόνα 9. Σύστημα NIRS, Oxymon MkIII, Artinis



και στον ρυθμό μεταβολής των τιμών της οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης μεταξύ των δύο διαφορετικών ομάδων εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης δύο ή τριών παραγόντων με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε δύο παράγοντες. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων αναλύθηκαν με το τεστ του Tukey.

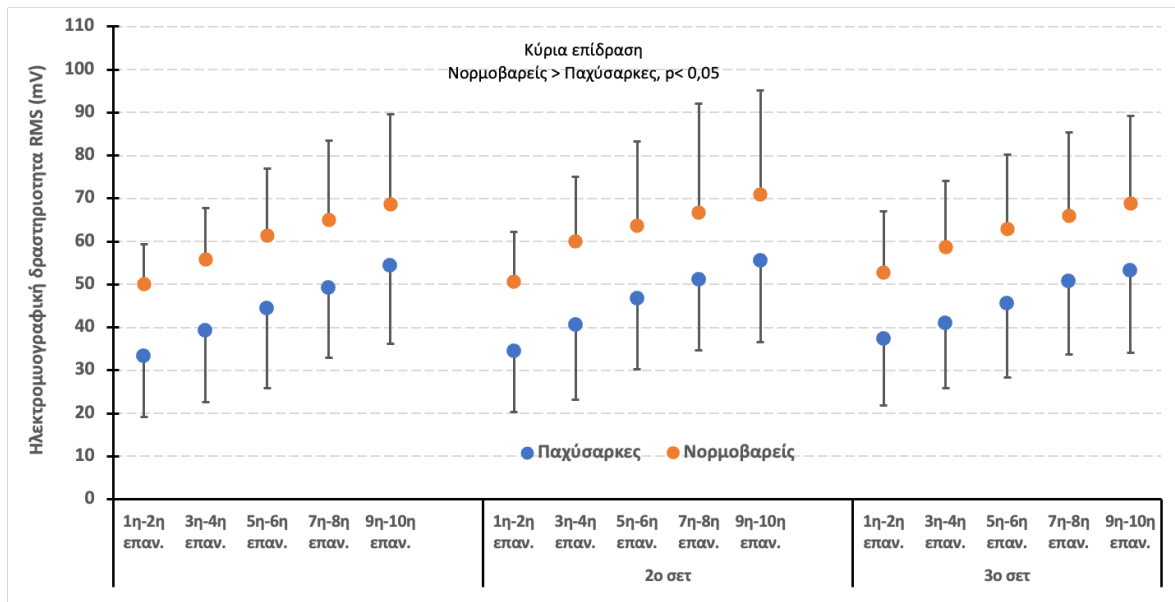
Επιπλέον, σε κάθε σετ υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της ΗΜΓrms, της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων, της οξυγονωμένης και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης με την εφαρμογή γραμμικού μοντέλου $y = \alpha + \beta x$, όπου x ο αριθμός επανάληψης και ο συντελεστής β δηλώνει το ρυθμό μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής. Για τον έλεγχο της συσχέτισης μεταξύ του ρυθμού μεταβολής της ΗΜΓrms και της ΣΕν με το ρυθμό μεταβολής των O_2Hb και HHb ανά σετ χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής r του Pearson. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$.



IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ηλεκτρομυογραφικό σήμα (ΗΜΓrms) κατά την εκτέλεση της άσκησης

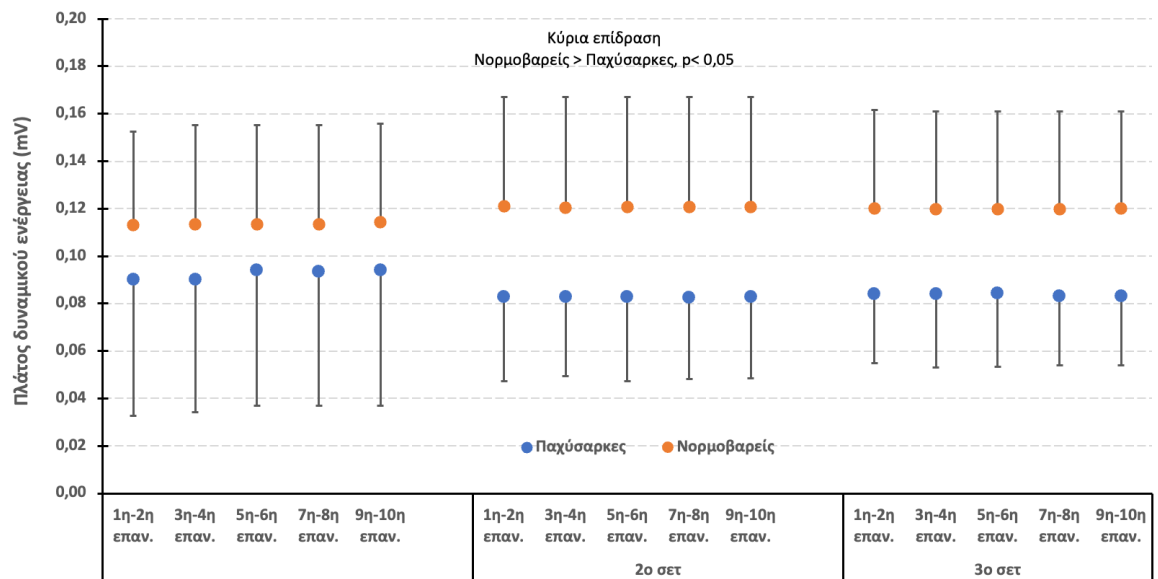
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα άσκησης, σετ και επανάληψη [$F_{(8,200)} = 0,29$, $p = 0,97$], σετ και επανάληψη [$F_{(8,200)} = 0,71$, $p = 0,1$], ομάδα και επανάληψη [$F_{(4,100)} = 0,55$, $p = 0,7$], ομάδα και σετ [$F_{(2,50)} = 0,06$, $p = 0,94$] καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα σετ [$F_{(2,50)} = 1,4$, $p = 0,26$]. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα επανάληψη [$F_{(4,100)} = 64,68$, $p = 0,01$], με τις τιμές κάθε επανάληψης να είναι υψηλότερες από την προηγούμενη, καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα [$F_{(1,25)} = 7,45$, $p = 0,01$], με τις τιμές των φυσιολογικού βάρους γυναικών να είναι υψηλότερες από αυτές των παχύσαρκων γυναικών (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Μεταβολή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας του έξω πλάτυ μυ κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.

Δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση της άσκησης

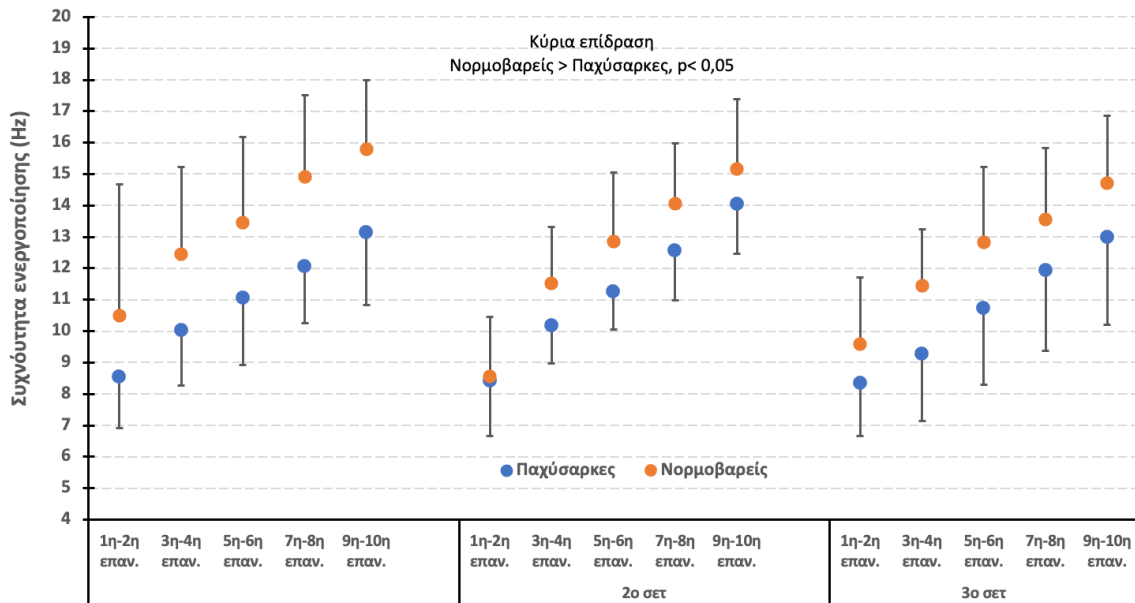
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα άσκησης, σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 1,22$, $p = 0,49$], σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 1,5$, $p = 0,16$], ομάδα και επανάληψη [$F_{(4,92)} = 0,67$, $p = 0,62$], ομάδα και σετ [$F_{(2,46)} = 1,79$, $p = 0,18$] καθώς και κύρια επίδραση των παραγόντων σετ [$F_{(2,46)} = 0$, $p = 1$], επανάληψη [$F_{(4,92)} = 1,38$, $p = 0,25$] και ομάδα [$F_{(1,23)} = 2,83$, $p = 0,11$] (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Πλάτος δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.

Μεταβολή της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση της άσκησης

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα άσκησης, σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 0,49$, $p = 0,86$], σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 1,89$, $p = 0,06$], ομάδα και επανάληψη [$F_{(4,92)} = 1,05$, $p = 0,38$], ομάδα και σετ [$F_{(2,46)} = 1,03$, $p = 0,37$] καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα σετ [$F_{(2,46)} = 0,99$, $p = 0,38$]. Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα επανάληψη [$F_{(4,92)} = 122,4$, $p = 0,01$], με τις τιμές κάθε επανάληψης να είναι υψηλότερες από την προηγούμενη, καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα [$F_{(1,23)} = 10,44$, $p = 0,01$], με τις τιμές των φυσιολογικού βάρους γυναικών να είναι υψηλότερες από αυτές των παχύσαρκων γυναικών (Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Μεταβολή της συχνότητας ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.

Μεταβολή του συντελεστή A κατά την εκτέλεση της άσκησης

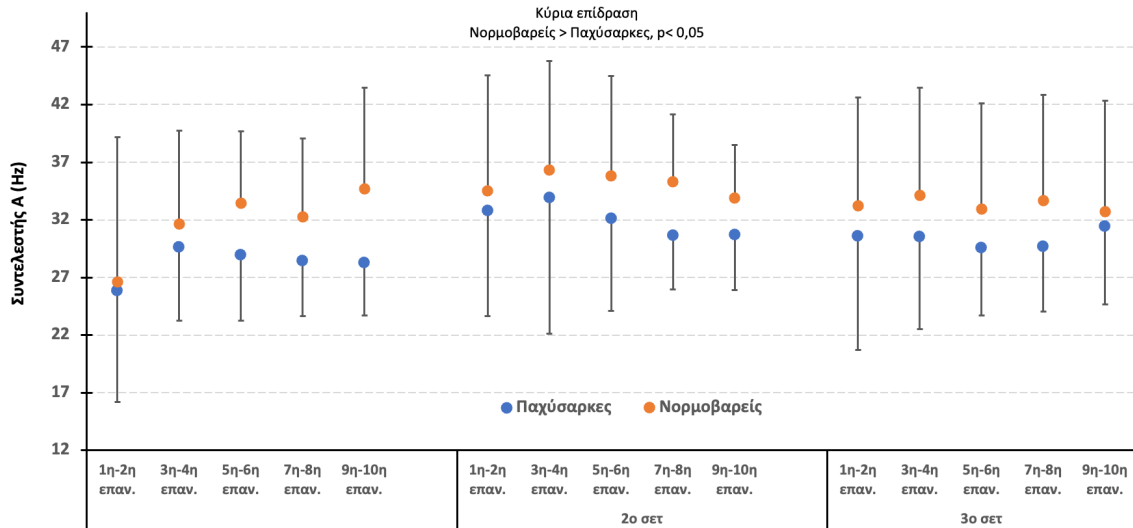
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα άσκησης, σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 0,4$, $p = 0,92$], σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 1,79$, $p = 0,08$], ομάδα και επανάληψη [$F_{(4,92)} = 0,35$, $p = 0,84$], ομάδα και σετ [$F_{(2,46)} = 0,52$, $p = 0,6$] καθώς και κύρια επίδραση των παραγόντων σετ [$F_{(2,46)} = 0,62$, $p = 0,54$] και επανάληψη [$F_{(4,92)} = 0,96$, $p = 0,43$]. Παρατηρήθηκε, ωστόσο, κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα [$F_{(1,23)} = 4,55$, $p = 0,04$], με τις τιμές των φυσιολογικού βάρους γυναικών να είναι υψηλότερες από αυτές των παχύσαρκων γυναικών (Σχήμα 5).

Μεταβολή του συντελεστή B κατά την εκτέλεση της άσκησης

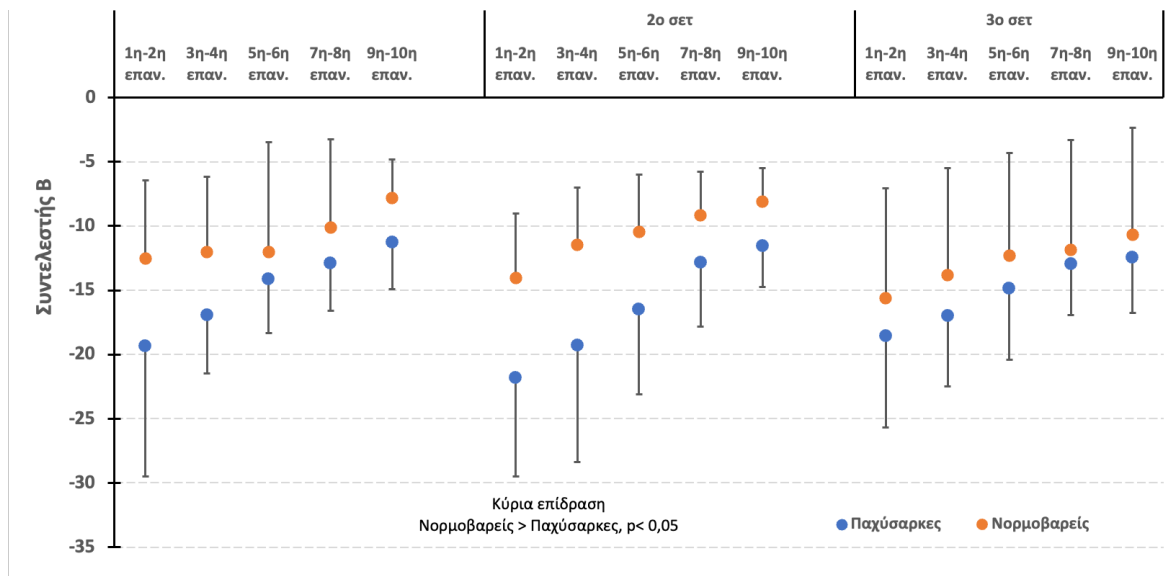
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα άσκησης, σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 0,7$, $p = 0,69$], σετ και επανάληψη [$F_{(8,184)} = 1,33$, $p = 0,23$] και ομάδα και σετ [$F_{(2,46)} = 1,33$, $p = 0,27$]. Παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και επανάληψη [$F_{(4,92)} = 2,38$, $p = 0,05$] καθώς και κύρια επίδραση του παράγοντα επανάληψη [$F_{(4,92)} = 42,61$, $p = 0,01$] και του παράγοντα ομάδα [$F_{(1,23)} = 6,51$, $p = 0,02$]. Δεν παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα σετ [$F_{(2,46)} = 6,51$, $p = 0,02$]. Τόσο στην ομάδα των παχύσαρκων όσο και στην ομάδα των φυσιολογικού βάρους γυναικών η τιμές του συντελεστή B στην 1^η επανάληψη ήταν πιο αρνητικές από ότι



στην 5^η-6^η, 7^η-8^η και 9^η-10^η επανάληψη, όπως και στην 3^η-4^η και 5^η-6^η συγκριτικά με την 9^η-10^η επανάληψη. Επίσης, οι τιμές του συντελεστή B στην 1^η-2^η, 3^η-4^η και 5^η-6^η επανάληψη ήταν χαμηλότερες (πιο αρνητικές) στην ομάδα των παχύσαρκων γυναικών συγκριτικά με την ομάδα των γυναικών φυσιολογικού βάρους (Σχήμα 6).



Σχήμα 5. Μεταβολή του συντελεστή A κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.

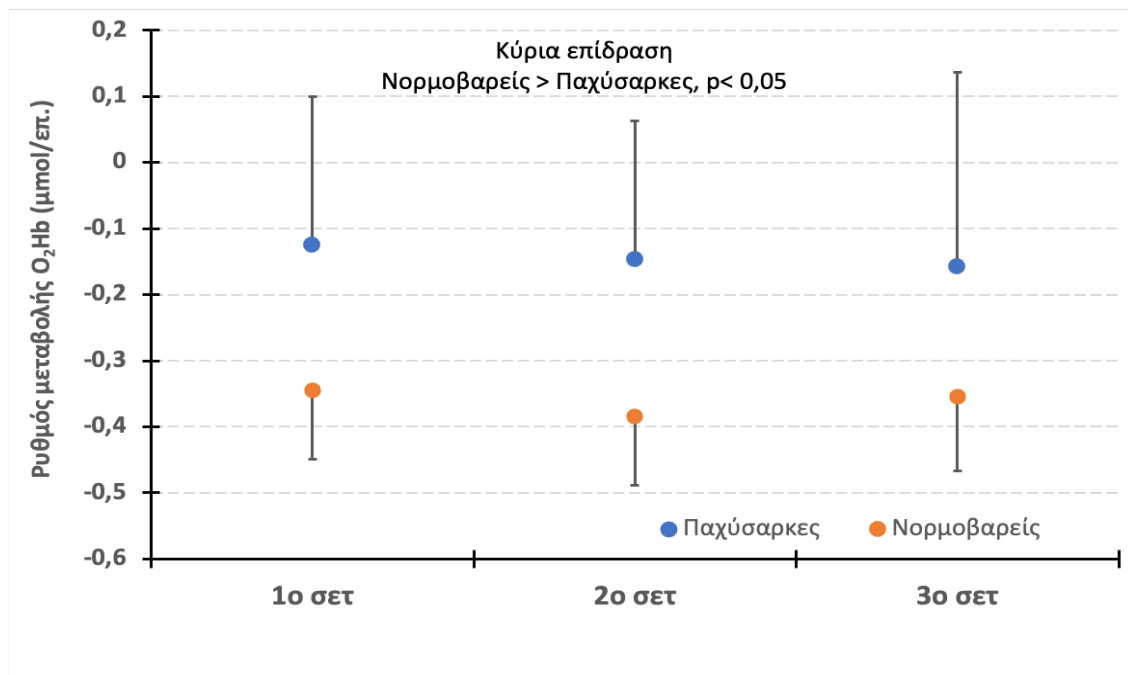


Σχήμα 6. Μεταβολή του συντελεστή B κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων (οι τιμές παρουσιάζονται ως μέσες τιμές ανά δύο επαναλήψεις) σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.



Ρυθμός μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O_2Hb) κατά την εκτέλεση της άσκησης

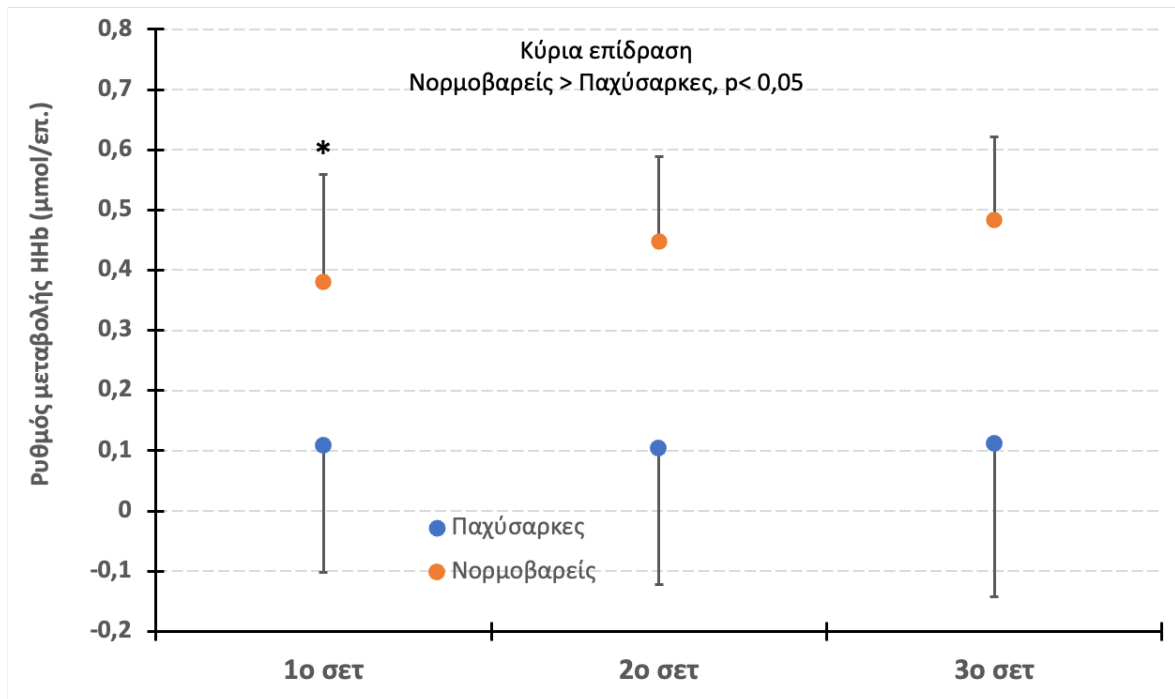
Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και σετ [$F_{(2,44)} = 0,2, p = 0,82$] και κύρια επίδραση του παράγοντα σετ [$F_{(2,46)} = 0,46, p = 0,63$]. Παρατηρήθηκε, ωστόσο, κύρια επίδραση του παράγοντα ομάδα [$F_{(1,23)} = 10,94, p = 0,01$], με τις τιμές των φυσιολογικού βάρους γυναικών να είναι υψηλότερες, μεγαλύτερος ρυθμός μείωσης, από αυτές των παχύσαρκων γυναικών (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Ρυθμός μεταβολής της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O_2Hb) στον έξω πλατύ μυ σε κάθε σετ κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης κνήμης σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.

Ρυθμός μεταβολής της αποοξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) κατά την εκτέλεση της άσκησης

Παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ομάδα και σετ [$F_{(2,44)} = 3,52, p = 0,04$] καθώς και κύρια επίδραση των παραγόντων σετ [$F_{(2,46)} = 4,17, p = 0,02$] και ομάδα [$F_{(1,23)} = 14,67, p = 0,01$]. Πιο αναλυτικά, οι τιμές των φυσιολογικού βάρους γυναικών ήταν υψηλότερες από αυτές των παχύσαρκων γυναικών ενώ, επίσης, οι τιμές στις παχύσαρκες γυναίκες δεν μεταβλήθηκαν από σετ σε σετ ενώ στις νορμοβαρείς γυναίκες οι τιμές της HHb στο 2^ο και στο 3^ο σετ ήταν υψηλότερες συγκριτικά με το 1^ο σετ (Σχήμα 8).



Σχήμα 8. Ρυθμός μεταβολής της απο-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) στον έξω πλατύ μυ σε κάθε σετ κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης κνήμης σε φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες.

* $p < 0,05$ από το 2^ο και το 3^ο σετ

Συσχέτιση των μεταβολών των δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής δραστηριότητας κατά την εκτέλεση των σετ άσκησης

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι υπήρξε από πολύ χαμηλή έως μέτρια μη σημαντική συσχέτιση, μεταξύ της δεικτών μυϊκής οξυγόνωσης, της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (O_2HB) και της από-οξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (HHb) με την ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα (HMΓrms) και της συχνότητας ενεργοποίησης (ΣυχΕν) των κινητικών μονάδων του έξω πλατύ μυ τόσο στις παχύσαρκες όσο και στις φυσιολογικού βάρους γυναίκες αλλά και στο σύνολο του δείγματος (Πίνακες 1, 2, 3).



Πίνακας 1. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ της μεταβολής δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης γόνατος στις παχύσαρκες γυναίκες (n= 12).

	O ₂ Hb 1 ^ο σετ	O ₂ Hb 2 ^ο σετ	O ₂ Hb 3 ^ο σετ	HHb 1 ^ο σετ	HHb 2 ^ο σετ	HHb 3 ^ο σετ
ΗΜΓrms 1 ^ο σετ	-0,101			-0,149		
ΗΜΓrms 2 ^ο σετ		-0,012			-0,067	
ΗΜΓrms 3 ^ο σετ			0,064			0,216
ΣυχΕν 1 ^ο σετ	-0,047			0,032		
ΣυχΕν 2 ^ο σετ		0,106			0,283	
ΣυχΕν 3 ^ο σετ			-0,044			0,433

ΗΜΓrms: Ηλεκτρομυογράφημα, ΣυχνΕν: Συχνότητα ενεργοποίησης

Πίνακας 2. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ της μεταβολής δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης γόνατος στις φυσιολογικού βάρους γυναίκες (n= 13).

	O ₂ Hb 1 ^ο σετ	O ₂ Hb 2 ^ο σετ	O ₂ Hb 3 ^ο σετ	HHb 1 ^ο σετ	HHb 2 ^ο σετ	HHb 3 ^ο σετ
ΗΜΓrms 1 ^ο σετ	-0,142			0,183		
ΗΜΓrms 2 ^ο σετ		-0,487			0,277	
ΗΜΓrms 3 ^ο σετ			-0,378			0,064
ΣυχΕν 1 ^ο σετ	-0,24			-0,058		
ΣυχΕν 2 ^ο σετ		0,094			0,306	
ΣυχΕν 3 ^ο σετ			0,367			-0,102

ΗΜΓrms: Ηλεκτρομυογράφημα, ΣυχνΕν: Συχνότητα ενεργοποίησης



Πίνακας 3. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ της μεταβολής δεικτών της μυϊκής οξυγόνωσης και της νευρομυϊκής ενεργοποίησης κατά την εκτέλεση 3 σετ των 10 επαναλήψεων μονοποδικής έκτασης γόνατος στο σύνολο του δείγματος (n= 25, φυσιολογικού βάρους και παχύσαρκες γυναίκες).

	O ₂ Hb 1 ^ο σετ	O ₂ Hb 2 ^ο σετ	O ₂ Hb 3 ^ο σετ	HHb 1 ^ο σετ	HHb 2 ^ο σετ	HHb 3 ^ο σετ
ΗΜΓrms 1 ^ο σετ	-0,1			-0,112		
ΗΜΓrms 2 ^ο σετ		-0,055			-0,028	
ΗΜΓrms 3 ^ο σετ			-0,063			0,063
ΣυχΕν 1 ^ο σετ	-0,287			0,279		
ΣυχΕν 2 ^ο σετ		-0,123			0,3	
ΣυχΕν 3 ^ο σετ			0,162			0,081

ΗΜΓrms: Ηλεκτρομυογράφημα, ΣυχνΕν: Συχνότητα ενεργοποίησης



V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε σημαντικές διαφορές στον ρυθμό μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης και στην ενεργοποίηση των κινητικών μονάδων κατά την εκτέλεση ενός ημερήσιου προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας ανάμεσα σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες γυναίκες. Το σύνολο των ευρημάτων παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο ομάδων, γεγονός που υπογραμμίζει ότι η παχυσαρκία επηρεάζει άμεσα την νευρομυϊκή λειτουργία, την τοπική οξυγόνωση των μυών και την μυϊκή απόδοση. Τα παραπάνω ευρήματα αναδεικνύουν σε ένα ευρύτερο πλαίσιο την παχυσαρκία ως μια πολύ-παραγοντική νόσο με μεταβολικές, καρδιαγγειακές και νευρομυϊκές προεκτάσεις (WHO, 2020). Τα νέα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη και συγκεκριμένα στις παραμέτρους που δεν έχουν αξιολογηθεί στην ομάδα των παχύσαρκων γυναικών, συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η παχυσαρκία επηρεάζει την φυσιολογία της άσκησης.

Από τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαιώνεται ότι οι παχύσαρκες γυναίκες παρουσιάζουν μειωμένη νευρομυϊκή ενεργοποίηση στον έξω πλατύ μυ (μειωμένο πλάτος ηλεκτρομυογραφικού σήματος) κατά την εκτέλεση μονοποδικών εκτάσεων γόνατος στο μηχάνημα συγκριτικά με τις νορμοβαρείς γυναίκες. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές μεταξύ των δύο ομάδων δεν περιορίζονται στις τιμές του ηλεκτρομυογραφικού σήματος αλλά και από τις μεταβολές που προκύπτουν από τις τιμές του συντελεστή B. Ο συντελεστής B αποτελεί δείκτη του ρυθμού πτώσης της συχνότητας ενεργοποίησης σε σχέση με την αύξηση του πλάτους του δυναμικού ενέργειας των κινητικών μονάδων με την αύξηση της τιμής του (να γίνεται λιγότερο αρνητικός) να δηλώνει μεγαλύτερη αύξηση της συχνότητας ενεργοποίησης στις μεγαλύτερου μεγέθους κινητικές μονάδες έναντι των μικρότερου μεγέθους. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη αύξηση του συντελεστή B στις παχύσαρκες γυναίκες υποδηλώνοντας σταδιακά υψηλότερη επιστράτευση κινητικών μονάδων μεγαλύτερου μεγέθους, με υψηλότερο δυναμικό ενέργειας, πιθανά τύπου II (Mendell, 2005) αν κρίνουμε από το πρότυπο νευρομυϊκής ενεργοποίησης.

Όσον αφορά την μικρότερη συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων που παρατηρήθηκε στις παχύσαρκες γυναίκες δείχνει ότι παρουσιάζουν ένα διαφορετικό νευρομυϊκό πρότυπο ενεργοποίησης και επιστράτευσης των κινητικών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα, η πιο αργή συχνότητα ενεργοποίησης δεν οφείλεται σε κάποια



καθυστέρηση ή δυσλειτουργία του κινητικών μονάδων αλλά στα χαρακτηριστικά των κινητικών μονάδων τύπου II που χαρακτηρίζονται από πιο αργή συχνότητα ενεργοποίησης αλλά ισχυρότερης ενεργοποίησης - πυροδότησης καθώς είναι μεγαλύτερου μεγέθους με μεγαλύτερο δυναμικό ενέργειας (Contessa, Letizi, De Luca & Kline, 2018; Adam & De Luca, 2003). Ένας από τους λόγους που παρατηρείται το συγκεκριμένο νευρομυϊκό πρότυπο στις παχύσαρκες γυναίκες είναι η ανάγκη και προσπάθειας της διατήρησης παραγωγής δύναμης καθ' όλη την διάρκεια του σετ εξαιτίας περιοριστικών νευρομυϊκών και μεταβολικών περιορισμών που οδηγούν σε πιθανή ταχύτερη εμφάνιση της κόπωσης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω της τεχνικής της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας, παρατηρήθηκαν διαφορετικά πρότυπα τοπικής μυϊκής οξυγόνωσης μεταξύ των δύο πληθυσμιακών ομάδων. Στην ομάδα των νορμοβαρών γυναικών σημειώθηκε μεγαλύτερη μείωση της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης και αύξηση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης κατά την εκτέλεση άσκησης συγκριτικά με τις παχύσαρκες. Τα παραπάνω αποτελέσματα υποδηλώνουν μια μειωμένη ικανότητα διαθεσιμότητας και δέσμευσης του οξυγόνου τοπικά στον έξω πλατύ μυ που παραπέμπει σε διαταραχές της μικροκυκλοφορίας και μειωμένης ικανότητας επαναφοράς της αιμοδυναμικής ισορροπίας κατά την εκτέλεση των σετ. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συνάδουν με προηγούμενες μελέτες που υπογραμμίζουν ότι η παχυσαρκία σχετίζεται με μειωμένη τριχοειδική πυκνότητα με αποτέλεσμα χαμηλότερη αιματική ροή και ικανότητα αιμάτωσης των σκελετικών μυών (Frisbee et al., 2016). Η διαταραχή της μικροκυκλοφορίας αποτελεί πιθανά έναν από τους βασικούς μηχανισμούς εμφάνισης της κόπωσης και μειωμένης αντοχής κατά την άσκηση των παχύσαρκων ατόμων και ίσως της μεγαλύτερης αύξησης της συχνότητας ενεργοποίησης των μεγαλύτερου μεγέθους κινητικών μονάδων. Επιπλέον, αν και δεν εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη, μειωμένο ποσοστό μιτοχονδρίων και μυοσφαιρίνης έχει συνδεθεί με περιορισμένη ικανότητα αξιοποίησης του οξυγόνου από τους μύες κατά την άσκηση (Holloway et al. 2018) γεγονός που μπορεί να εξηγεί γιατί οι παχύσαρκες γυναίκες “επιλέγουν” να καταφεύγουν περισσότερο σε αναερόβιους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας.

Παρά τις μεταβολές στους δείκτες της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας και στις τιμές της οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, παρατηρήθηκε χαμηλή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων τόσο ξεχωριστά στις δύο ομάδες γυναικών όσο και στο σύνολο τους. Η έλλειψη ισχυρής συσχέτισης μεταξύ των δεικτών θα μπορούσε να



οφείλεται στους συγκεκριμένους δείκτες μυϊκής λειτουργίας που δρουν συνεργατικά ακόμα και αν δεν συσχετίζονται κατά την άσκηση. Πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες μέσω της μεθόδου της ηλεκτρομυογραφίας που αποτυπώνουν την νευρομυϊκή ενεργοποίηση, την συχνότητα ενεργοποίησης και το δυναμικό ενέργειας των κινητικών μονάδων και οι δείκτες της οξυγονωμένης και αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης που αντικατοπτρίζουν την τοπική οξυγόνωση του μυός υποδηλώνουν ότι η μυϊκή οξυγόνωση και η νευρομυϊκή ενεργοποίηση δεν συνδέονται απλά γραμμικά. Η ρύθμιση της νευρομυϊκής ενεργοποίησης και της οξειδωτικής μεταβολικής δραστηριότητας του μυός δεν υποδηλώνουν ασυμφωνία των αποτελεσμάτων λόγω της χαμηλής τους συσχέτισης αλλά πιθανά παρέχουν συνδυαστικές και συμπληρωματικές πληροφορίες για την μυϊκή λειτουργία κατά την άσκηση.

Οι νορμοβαρείς γυναίκες είχαν υψηλότερη συχνότητα ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων οι παχύσαρκες είχαν πιο αργή συχνότητα ενεργοποίησης αλλά ενεργοποιούσαν προοδευτικά περισσότερες κινητικές μονάδες μεγαλύτερου μεγέθους (τύπου II) πιθανά λόγω μικρότερης αξιοποίησης του οξειδωτικού μηχανισμού παραγωγής ενέργειας όπως έδειξαν τα αποτελέσματα. Με άλλα λόγια, αυτό το πρότυπο νευρομυϊκής ενεργοποίησης υποδηλώνει ότι στις παχύσαρκες γυναίκες η επιστράτευση των κινητικών μονάδων είναι διαφορετική, ενδεχομένως λόγω της μειωμένης τοπικής οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός και λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους κινητικών μονάδων που επιστρατεύτηκαν γρηγορότερα για την διατήρηση της παραγόμενης δύναμης με σκοπό την επιτυχή εκτέλεση του προγράμματος άσκησης. Η μη γραμμική αυτή σχέση δικαιολογεί την δύσκολη κατανόηση των νευρομυϊκών και αιμοδυναμικών μηχανισμών και την σύνδεση τους με την παθοφυσιολογία της παχυσαρκίας κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος άσκησης.

Επίσης, τα αποτελέσματα της μελέτης σε συνδυασμό με τα δεδομένα από την παγκόσμια βιβλιογραφία αναδεικνύουν την σημαντικότητα της άσκησης για την λειτουργία της νευρομυϊκής ενεργοποίησης και της τοπικής οξυγόνωσης του μυός σε άτομα με παχυσαρκία. Παρά τα αποτελέσματα της μελέτης, η συστηματική άσκηση προσφέρει τόσο κεντρικές προσαρμογές σε επίπεδο καρδιοαναπνευστικού συστήματος όσο και περιφερικές προσαρμογές σε επίπεδο μυός. Η αερόβια μορφή προπόνησης προάγει την αύξηση της πυκνότητας των τριχοειδών αγγείων, της μιτοχονδριακής βιογένεσης και της πιο εύρυθμης λειτουργίας του ενδοθηλίου, αυξάνοντας με αυτό τον



τρόπο την καλύτερη δέσμευση των τιμών της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης των παχύσαρκων γυναικών (Holoszy, 2005). Επιπλέον, για την βελτίωση της νευρομυϊκής ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων, την βελτίωση της πιο επιλεκτικής στρατολόγησης των κινητικών μονάδων ανάλογα με το ερέθισμα της άσκησης και την αύξηση της νευρομυϊκής συναρμογής η προπόνηση δύναμης φαίνεται ότι παρέχει θετικές προσαρμογές (Aagaard et al., 2002). Επιπλέον, οι προσαρμογές αυτές προάγουν την βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων με παχυσαρκία. Βελτιώνοντας την μυϊκή αντοχή και την αντοχή στην κόπωση διευκολύνεται η λειτουργικότητα και η κινητικότητα των ασθενών οδηγώντας σε ένα πιο δραστήριο τρόπο ζωής και μια πιο εύκολη και προσβάσιμη καθημερινότητα. Επιπροσθέτως, η συνδυαστική μορφή προπόνησης φαίνεται να είναι αποτελεσματική για την συγκεκριμένη πληθυσμιακή ομάδα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρούσα μελέτη είναι πιθανά η πρώτη στην οποία αξιολογήθηκε συγχρόνως η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα στον έξω πλατύ μυ μέσω επιφανειακής ηλεκτρομυογραφίας υψηλής ανάλυσης και της τοπικής οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυός μέσω της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας σε παχύσαρκες και νορμοβαρείς γυναίκες. Η διεθνής βιβλιογραφία έχει εξετάσει τις δύο μεταβλητές χωριστά με ηλεκτρόδια επιφανείας χωρίς την συμπερίληψη υψηλής ανάλυσης ηλεκτρομυογραφίας και χωρίς την εκτέλεση προγραμματών άσκησης. Οι λόγοι αυτοί αναδεικνύουν την πρωτοτυπία της παρούσας μελέτης. Επίσης, η μοναδικότητα των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με άλλες έρευνες παρέχει την ευκαιρία για νέα γνώση στον τομέα της παθοφυσιολογίας και συγκεκριμένα στους παθοφυσιολογικούς μηχανισμούς της παχυσαρκίας αλλά και πως αυτοί μεταβάλλονται κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος άσκησης.



VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη θεωρείται η πρώτη που γνωρίζουμε η οποία αξιολόγησε τις σημαντικές διαφορές στον ρυθμό μεταβολής της μυϊκής οξυγόνωσης μέσω της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας και της ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων μέσω επιφανειακής ηλεκτρομυογραφίας υψηλής ανάλυσης κατά την εκτέλεση ενός ημερήσιου προγράμματος μυϊκής υπερτροφίας ανάμεσα σε νορμοβαρείς και παχύσαρκες γυναίκες. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος άσκησης με βάρη στόχο την μυϊκή υπερτροφία οι τιμές της οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης μειώθηκαν περισσότερο και οι τιμές της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης αυξήθηκαν στις γυναίκες φυσιολογικού βάρους συγκριτικά με την ομάδα των παχύσαρκων γυναικών, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη συμβολή του οξειδωτικού μεταβολισμού παραγωγής ενέργειας. Αυτό πιθανά οφείλεται στον μικρότερο μέγεθος και αριθμό μιτοχονδρίων, μυοσφαιρίνης και τριχοειδών αγγείων στα παχύσαρκα άτομα τα οποία ενδέχεται να χρησιμοποιούν περισσότερο αναερόβιους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας κατά την άσκηση. Κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, οι παχύσαρκες γυναίκες ενεργοποίησαν περισσότερο κινητικές μονάδες μεγαλύτερου μεγέθους (όπως παρατηρήθηκε από την αύξηση του συντελεστή B) οι οποίες είναι πιθανόν τύπου II. Αυτές οι φυσιολογικές προσαρμογές μπορεί να συμβαίνουν για να αντισταθμίσουν τη σταδιακή μείωση της φυσικής απόδοσης των παχύσαρκων γυναικών και να τους επιτρέψουν να διατηρήσουν μια σταθερή παραγωγή δύναμης για την επιτυχή εκτέλεση των σετ. Τέλος, παρατηρήθηκε έλλειψη ισχυρής συσχέτισης μεταξύ των δεικτών οξυγόνωσης και των δεικτών της νευρομυϊκής ενεργοποίησης. Αυτό πιθανά να οφείλεται στην διαφορετική λειτουργία που εμπλέκονται στην οξυγόνωση των μυών και στην ενεργοποίηση των κινητικών μονάδων στις παχύσαρκες γυναίκες συγκριτικά με τις νορμοβαρείς.

Προτάσεις για μελλοντικές εργασίες

- Εφαρμογή μακροχρόνιων πρωτοκόλλων άσκησης ώστε να παρατηρηθούν οι μακροχρόνιες προσαρμογές της άσκησης στις συγκεκριμένες πληθυσμιακές ομάδες.



- Χρήση διαφορετικών και εξατομικευμένων πρωτοκόλλων άσκησης θα παρέχουν νέες πληροφορίες σχετικά με την παθοφυσιολογία της παχυσαρκίας κατά την άσκηση.
- Διερεύνηση των προσαρμογών της άσκησης σε μεγαλύτερο δείγμα παχύσαρκων και νορμοβαρών γυναικών.
- Έρευνα σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες και φύλα στις πληθυσμιακές ομάδες των παχύσαρκων και νορμοβαρών ατόμων.
- Ανάλυση της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας και της τοπικής οξυγόνωσης σε περισσότερους μυς για να συλλεχθούν περισσότερα ερευνητικά δεδομένα με σκοπό την καλύτερη ερμηνεία της λειτουργίας της νευρομυϊκής ενεργοποίησης και της μυϊκής οξυγόνωσης μεταξύ των πληθυσμιακών ομάδων.



VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aagaard, P., Simonsen, E., Andersen, J., Magnusson, P. & Dyhre – Poulsen, P. (2002). Increase rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal Applied Physiology*, 93, 1318 – 1326.
2. Adam, A & De Luca, C. (2003). Recruitment order of motor units in human vastus lateralis muscle is maintained during fatiguing contractions. *Journal Physiology*, 90, 2919 – 2927.
3. Alvarez, T.S., Oliveira, G.V.D., Soares, R. & Murias, J.M. (2020). Near – infrared spectroscopy – derived total hemoglobin as an indicator of changes in muscle blood flow during exercise – induced hyperaemia. *Journal of Sports Science*, 38, 751 -758.
4. Asadi, A., De Villarreal, E. S. & Arazi, H. (2015). The effects of plyometric type neuromuscular training on postural control performance of male team basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29, 7, 1870–1875. doi: 10.1519/JSC.0000000000000832
5. Balaban, R., Mootha, V. & Arai, A. (1996). Spectroscopic Determination of Cytochrome c Oxidase Content in Tissues Containing Myoglobin or Hemoglobin. *Analytical Biochemistry*, 237, 274 – 278.
6. Bartuzi, P., Tokarski, T. & Roman – Liu, D. (2010). The effect of fatty tissue on EMG signal in young women. *Acta of Bioengineering and Biomechanichics*, 12, 2.
7. Blimkie, CJ, Sale, DG & Bar-Or, O. (1990). Voluntary strength, evoked twitch contractile properties and motor unit activation of knee extensors in obese and non-obese adolescent males. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 61,3–4, 313–318.
8. Boillot, A., Zoungas, S., Mitchell, P., Klein, R., Klein, B., Ikram, M. K., Klaver, C., Wang, J. J., Gopinath, B., Tai, E. S., Neubauer, A. S., Herceberg, S., Brazionis, L., Saw, S. M., Wong, T. Y., Czernichow, S., & META-EYE Study Group (2013). Obesity and the microvasculature: a systematic review and meta-analysis. *PLoS one*, 8(2), e52708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052708>
9. Bosco, C., Rusko, H. & Hirvonen, J. (1986). The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. *Med Science and Sports Exercice* 18, 415-419.
10. Boushel, R., Langberg, H., Olesen, J., Gonzales – Alonzo J., Bulow, J. & Kjaer, M. (2001). Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. *Scandinavian Journal of Medicine Science Sports*, 11, 213 – 222.
11. Cavaggioni, L., Gilardini, L., Croci, M., Roveda, E., Galasso, L. & Bertoli, S. (2025). Effects of Consurrrent Neuromuscular training on body composition, muscular fitness, and quality of life in outpatients with obesity: A Randomised Controlled trial. *Journal of Physical Activity and Health*, 22, 1106 – 1116.
12. Charakida, M., Masi, S., Luscher, T.F., Kastelein, J.J.P. & Deanfield, J.E. (2010). Assessment of atherosclerosis: the role of flow-mediated dilatation. *European heart journal*, 31(23), 2854–2861.
13. Contessa, P., Letizi, J., De Luca, C. & Kline, C. (2018). Contribution from motor unit firing adaptations and muscle coactivation during fatigue. *Journal Physiology*, 119, 2186 – 2193.



14. 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, 734 – 743.
15. De Luca, C.J., Chang, S.S., Roy, S.H., Kline, J.C & Nawab, S.H. (2015). Decomposition of surface EMG signals from cyclic dynamic contractions. *Journal of Neurophysiology*, 113, 1941-1951.
16. De Luca, C. & Klime, J. (2012). Influence of proprioceptive feedback on the firing rate and recruitment of motoneurons. *Journal of Neural Engineering*, 9 (1), 016007. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/9/1/016007>
17. De Luca, C. (2006). Electromyography. In J.G. Webster (Ed), *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation* (pp 98-109). Hoboken: John Wiley Publisher.
18. De Luca, C. & Hostage, E. (2010). Relationship between firing rate and recruitment threshold of motoneurons in voluntary isometric contractions. *Journals of Neurophysiology*, 104, 1034–1046.
19. De Luca, C., LeFever, R., McCue, M. & Xenakis A. (1982) Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *Journal of Physiology*, 329, 129–142.
20. DeFronzo, R. A., Ferrannini, E., Groop, L., Henry, R. R., Herman, W. H., Holst, J. J., Hu, F. B., Kahn, C. R., Raz, I., Shulman, G. I., Simonson, D. C., Testa, M. A., & Weiss, R. (2015). Type 2 diabetes mellitus. *Nature reviews. Disease primers*, 1, 15019. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.19>
21. Duan, X., Rhee, J., Mehta, R.K., & Srinivasan, D. (2018). Neuromuscular Control and Performance Differences Associated with gender and obesity in fatiguing tasks performed by older adults. *Frontiers in Physiology*, 9, 800.
22. Farina, D. & Rainoldi, A. (1999) Compensation of the effect of subcutaneous tissue layers on surface EMG: a simulation study, *Med Eng. Phys.*, 21, 6–7, 487–97.
23. Ferrari, M., Mottola, L. & Quaresima, V. (2004). Principles, techniques and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 463-487.
24. Frisbee, J. C., Goodwill, A. G., Frisbee, S. J., Butcher, J. T., Wu, F., & Chantler, P. D. (2016). Microvascular perfusion heterogeneity contributes to peripheral vascular disease in metabolic syndrome. *The Journal of physiology*, 594(8), 2233–2243. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.285247>
25. Garcia-Vicencio, S., Martin, V., Chalchat, E., Penailillo, L., Kluka, V., Fourot, A. V., Coudeyre, E., & Ratel, S. (2023). Sex-Related Neuromuscular Adaptations to Youth Obesity: Force, Muscle Mass, and Neural Issues. *Advances in experimental medicine and biology*, 1450, 131–142.. https://doi.org/10.1007/5584_2023_783
26. Garcia-Vicencio, S., Coudeyre, E., Kluka, V., Cardenoux, C., Jegu, A. G., Fourot, A. V., Ratel, S., & Martin, V. (2016) The bigger, the stronger? Insights from muscle architecture and nervous characteristics in obese adolescent girls. *International Journal of Obesity* 40, 2, 245–251. <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.158>



27. Gelfi, C, Vasso, M & Cerretelli, P. (2011) Diversity of human skeletal muscle in health and disease: contribution of proteomics. *Journal of Proteome* 74, 6, 774–795.
28. Gribble, P. A., Kelly, S. E., Refshauge, K. M., & Hiller, C. E. (2013). Interrater reliability of the star excursion balance test. *Journal of Athletic Training*, 48, 5, 621–626. doi:10.4085/1062-6050-48.3.03.
29. Gribble, P. A., Hertel, J., & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, 47,3, 339–357. doi:10.4085/1062-6050-47.3.08
30. 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>
31. Grundy, S.M., Brewer, H.B., Cleeman, J.I., Smith Jr, S.C. & Lenfant, C. (2004). Definition of metabolic syndrome: Report of the National Heart, Lung, and Blood Institute/American Heart Association conference on scientific issues related. *Circulation*, 109,3,433-8.
32. Guzmán-Muñoz, E., Sazo-Rodríguez, S., Concha-Cisternas, Y., Valdés-Badilla, P., Lira-Cea, C., Silva-Moya, G., Henríquez, R., Farias, T. Y., Cigarroa, I., Castillo-Retamal, M., & Méndez-Rebolledo, G. (2020). Four Weeks of Neuromuscular Training Improve Static and Dynamic Postural Control in Overweight and Obese Children: A Randomized Controlled Trial. *Journal of motor behavior*, 52(6), 761–769. <https://doi.org/10.1080/00222895.2019.1694486>
33. Hang, S., Xiaoyu, L., Jue, W., Yingli, L. & Li Z. (2025). Effects of Resistance training and aerobic training on improving the composition of middle – aged adults with obesity in an interventional study. *Scientific Reports*, 15.
34. Heinonen, I., Rinne, P., Ruohonen, S.T., Ruohonen, S., Ahotupa, M. & Savontaus, E. (2014). The effects of equal caloric high fat and wester diet on metabolic syndrome, oxidative stress and vascular endothelial function in mice. *Acta Physiol.* 211, 515 – 527.
35. Henneman, E., Somjen, G. & Carpenter, D. (1964). Functional Significance of Cell Size in Spinal Motoneurons. *Department of Physiology*, 2.
36. Hermens, H.J., Freriks, B., Merletti, R., Blok, J., Rau, G., Disselhorst – Klug, K. & Hagg, K. (1999). European Recommendations for Surface Electromyography. *SENIAM*, 8, 12.
37. Hermens, H., Freriks, B., Disselhorst – Klug, C. & Rau, G., 2000. Development of Recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10, 361 – 374.
38. Hodnett, B. & Hester, R. (2007). Regulation of Muscle Blood Flow in Obesity. *Microcirculation*, 14, 273 – 288.
39. Holloszy, J. (2005). Exercise – induced increase in muscle insulin sensitivity. *Journal Apply Physiology*, 99, 338 – 343. doi:10.1152/jappphysiol.00123.2005.



40. Holloway, G.P., Holwerda, A.M., Miotto, P.M., Dirks, M.L., Verdijk, L.B. & Van Loon L.J.C. (2018). *Age-Associated Impairments in Mitochondrial ADP Sensitivity Contribute to Redox Stress in Senescent Human Skeletal Muscle*. *Cell reports*, 22(11), 2837–2848. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2018.02.069>
41. Hotamisligil G, (2006). Inflammation and metabolic disorders. *Nature*, 444 (7121), 860 – 867.
42. Hung, Y. (2015). Neuromuscular control and rehabilitation of the unstable ankle. *World Journal of Orthopedics*, 6,5, 434. doi:10.5312/wjo. v6.i5.434.
43. McBride, J.M., Blaak, J.B. & McBride, T.T (2003). Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength and regional body composition. *European Journal Applied Physiology*, 90, 626 – 632. DOI 10.1007/s00421-003-0930-3.
44. Jones, S., Scott, T., Chaturvedi, N. & Hughes, A. (2016). Recent Developments in near -infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilize oxygen. *Artery Research*, 16, 25 – 33.
45. Jonk, A.M., Houben, J.H.M., de Jongh, R.T., Serne, R.T., Schaper, N.C. & Stehouwer C.D.A. (2007). Microvascular dysfunction in obesity: a potential mechanism in the pathogenesis of obesity – associated insulin resistance and hypertension. *Physiology*. 22, 252 -260.
46. Krzesinski, P., Stanczyk, A., Piotrowicz, K., Gielerak, G., Uzieblo – Zyczkowska, B. & Skrobowski, A. (2015). Left Ventricular Hemodynamic Function is associated with abdominal obesity in patients with arterial hypertension. *Journal Hypertension*, 33, 8, 23, 207.
47. Knudson, J., Dincer, D., Bratz, I., Sturek, M., Dick, G. & Tune J. (2007). Mechanism of Coronary Dysfunction in Obesity and Insulin Resistance. *Microcirculation*, 14, 317 – 338.
48. Kuiken, T.A., Lowery, M.M. & Stoykov, N.S (2003). The effect of subcutaneous fat on myoelectric signal amplitude and crosstalk, *Prosthet. Orthot. Int.*, 27, 1, 48–54.
49. Lopez, P., Taafe, D.R., Galvao, D.A., Newton, R.U., Nonemacher, E.R., Wendt, V.M., Bassanesi, R.N., Turella, D.J.P. & Rech, A. (2022). Resistance Training effectiveness on body composition and body weight outcomes in individuals with overweight and obesity across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, 23(5), e13428. <https://doi.org/10.1111/obr.13428>
50. Maffiuletti, N.A., Jubeau, M., Munzinger, U., Bizzini, M., Agosti, F., De Col A., La Fortuna, C.L. & Sartorio, A. (2007). Differences in quadriceps muscles strength and fatigue between lean and obese subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 101(1), 51–59. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0471-2>
51. Mancini, DM, Bolinger, L, Li H, Kendrick, K, Chance, B & Wilson, JR., (1994) Validation of near-infrared spectroscopy in humans. *Journal of Applied Physiology*, 77, 6, 2740 - 7.
52. McLay, K., Nederveen, J., Pogliaghi S., Patterson D. & Murias J. (2016). Repeatability of vascular responsiveness measures derived from near – infrared spectroscopy. *Phys. Rep.* 4.



53. Mendell, L. (2005). The size principle: a rule describing the recruitment of motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 93(6), 3024–3026. <https://doi.org/10.1152/classicessays.00025.2005>.
54. McLay, K., Gilbertson J., Pogliaghi S., Paterson D. & Murias J. (2016). Vascular Responsiveness measured by tissue oxygen saturation reperfusion slope is sensitive to deferent occlusion durations and training status. *Exp. Physiol.* 101, 1309 – 1318.
55. McNeil, C., Butler, J., Taylor, J. & Gardevia, S. (2013). Testing the excitability of human motoneurons. *Frontiers in Human Neuroscience*.
56. Muniyappa, R. Montagnani, M. Kon Koh, K. & Quon, M., (2007). Cardiovascular actions of insulin. *Endocr Rev.* 28, 5, 463 -91.
57. Narici, MV, Roi, GS, Landoni, L, Minetti, AE. & Cerretelli, P. (1989) Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology* 59, 4, 310–319.
58. Nawab, H.S., Chang, S.S & De Luca, C.J. (2010). High-yield decomposition of surface EMG signals. *Clinical Neurophysiology*, 121, 1602–1615.
59. Orssatto, L. B. R., Rodrigues, P., Mackay, K., Blazeovich, A. J., Borg, D. N., Souza, T. R., Sakugawa, R. L., Shield, A. J., & Trajano, G. S. (2023). Intrinsic motor neuron excitability is increased after resistance training in older adults. *Journal of neurophysiology*, 129(3), 635–650. <https://doi.org/10.1152/jn.00462.2022>.
60. Patel, S., Bellary, S., Karimzad, S. *et al.* Overweight status is associated with extensive signs of microvascular dysfunction and cardiovascular risk. *Sci Rep* 6, 32282 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep32282>
61. Peterka, R. J., & Loughlin, P. J. (2004). Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 91, 1, 410–423. doi:10.1152/jn.00516.2003.
62. Raynor, E. & Preston, D. (2003). *Electrophysiology: Nerve Conduction Studies and Electromyography. Office Practice of Neurology, 2nd Edition, Churchill Livingstone, ISBN - 978-0-443-06557-6.*
63. Satlier, A. & Kahn, R. (2001). Insulin signaling and the regulation of glucose and lipid metabolism. *Nature*, 414.
64. Soares, R., Reimer, R., Alenezi, Z., Doyle – Baker, P., & Murias, J., (2018). Near – Infrared spectroscopy can detect differences n vascular responsiveness to hyperglycaemic challenge in individuals with obesity compared to normal – weight individuals. *Diabetes and Vascular Disease Research* ,15,1.
65. Soares, R., Reimer, R. & Murias, J. (2017). Changes in vascular responsiveness during a hyperglycemia challenge measured by near – infrared spectroscopy vascular occlusion test. *Microvasc. Res.* 111, 67, 71.



66. Soares, R. N., McLay, K. M., George, M. A. & Murias, J. M. (2017). Differences in oxidative metabolism modulation induced by ischemia/reperfusion between trained and untrained individuals assessed by NIRS. *Physiological Reports*, 5, 19, doi: 10.14814/phy2.13384.
67. Stapleton, P., James, M., Goodwill, A. & Frisbee, J. (2008). *Obesity and vascular dysfunction. Pathophysiology*, 15, 79 – 89.
68. Stefanovic, F., Ramanarayanan, S., Karkera, N.U., Mujumbar, R., Mohana, P.S. & Hostler, D. (2022). Rate of change in longitudinal EMG indicates time course of an individual's neuromuscular adaptation in resistance – based muscle training. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*. DOI 10.3389/fresc.2022.981990.
69. Sun, S. S., Liang, R., Huang, T. T., Daniels, S. R., Arslanian, S., Liu, K., Grave, G. D., & Siervogel, R. M. (2008). Childhood obesity predicts adult metabolic syndrome: the Fels Longitudinal Study. *The Journal of pediatrics*, 152(2), 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2007.07.055>
70. Thoren, C, Seliger, V, Macek, M, Vavra, J. & Rutenfranz, J. (1973) The influence of training on physical fitness in healthy children and children with chronic diseases. In: Linneweh Current aspects of perinatology and physiology of children. Springer, Berlin Heidelberg New York, 83-112.
71. Timón, R., Ponce-González, J. G., González-Montesinos, J. L., Olcina, G., Pérez-Pérez, A., & Castro-Piñero, J. (2018). Inertial flywheel resistance training and muscle oxygen saturation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(11), 1618–1624. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07793-3>.
72. Willingham, T. B. & McCully, K. K. (2017). In vivo assessment of mitochondrial dysfunction in clinical populations using near-infrared spectroscopy. *Frontiers in Physiology*, 8, 689. doi: 10.3389/fphys.2017.00689.
73. Zebekakis, P. E., Nawrot, T., Thijs, L., Balkestein, E. J., van der Heijden-Spek, J., Van Bortel, L. M., Struijker-Boudier, H. A., Safar, M. E., & Staessen, J. A. (2005). Obesity is associated with increased arterial stiffness from adolescence until old age. *Journal of Hypertension* 23, 10, 1839-1846 .