



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΜΙΑΣ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην
«ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ»**

«Master of Science in Advanced Physiotherapy»

**«Διερεύνηση της απόκρισης αναπνευστικού και κυκλοφορικού
συστήματος κατά τη συστολή τετρακεφάλου μυός μέσω ΗΜΕ
και ενεργητικής σύσπασης σε υγιείς άνδρες μέσης ηλικίας»**

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Γενικό Τμήμα Λαμίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην «Προηγμένη Φυσικοθεραπεία»
από την

Παπαφιλίππου Ευαγγελία

Μάρτιος 2019

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΜΙΑΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην

«ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ»

«Master of Science in Advanced Physiotherapy»

«Διερεύνηση της απόκρισης αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά τη συστολή τετρακεφάλου μυός μέσω ΗΜΕ και ενεργητικής σύσπασης σε υγιείς άνδρες μέσης ηλικίας»

Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Γενικό Τμήμα Λαμίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην «Προηγμένη Φυσικοθεραπεία»
από την

Παπαφιλίππου Ευαγγελία

Δήλωση Αυθεντικότητας, ζητήματα Copyright

«Ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Μάρτιος 2019

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ.Ε.Σ. του ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδος, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του Π.Μ.Σ «Προηγμένη Φυσικοθεραπεία». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- Κορτιάνου Ελένη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)
- Παπαθανασίου Γεώργιος, Καθηγητής (Μέλος)
- Σπανός Σάββας, Επίκουρος Καθηγητής (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδος, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα».

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ηθική υποχρέωση να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Κορτιάνου Ελένη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσικοθεραπείας για την απόλυτα καθοριστική και πολύτιμη επαγγελματική και προσωπική καθοδήγηση και για την ανθρώπινη στήριξη και κατανόηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Βεβαίως, δεν πρέπει να λησμονήσω τον καθηγητή μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών κ. Σπανό Σάββα, Επίκουρο Καθηγητή για την καθοδήγηση και τη μετάδοση γνώσεων σχετικά με το μηχανισμό της παρούσας μελέτης.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, για τη θετική στάση που μου έδειξαν τα φιλικά και οικογενειακά πρόσωπα, που με προσπάθεια προσωπικό κόπο υπομονή και όρεξη συνέβαλαν σημαντικά στην πραγματοποίηση αυτής της μελέτης, δείχνοντας αμέριστη εμπιστοσύνη προς το πρόσωπο μου.

Επιθυμώ φυσικά να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και ιδιαίτερα στους γονείς μου Κωνσταντίνο και Αλεξάνδρα, για την πολύτιμη οικονομική και ηθική υποστήριξη τους όλο αυτό το διάστημα του Μεταπτυχιακού Προγράμματος των δύο χρόνων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	vii
	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	viii
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	x
	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xi
	ABSTRACT	xiii
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Τι είναι Ηλεκτρικός Μυϊκός Ερεθισμός (ΗΜΕ)	1
1.2	Η επίδραση της συστηματικής άσκησης στα οργανικά συστήματα	4
1.3	Επιπτώσεις Κλινοστατισμού	5
1.4	Επιπτώσεις Φυσικής Αδράνειας	7
1.5	Ο Ρόλος του ΗΜΕ στη Φυσικοθεραπεία	9
1.6	Προσδιορισμός του Ερευνητικού Προβλήματος	11
1.7	Σημασία της μελέτης	12
1.8	Σκοπός της μελέτης	13
1.9	Ερευνητικές Υποθέσεις	13
1.10	Οριοθέτηση μελέτης	14
2	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	16
2.1	Σύσπαση μέσω ΗΜΕ έναντι ενεργητικής συστολής του μυός	16
2.2	Βραχυπρόθεσμα οφέλη ΗΜΕ	17
2.3	Μακροπρόθεσμα οφέλη ΗΜΕ	19
2.4	Συστηματική άσκηση με ΗΜΕ	20
2.5	Μονή συνεδρία ΗΜΕ	23
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	27
3.1	Συμμετέχοντες	27
3.2	Ερευνητικός σχεδιασμός	27

3.3	Εργαλεία μέτρησης	28
3.4	Διαδικασία μετρήσεων	32
3.4.1	Αρχικές μετρήσεις	32
3.4.2	1 ^η συνθήκη άσκησης: Απόκριση αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά τη σύσπαση τετρακεφάλου μυός μέσω ΗΜΕ	33
3.4.3	2 ^η συνθήκη άσκησης: Απόκριση αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά τη σύσπαση τετρακεφάλου μυός μέσω εθελούσιας συστολής	35
3.5	Στατιστική Ανάλυση	36
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	37
4.1	Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά συμμετεχόντων και Φυσική Δραστηριότητα	37
4.2	Αποτελέσματα δύναμης τετρακεφάλου μυός	38
4.3	Αποτελέσματα έντασης ρεύματος, ανοχής στο ρεύμα και εύρους κίνησης	38
4.4	Αποτελέσματα απόκρισης αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος	39
5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	41
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
Πίνακας 4.1	Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά συμμετεχόντων και Φυσική Δραστηριότητα (Μέση τιμή ± Τυπική Απόκλιση)	37
Πίνακας 4.2	Αποτελέσματα ποσοστού δύναμης κατά τις δύο Συνθήκες Άσκησης (Μέση Τιμή ± Τυπική Απόκλιση)	38
Πίνακας 4.3	Αποτελέσματα μέγιστης έντασης ρεύματος, ανοχής στο ρεύμα και εύρους κίνησης κατά τις Συνθήκες Άσκησης (Σ_1 , Σ_2) (Μέση Τιμή ± Τυπική Απόκλιση)	39
Πίνακας 4.4	Αποτελέσματα απόκρισης Αναπνευστικού και Κυκλοφορικού συστήματος σε συνθήκη Ηρεμίας και στις δύο συνθήκες άσκησης (Μέση τιμή ± Τυπική Απόκλιση)	40

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
Εικόνα 3.1	Τοποθέτηση ηλεκτροδίων ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ	32
Εικόνα 3.2	1 ^η συνθήκη άσκησης, εξοπλισμός	35

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΕΕ	Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο
ΔΑΠ	Διαστολική Αρτηριακή Πίεση
ΕΜ	Έμφραγμα Μυοκαρδίου
ΗΜΕ	Ηλεκτρικός Μυϊκός Ερεθισμός
ΣΚΠ	Σκλήρυνση Κατά Πλάκας
ΚΑ	Καρδιακή Ανεπάρκεια
ΚΙ	Κυστική Ίνωση
ΚΣ	Καρδιακή Συχνότητα
ΜΕΘ	Μονάδα Εντατικής Θεραπείας
ΣΑΠ	Συστολική Αρτηριακή Πίεση
ΣΚΠ	Σκλήρυνση Κατά Πλάκας
ΧΑΝ	Χρόνια Αναπνευστική Νόσος
ΧΑΠ	Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια
ΧΚΑ	Χρόνια Καρδιακή Ανεπάρκεια
ΧΝΑ	Χρόνια Νεφρική Ανεπάρκεια
ΑΤΡ	Τριφωσφορική Αδενοσίνη
BBS	Berg Balance Score – Κλίμακα Ισορροπίας Berg
BMI	Body Mass Index - Δείκτης Μάζας Σώματος
BF	Breathing Frequency - Αναπνευστική Συχνότητα
FEV₁	Βίαια εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1 ^ο δευτερόλεπτο
FEV₁/ FVC	Δείκτης Tiffeneau – Συνολικός όγκος αέρα που εκπνέεται ταχέως το 1 ^ο δευτερόλεπτο
FIM score	Functional Independence Measure – Κλίμακα Λειτουργικής Αυτονομίας
HGS	Hand Grip Strength – Δύναμη λαβής καρπού
HR	Heart Rate - Καρδιακή Συχνότητα
ICC	Intraclass Coefficient Correlation – Αξιοπιστία Εσωτερικής Συνοχής
IPAQ_Gr	International Physical Activity Questionnaire - Διεθνές Ερωτηματολόγιο Φυσικής Δραστηριότητας
MRC scale	Medical Research Council scale – Κλίμακα Ιατρικού Συμβουλίου (ταξινόμησης δύσπνοιας σε λειτουργικές δραστηριότητες)
NIRS	Near Infrared Spectroscopy – Υπέρυθη Φασματοσκοπία

O₂pulse	Oxygen Pulse - Οξυγόνο Παλμού
RER	Respiratory Exchange Ratio – Αναπνευστικό Πηλίκο
RNA	Ριβονουκλεϊκό οξύ
SGRQ	Saint George’s Respiratory Questionnaire– Ερωτηματολόγιο ποιότητας ζωής
SWT	Shuttle Walk Test - Παλίνδρομη Δρομική Δοκιμασία
TUG test	Timed Up and Go test – Δοκιμασία ταχείας έγερσης και βάδισης
VAS scale	Visual Analog Scale - Κλίμακα Οπτικής Ανατροφοδότησης
V_E	Minute Ventilation - Πνευμονικός Αερισμός
VO₂	Πρόσληψη Οξυγόνου
VO₂max	Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου
2MWT	2 Minute Walk Test - Δρομική Δοκιμασία 2 λεπτών βάδισης
6MWT	6 Minute Walk Test - Δρομική Δοκιμασία 6 λεπτών βάδισης
6mWT	6 meter Walk Test - Δρομική Δοκιμασία 6 μέτρων βάδισης
10m test	10 meter Test - Δρομική Δοκιμασία 10 μέτρων βάδισης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	Έγκριση Μελέτης	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	Έντυπο Πληροφόρησης	56
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	Έντυπο συναίνεσης μετά από πληροφόρηση	60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	Διεθνές Ερωτηματολόγιο Φυσικής Δραστηριότητας (IPAQ)	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	Κλίμακα Borg	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ	Πίνακας Κανονικής Κατανομής Μεταβλητών	66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Ηλεκτρικός Μυϊκός Ερεθισμός (HME) και η εκούσια μυϊκή συστολή χρησιμοποιούνται ευρέως στο χώρο της αποκατάστασης και ιδιαίτερα στη δυσλειτουργία των περιφερικών μυών, καθώς είναι τεκμηριωμένη η συμβολή τους στη βελτίωση της μυϊκής δύναμης και της λειτουργικότητας των υποβαλλομένων (Maffiuletti et al., 2013). Παρόλα αυτά, υπάρχουν ελάχιστες μελέτες που αναφέρονται στην απόκριση του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος κατά τη διάρκεια μιας μονής συνεδρίας χρήσης HME ή εκούσιας μυϊκής συστολής (Sillen et al., 2011). Σκοπός της παρούσας μελέτης, ήταν η διερεύνηση της απόκρισης παραμέτρων του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά την εφαρμογή HME έναντι της απόκρισης κατά την εθελούσια συστολή. Στη μελέτη συμμετείχαν δεκαπέντε υγιείς, μη καπνιστές, άνδρες μέσης ηλικίας 45-58 ετών (Μ.Ο.: 54±3 έτη), με φυσιολογικό δείκτη βάρους σώματος BMI (Μ.Ο.:25,7±2 Kg/m²) και μέτρια επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, όπως αξιολογήθηκε με το ερωτηματολόγιο IPAQ_Gr (Μ.Ο.: 2669±2414 MET.min.wk⁻¹), οι οποίοι πραγματοποίησαν την ίδια ημέρα δύο συνεδρίες διάρκειας είκοσι λεπτών εκάστη για σύσπαση τετρακεφάλου μυός μέσω HME (Σ₁) και σύσπαση μέσω εθελούσιας συστολής (Σ₂). Και στις δύο συνεδρίες το μέγεθος της παραγόμενης δύναμης σύσπασης ήταν παρόμοιο. Το ισοκινητικό δυναμόμετρο BIODEX III χρησιμοποιήθηκε για την εξασφάλιση παρόμοιας έντασης παραγόμενης δύναμης κατά τη σύσπαση στις δύο συνθήκες (Σ₁, Σ₂), καθώς και για την εκτίμηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης του μυός. Το φορητό σύστημα εργομετρίας METAMAX IIIB χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της απόκρισης των αναπνευστικών, μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων στις δύο συνθήκες. Η ένταση του ρεύματος ήταν η μέγιστη ανεκτή για όλους τους εξεταζόμενους (Μ.Ο.: 39±8,5 mA), σε κάθε σύσπαση ή οποία διαρκούσε δέκα δευτερόλεπτα και ακολουθούσε διάλειμμα είκοσι δευτερολέπτων. Μικρό ποσοστό της μέγιστης ισομετρικής δύναμης (Σ₁:5,4% έναντι Σ₂:5,7%) προκλήθηκε κατά τις δύο συνθήκες. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι μέσες τιμές για τον κατά λεπτό πνευμονικό αερισμό, V_E (Σ₁:10,8L έναντι Σ₂:10,6L), τον αναπνεύσιμο όγκο αέρα, V_T (Σ₁:0,6L έναντι Σ₂:0,5L), την πρόσληψη οξυγόνου, VO₂ (Σ₁:0,27 L/min έναντι Σ₂:0,27 L/min), το οξυγόνου παλμού, O₂pulse (Σ₁:3.9 ml/παλμό έναντι Σ₂:4 ml/παλμό) και την καρδιακή συχνότητα (Σ₁:68 παλμοί έναντι Σ₂:67 παλμοί) δεν διέφεραν μεταξύ των δύο συνθηκών (p≤0.05). Συμπερασματικά, η εφαρμογή HME στον τετρακέφαλο μυ, προκαλεί παρόμοιες αναπνευστικές και μεταβολικές αποκρίσεις συγκριτικά με την ίδιας έντασης εκούσια μυϊκή συστολή. Τα ευρήματα έχουν αξία στην

αξιολόγηση της καταλληλότητας του ΗΜΕ ως εναλλακτική μορφή αποκατάστασης σε ενήλικες με αναπνευστικούς περιορισμούς.

Λέξεις Κλειδιά: Ηλεκτρικός μυϊκός ερεθισμός, τετρακέφαλος μυς, μυϊκή αδυναμία, μυϊκή ατροφία, απόκριση αναπνευστικού, απόκριση κυκλοφορικού, συσκευή εργοσπιρομετρίας.

ABSTRACT

Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) and voluntary muscle contraction are both acceptable rehabilitative modalities in peripheral muscle dysfunction. Nevertheless, limited data are available regarding respiratory, metabolic and cardiac responses during NMES sessions. The purpose of the present study was to compare prospectively respiratory, metabolic, and cardiac parameters during a single session of quadriceps muscle contraction (QMC) using either NMES (NMES) or voluntary contraction (VC), with comparable generated muscle force. Fifteen sedentary, non-smoker, healthy, middle aged males 45-58 years (mean: 54 ± 3 years), with normal BMI (mean: 25.7 ± 2 Kg/m²) and medium physical activity, as it was assessed by IPAQ_Gr questionnaire (mean: 2669 ± 2414 MET.min.wk⁻¹), underwent two 20-min sessions of comparable QMC using NMES vs. VC. The BIODEX III isokinetic dynamometer was used to assess max isometric force and the comparable force generated during each condition (NMES vs. VC), while the METAMAX 3B portable metabolic system was used to measure respiratory, metabolic and cardiac parameters. Furthermore, tolerable NMES was used (mean: 39 ± 8.5 mA) and each contraction lasted 10 sec followed by 20 sec interval. Moreover, a relatively low proportion of max isometric force (NMES: 5.4% vs. VC: 5.7%) were generated during each session. The results of the study showed that, mean minute ventilation, V_E (NMES: 10.8L vs. VC: 10.6L), tidal volume, TV (NMES: 0.6L vs. VC: 0.5L), O₂ uptake, VO_2 (NMES: 0.2 L/min vs. VC: 0.3 L/min), O₂ pulse (NMES: 3.9 ml/beat vs. VC: 4 ml/beat) ($p \leq 0.05$) and heart rate, HR (NMES: 69 beats/min vs. VC: 68 beats/min) weren't different between sessions. In conclusion, quadriceps muscle NMES induces similar respiratory, metabolic and cardiac responses compared to those induced with low voluntary muscle contraction. These findings should be kept in mind when NMES is suggested as an alternative rehabilitative modality in adults with respiratory limitations.

Key Words: NMES, electrical stimulation, quadriceps muscle, muscle atrophy, muscle weakness, walking ability, cardio respiratory system, ergospirometry.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΜΥΙΚΟΣ ΕΡΕΘΙΣΜΟΣ (ΗΜΕ)

Ορισμός

Ο Ηλεκτρικός Μυϊκός Ερεθισμός (ΗΜΕ), χρησιμοποιεί μορφές ρεύματος που επιδρούν διαδερμικά στο σκελετικό μυ με σκοπό την ενεργοποίηση και σύσπαση του, χωρίς απαραίτητα να προϋποτίθεται η εκούσια κίνηση των μελών του σώματος (Doucet et al., 2012). Έτσι επιτυγχάνεται άσκηση του μυός, μέσω της χρήσης ηλεκτροδίων και συγκεκριμένων παραμέτρων ρύθμισης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Η άσκηση είναι σημαντική τόσο για υγιείς όσο και για πάσχοντες πληθυσμούς. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η βαρύτητα μίας νόσου, εμποδίζει τους πάσχοντες να συμμετέχουν σε πρόγραμμα αποκατάστασης με εκούσια κίνηση (Booth et al., 2017). Ενδεχομένως, τα άτομα αυτά να μπορούσαν να ωφεληθούν από προγράμματα αποκατάστασης με εναλλακτικό ή και συμπληρωματικό μέσο τον ΗΜΕ.

Παράμετροι ΗΜΕ

Οι συσκευές ΗΜΕ διαθέτουν ποικίλες παραμέτρους μορφών ηλεκτρικού ρεύματος και πιο συγκεκριμένα διακρίνονται από τα εξής:

A. Η ένταση, μετριέται σε mA και σχετίζεται με τον αριθμό των μυϊκών ομάδων που θα ενεργοποιηθούν. Η ρυθμιζόμενη ποσότητα, πρέπει να είναι τόση ώστε να εκπολώσει την κυτταρική μεμβράνη, η οποία ακολουθεί το νόμο του «όλον ή ουδέν» και να προκαλέσει έτσι ενεργοποίηση των κινητικών μονάδων που είναι απομακρυσμένες από τα σημεία ερεθισμού του ΗΜΕ. Οι συνήθεις συσκευές ΗΜΕ, παρέχουν ρεύμα έντασης 0–120 mA. Η ένταση, επιλέγεται με βάση την ανοχή του υποβαλλόμενου και αναπροσαρμόζεται κατά τη διάρκεια της συνεδρίας, καθώς ο μυς προσαρμόζεται στην αίσθηση του ρεύματος (Vivodtzev et al., 2006).

B. Η συχνότητα, είναι ο αριθμός των ώσεων ανά δευτερόλεπτο με μονάδα μέτρησης τα Hz. Τα υπάρχοντα ρεύματα κυμαίνονται μεταξύ 10Hz και 200Hz. Τα ρεύματα χαμηλής συχνότητας (10-40Hz), προκαλούν αιφνίδιες και όχι έντονες συσπάσεις του μυός, καθώς ο μυς χαλαρώνει στο μεσοδιάστημα των ώσεων. Έτσι ερεθίζουν κατά κύριο λόγο τις

οξειδωτικές μυϊκές ίνες (τύπου I). Τα ρεύματα υψηλής συχνότητας (60 και άνω Hz), προκαλούν συχνότερες συσπάσεις μην αφήνοντας το μυ να χαλαρώσει, οδηγώντας έτσι σε τετανική συστολή (συνεχή συστολή). Με αυτό τον τρόπο, ερεθίζουν περισσότερο τις γλυκολυτικές μυϊκές ίνες (τύπου II), στοχεύοντας στην αύξηση της μυϊκής ισχύος (Dal Corso et al., 2007).

Γ. Η διάρκεια παλμού/ ώσης, αφορά στο χρονικό διάστημα που το ρεύμα διαχέεται στο μυ και δέχεται τιμές μεταξύ 0,1 και 2 msec (Watson, 2011).

Δ. Η διάρκεια σύσπασης (παλμοσειρά), η οποία περιέχει χρόνο ανόδου και χρόνο καθόδου. Αυτοί οι χρόνοι, αντιστοιχούν στο διάστημα που μεσολαβεί από την έναρξη των ώσεων μέχρι την μέγιστη ένταση σύσπασης και έως τη λήξη των ώσεων στο μυ. Όταν αυτοί οι χρόνοι είναι μεγάλοι, τότε πιθανώς, να περιορίζεται η δυσανεξία του υποβαλλόμενου και να επιτυγχάνεται μια πιο φυσιολογική σύσπαση, με την επιστράτευση όσο το δυνατόν περισσότερων μυϊκών ινών (Dal Corso et al., 2007).

Ε. Ο κύκλος λειτουργίας, είναι ένας κύκλος “σύσπασης- χαλάρωσης”, ώστε να εξασφαλιστούν μεσοδιαστήματα χαλάρωσης του μυός, για να μην επέλθει δυσανεξία του υποβαλλόμενου. Στη φάση “σύσπασης”, μια σειρά ώσεων διοχετεύεται στο μυ, προκαλώντας ορατές συσπάσεις, ενώ στη φάση “χαλάρωσης”, ο μυς δε δέχεται εντολή και χαλαρώνει (Watson, 2011).

ΣΤ. Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο δέρμα, γίνεται κατά μήκος του κινητικού νευρώνα, με σκοπό την ενεργοποίηση της τελικής κινητικής πλάκας του μυός προς άσκηση. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η πιθανότητα ερεθισμού του κινητικού νεύρου ή του μυός, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ανοχή του υποβαλλόμενου στο ερέθισμα του ρεύματος και πρόκληση επιθυμητής έντασης σύσπασης του μυός (Ibitoye et al., 2016).

Ζ. Η επιλογή μεγέθους ηλεκτροδίων, είναι στοιχείο που σχετίζεται άμεσα τόσο με το μέγεθος του επιλεγόμενου μυός όσο και με την υπάρχουσα ποσότητα υποδόριου λίπους στο προς άσκηση μέλος. Στην πρώτη περίπτωση, η χρήση πολύ μικρών ηλεκτροδίων προκαλεί δίοδο μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος και ενδεχόμενη δυσανεξία του ασθενούς, ενώ πολύ μεγάλα ηλεκτρόδια μπορεί να προκαλέσουν διέγερση των ανταγωνιστών μυών. Στη δεύτερη περίπτωση, ο υπολογισμός της ποσότητας υποδόριου λίπους στο σημείο εφαρμογής των ηλεκτροδίων, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς όσο περισσότερη είναι η ποσότητα λίπους, τόσο πιο πιθανό είναι να μειώνει τη δυνατότητα μετάδοσης του ηλεκτρικού ρεύματος, γεγονός που εμποδίζει την ορατή σύσπαση του μυός (Doucet et al., 2012).

Κίνδυνοι και αντενδείξεις ΗΜΕ

Ο ΗΜΕ είναι μία ηλεκτρική συσκευή, επομένως προτείνεται να πραγματοποιείται τακτική συντήρηση από μηχανικούς. Ο θεραπευτής πρέπει να έχει πλήρη γνώση των τύπων ρεύματος που εφαρμόζει και να πραγματοποιείται συστηματικός έλεγχος της κατάστασης των ηλεκτροδίων, ώστε να βρίσκονται στην κατάλληλη κατάσταση και να ενδείκνυνται για χρήση. Ο πόνος και ο τοπικός ερεθισμός του δέρματος, ίσως θεωρηθεί κίνδυνος και λόγος διακοπής της εφαρμογής ΗΜΕ, όμως μπορεί να περιοριστεί μέσω της εξοικείωσης της αίσθησης ρεύματος στο μυ με προοδευτική αύξηση έντασης (Silva et al., 2017).

Οι αντενδείξεις, αφορούν περιπτώσεις αποφυγής τραυματισμού και πιθανής επιπλοκής. Συγκεκριμένα, ο ΗΜΕ αντενδείκνυται σε περιπτώσεις εγκυμοσύνης, όγκων, λύσης του δέρματος και μολυσματικών περιοχών. Τα εμφυτευμένα μέταλλα, δεν αποτελούν αντένδειξη, καθώς εμφανίζουν υψηλότερη αγωγιμότητα από τον υποδόριο ιστό, μην επηρεάζοντας την πορεία του ρεύματος (Robertson V., 2011).

Μορφές ΗΜΕ

Ο Μυϊκός Ηλεκτρικός Ερεθισμός (ΗΜΕ) έχει ως στόχο τον ερεθισμό της μυϊκής ομάδας, με αποτέλεσμα τη σύσπαση των μυών, είτε ισομετρικά είτε ισοτονικά. Όταν αυτό πραγματοποιηθεί σε συνδυασμό με λειτουργικό έργο, όπως είναι η βάδιση, η ποδηλασία κ.α., χαρακτηρίζεται ως λειτουργικός ηλεκτρικός ερεθισμός (Functional Electrical Stimulation, FES).

Η κυριότερη χρήση του FES συναντάται σε περιπτώσεις όπου η εκούσια κίνηση του μέλους δεν είναι εφικτή, όπως σε πληθυσμούς με παθολογία που προκύπτουν από βλάβες του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ), χωρίς όμως να υπάρχει βλάβη στο περιφερικό νευρικό σύστημα, ώστε ο ηλεκτρικός ερεθισμός να μπορεί να εφαρμοστεί κανονικά (Porovic, 2014). Συγκεκριμένα, εμφανίζεται ως μέσο αποκατάστασης άνω και κάτω άκρου σε ασθενείς με αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο (ΑΕΕ) (Fujiwara et al., 2017), σε παιδιά με εγκεφαλική παράλυση ως βοήθημα βάδισης ή εκπαίδευση χρήσης του άνω άκρου (Khamis et al., 2018), σε αποτροπή ή μείωση βλάβης ιπποπόδιας λόγω βλάβης του ΚΝΣ (Porovic, 2014), σε αποτροπή της πτώσης άκρου ποδός (drop foot) σε ημιπληγία (Lee et al., 2016) και σε Σκλήρυνση Κατά Πλάκας (Downing et al., 2014), αλλά και σε επανεκπαίδευση βάδισης και κινητικότητας σε περίπτωση παθολογίας Κάκωσης Νωτιαίου Μυελού (Carty et al., 2012).

Οφέλη

Η εφαρμογή ΗΜΕ, ως εναλλακτική μορφή άσκησης ωφελεί σκελετικούς μύες υγιών δραστήριων ατόμων, ακόμη και αθλητών, ενισχύοντας τη μυϊκή δύναμη και παρέχοντας γρηγορότερη αποθεραπεία (Taylor et al., 2015). Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και ως συνδυαστική θεραπευτική παρέμβαση, αυξάνοντας το χρόνο αντοχής στην άσκηση, όταν ο υποβαλλόμενος ενδεχομένως κοπώνεται από τις επαναληπτικές ενεργητικές ασκήσεις (Crognale et al., 2013).

Βεβαίως ο ΗΜΕ είναι ωφέλιμος και σε άτομα μη υγιή, που πάσχουν από κάποια χρόνια ή οξεία νόσο και αδυνατούν να συμμετάσχουν σε πρόγραμμα αποκατάστασης. Η χρήση του ΗΜΕ, είτε ως εναλλακτική μορφή άσκησης, είτε συμπληρωματικά ως μέσο σύσπασης των επιλεγόμενων μυϊκών ομάδων, αυξάνει τη φλεβική επιστροφή του μέλους και επιδρά στη βελτίωση της αιματικής ροής, ενισχύοντας την ιστική οξυγόνωση και το μεταβολισμό των περιφερικών μυών. Οι μεταβολές στην οξυγόνωση του μυός σε συνδυασμό με τη μυϊκή συστολή, ωφελούν τη μυϊκή μάζα και ενισχύουν τη μυϊκή δύναμη, με επερχόμενη βελτίωση της λειτουργικότητας, της ικανότητας βάδισης και της ισορροπίας (Groehs et al., 2016).

1.2. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε γενικά πλαίσια, η συστηματική άσκηση ανεξαρτήτου μορφής, είναι ένα είδος φυσικής δραστηριότητας, με σκοπό τη βελτίωση και/ή τη διατήρηση της καλής φυσικής κατάστασης και σωματικής υγείας. Το μυϊκό, αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα ανταποκρίνονται στην άσκηση, καθώς και σε λειτουργικές δοκιμασίες, ανάλογα με την επιλεγόμενη ένταση, τη διάρκεια και τη μορφή της άσκησης (Kachur et al., 2017).

Η συστηματική σωματική δραστηριότητα, είναι μία από τις θεραπευτικές παρεμβάσεις που συμβάλλουν στη βελτίωση της υγείας και στη μείωση εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων, αναπνευστικών νόσων, μυοσκελετικών δυσλειτουργιών και νευρολογικών ελλειμμάτων (Marzetti et al., 2017). Η συστηματική άσκηση επιδρά στη βελτίωση της δύναμης, της ισορροπίας και του νευρομυϊκού συντονισμού, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της πιθανότητας πρόκλησης πτώσεων και γενικότερα στη βελτίωση της ποιότητας ζωής κυρίως των ηλικιωμένων ατόμων (Jee and Kim, 2017). Εξίσου ωφέλιμη είναι η

συστηματική άσκηση στην αύξηση της μυϊκής μάζας, στην αύξηση του μεταβολισμού, στην καλύτερη ρύθμιση της γλυκόζης του αίματος (αύξηση της ευαισθησίας στην ινσουλίνη) και στη διατήρηση της οστικής πυκνότητας (Mason et al., 2007).

Όσο αυξάνεται ο ρυθμός ή η ένταση της άσκησης, τόσο αυξάνονται οι απαιτήσεις του οργανισμού σε οξυγόνο (Barbara Hoogenboom, 2016). Η ενεργειακή δαπάνη της μυϊκής συστολής, εξαρτάται από το επίπεδο έντασης της σωματικής άσκησης που εκτελείται και συσχετίζεται με το φύλο, την ηλικία, το βάρος και το καρδιακό ρυθμό του ατόμου που εκτελεί τη σωματική δραστηριότητα (Abadi et al., 2009).

1.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΝΟΣΤΑΤΙΣΜΟΥ

Μία μορφή άσκησης είναι ο ΗΜΕ, ο οποίος χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κλινοστατισμού, καθώς οι επιπτώσεις του κλινοστατισμού στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μέγιστης σημασίας, τόσο για τη λειτουργικότητα όσο και για τη συνολική υγεία του ατόμου. Ο μυς είναι ένα εύπλαστο όργανο, το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει αναβολικές και καταβολικές διεργασίες άμεσα. Στην περίπτωση ακινητοποίησης, αναγνωρίζει την κατάσταση ως παθολογική και άμεσα υπόκειται σε καταβολική διεργασία. Έτσι προκύπτουν συγκεκριμένες επιπτώσεις στο σκελετικό μυ λόγω της έλλειψης κίνησης. Συνοπτικά, παρουσιάζεται μείωση της μάζας, της δύναμης και της διατομής του μυός, της πρωτεϊνικής σύνθεσης, της πρόσληψης γλυκόζης και της αντίστασης στην ινσουλίνη, επειδή αυξάνεται ο πρωτεϊνικός καταβολισμός και μειώνεται η οξειδωτική ικανότητα του μυός (Booth et al., 2017).

A. Μυϊκή Μάζα και Μυϊκή Δύναμη

Κατά τον κλινοστατισμό, οι σημαντικότερες και κλινικά πιο αντιληπτές επιπτώσεις, είναι η μείωση μυϊκής μάζας και μυϊκής δύναμης των σκελετικών μυών, κάτι το οποίο οδηγεί άμεσα στην ανικανότητα λειτουργικότητας και αυτονομίας του ανθρώπου (Mercante et al., 2014). Η πλήρης απουσία της μυϊκής δραστηριότητας για μακρά περίοδο, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση έως και 15% της μυϊκής μάζας και έως 42% της μυϊκής δύναμης (English et al., 2015). Πέντε εβδομάδες ακινητοποίησης, οδηγούν σε απώλεια μέχρι και 12% της μυϊκής μάζας, όπως εκτιμάται με αξονική τομογραφία και μέχρι 20% απώλεια της μυϊκής ισχύος των μυών των κάτω άκρων (Berg et al., 2007). Σε περίπτωση υγιών

νέων, φαίνεται ότι σε εικοσιτέσσερις ημέρες κλινοστατισμού παρουσιάζεται έως και 2% απώλεια μυϊκής μάζας του σκελετικού μυός (Paddon-Jones et al., 2006), ενώ ταχύτερη είναι η μείωση μυϊκής μάζας υγιών ηλικιωμένων, με πάνω από 10% απώλεια σε δέκα ημέρες αδράνειας (Coker et al., 2015).

Ακόμη και μικρές περιόδους κλινοστατισμού, μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση μυϊκής μάζας και δύναμης των σκελετικών μυών. Συγκεκριμένα, σε υγιείς νέους φαίνεται ότι σε πέντε και σε δεκατέσσερις ημέρες ακινητοποίησης επί κλίνης, παρουσιάζεται μείωση μυϊκής μάζας και δύναμης σημαντικά μεγαλύτερη στις δεκατέσσερις ημέρες έναντι αυτών στις πέντε ημέρες. Παρότι η μείωση της μυϊκής μάζας και της μυϊκής δύναμης είναι εμφανής και στις δύο χρονικές περιόδους, στις δεκατέσσερις ημέρες κλινοστατισμού εμφανίζεται μείωση των μυϊκών ινών τύπου I, (γεγονός που δεν ήταν έκδηλο στις πρώτες πέντε ημέρες ακινητοποίησης), ενώ οι μυϊκές ίνες τύπου II δεν διαφοροποιούνται άμεσα στις δύο χρονικές περιόδους κλινοστατισμού (Wall et al., 2014).

B. Μυϊκή Διατομή και Πρωτεϊνική Σύνθεση μυών

Σε μία παθολογική κατάσταση όπως αυτή του κλινοστατισμού, αυξάνεται η ενέργεια του καταβολισμού. Η παραγωγή και η συντήρηση της μυϊκής μάζας, εξαρτώνται από την ισορροπία μεταξύ αναβολισμού και καταβολισμού της πρωτεΐνης. Η μείωση της σύνθεσης πρωτεϊνών στο μυ και η μείωση της διατομής του μυός, ιδιαίτερα στα κάτω άκρα, εμφανίζεται τις πρώτες 48 ώρες παρατεταμένης ακινησίας του σώματος (Langen et al., 2013). Ο κλινοστατισμός προκαλεί ταχεία μείωση πρωτεϊνικής σύνθεσης στο σκελετικό μυ, από την πρώτη ημέρα ακινητοποίησης, μέχρι και 28 ημέρες συνεχόμενου κλινοστατισμού (Paddon-Jones et al., 2006). Σε μία μελέτη των Puthucheary και συνεργατών, φάνηκε ότι σε μεσήλικες άνδρες που βρίσκονται σε κλινοστατισμό για διάστημα δέκα ημερών, μειώνεται σημαντικά η πρωτεϊνική σύνθεση των περιφερικών μυών και ιδιαίτερα των μυών του κάτω άκρου, καθώς επίσης επέρχεται προοδευτική μείωση έως και 18% της διατομής του τετρακεφάλου μυός (Cross sectional area, CSA) (Puthucheary et al., 2013). Αυτή η μείωση της πρωτεϊνικής σύνθεσης, είναι υπεύθυνη και για την περιορισμένη ικανότητα συσταλτικότητας του μυός (Crossland et al., 2018), οδηγώντας το μυ σε μείωση του εμβαδού διατομής του και σε αύξηση καταβολισμού του μυϊκού συστήματος (Coker et al., 2015).

Γ. Μυοπάθεια

Επίσης, σημαντική επίπτωση του κλινοστατισμού είναι η εμφάνιση μυοπάθειας, μία κλινική κατάσταση που εμφανίζεται κυρίως στο χώρο της Μονάδας Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) και προκαλείται λόγω μείωσης της αναλογίας μυοσίνης – ακτίνης στο μυ, οδηγώντας σε ανικανότητα σύσπασης των μυϊκών ομάδων. Σε ασθενείς στη ΜΕΘ οι οποίοι είτε βρίσκονται σε πλήρη κλινοστατισμό, είτε βρίσκονται επί κλίνης και εκτελούν οποιαδήποτε άσκηση μόνο στο υγιές κάτω άκρο, τα επίπεδα μυοσίνης - ακτίνης μειώνονται σε σημαντικά μεγάλο βαθμό συγκριτικά με τους υγιείς αντίστοιχης ηλικίας. Με αυτό τον τρόπο επέρχεται η αδυναμία του ατόμου μετά από κλινοστατισμό να εκτελέσει ενεργητική συστολή των μυών, γεγονός που τον καθιστά κλινήρη και μη λειτουργικό για μεγάλο χρονικό διάστημα (Llano-Diez et al., 2012).

1.4. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ

Η φυσική αδράνεια θεωρείται τέταρτη αιτία θνησιμότητας παγκοσμίως, καθιστώντας την υπεύθυνη για το έξι τις εκατό των θανάτων ετησίως (Lee et al., 2012a). Αυτό συμβαίνει, καθώς η απουσία συστηματικής άσκησης συμβάλλει καθοριστικά στην έκπτωση των παραμέτρων της φυσικής κατάστασης, με αποτέλεσμα την πτωχή καρδιοαναπνευστική λειτουργική ικανότητα, τη μειωμένη μυϊκή δύναμη και αντοχή και την περιορισμένη λειτουργικότητα (Booth et al., 2017). Γι αυτούς του λόγους, η φυσική αδράνεια θεωρείται αίτιο πρόκλησης πολλών χρόνιων παθήσεων. Συγκεκριμένα, κρίνεται ένα από τα κυριότερα αίτια για μυϊκές δυσλειτουργίες, όπως είναι η οστεοπόρωση, η οστεοαρθρίτιδα, η σαρκοπενία, η πρόκληση κατάγματος λόγω πτώσεων, αλλά και η ελλιπής ισορροπία. Εξίσου υπεύθυνη κρίνεται για δυσλειτουργίες του καρδιαγγειακού συστήματος, όπως η καρδιακή ανεπάρκεια, το έμφραγμα μυοκαρδίου, η υπέρταση, η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία, η αθηροσκλήρωση, η περιφερική αρτηριακή νόσος και η φλεβική θρόμβωση. Εμφανίζεται ως αίτιο και σε άλλες μορφές χρόνιων νοσημάτων, όπως μεταβολικά σύνδρομα, διαβήτης τύπου II, ρευματοειδή αρθρίτιδα και παχυσαρκία (Booth et al., 2017).

A. Φυσική Αδράνεια και Μυϊκό Σύστημα

Σε μία μελέτη, αναφέρεται ότι η σύνθεση πρωτεϊνών στον ανθρώπινο μυ, μειώνεται χωρίς να υπάρχει αναγκαστικά παθολογικό αίτιο σωματικής αδράνειας. Για αυτό το λόγο, σημαντική μείωση επέρχεται στα ποσοστά πρωτεϊνικής σύνθεσης στον τετρακέφαλο μυ, κατά 27%, 25% και 23% μετά από 14 ημέρες, 37 ημέρες και 42 ημέρες ακινητοποίησης, αντίστοιχα (Phillips et al., 2009). Σε μια άλλη μελέτη διαπιστώθηκε μείωση πρωτεϊνικής σύνθεσης κατά 50% στο μηριαίο έξω πλατύ μυ ανδρών μετά από 14 ημέρες ακινησίας επί κλίνης, ποσοστό που αιτιολογήθηκε λόγω της καταστολής σύνθεσης μυϊκών πρωτεϊνών στα κάτω άκρα τις πρώτες δύο έως τέσσερις ημέρες κλινοστατισμού (Wall et al., 2013). Καταγράφεται επίσης, ότι μέσω της μείωσης αριθμού βημάτων για δύο εβδομάδες (1413 βήματα/ ημέρα), τα ποσοστά σύνθεσης μυϊκών πρωτεϊνών εξασθενούν κατά 26%, και η ευαισθησία στην ινσουλίνη μειώνεται κατά 43% (Ferrucci et al., 2016).

B. Φυσική Αδράνεια και Αναπνευστικό Σύστημα

Η σωματική αδράνεια οδηγεί σε μείωση της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, αυξάνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης πολλών χρόνιων παθήσεων. Συγκεκριμένα, καταγράφεται ότι είκοσι ημέρες σωματικής αδράνειας για υγιείς άνδρες είκοσι ετών, επέφεραν μείωση κατά 28% στη VO₂max και μείωση κατά 26% στη μέγιστη καρδιακή παροχή (McGuire et al., 2001). Υπολογίζεται, ότι η μείωση κάθε 1-MET στο πρόγραμμα καρδιοαναπνευστικής άσκησης, συσχετίζεται με την εμφάνιση υπέρτασης κατά 19%, 16% και 32% σε όλα τα άτομα, στους άνδρες και στις γυναίκες, αντίστοιχα (Bauman et al., 2016).

Γ. Φυσική Αδράνεια και Καρδιαγγειακό Σύστημα

Κατά τη διάρκεια σωματικής άσκησης, το έντονο στρες και τα αιμοδυναμικά ερεθίσματα προκαλούν επιδράσεις και αναδιαμόρφωση των αγγείων, βελτιώνοντας τη λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος. Αντίθετα, κατά τη φυσική αδράνεια, η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία και η αρτηριακή αναδιαμόρφωση, παρουσιάζουν αρνητικές εκδηλώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα (Thijssen et al., 2010). Οι Mora και συνεργάτες, σημείωσαν ότι τα άτομα με φυσική αδράνεια αποτελούν το 60% του κινδύνου ανάπτυξης καρδιαγγειακών παθήσεων (Mora et al., 2007). Ο Joyner και ο Green, προτείνουν ότι ο κίνδυνος εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου προκαλείται λόγω της εξασθένησης τριών φυσιολογικών αποκρίσεων: Πρώτον, χαμηλότερος πνευμονικός τόνος, που οδηγεί σε αύξηση της μεταβλητότητας του καρδιακού ρυθμού μέσω της μειωμένης λειτουργίας περιφερειακού

baroreflex και της καρδιαγγειακής ρύθμισης του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ). Δεύτερον, χαμηλότερη ενδοθηλιακή λειτουργία, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα περιορισμού της αγγειοδιαστολής και να εξασθενούν περιφερειακά οι baroreflexes. Τρίτον, αυξημένη δράση του συμπαθητικού συστήματος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ ενδοθηλιακής λειτουργίας και συμπαθητικής εκροής (Joyner and Green, 2009).

1.5. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΗΜΕ ΣΤΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Οι επιδράσεις του ΗΜΕ, τοπικές και συστηματικές, βρίσκουν εφαρμογή στην φυσικοθεραπευτική κλινική πράξη. Ο ΗΜΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες περιπτώσεις τόσο υγιών μυών προς άσκηση, όσο και μη υγιών μυών με μειωμένη αιματική ροή, μη φυσιολογική φλεβική επιστροφή, χωλότητα ή παρουσία οιδήματος, θρόμβωσης και γενικής δυσλειτουργίας (Broderick et al., 2013).

Ο ΗΜΕ είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος στο χώρο της αποκατάστασης, είτε με μορφή συμπληρωματικής άσκησης, είτε ως εναλλακτική μορφή προπόνησης. Είναι χρήσιμος σε περιπτώσεις κινητικής δυσλειτουργίας, λόγω τραυματισμού ή νευρολογικής πάθησης (Springer and Khamis, 2017), σε περιπτώσεις ατόμων που δεν έχουν τη δυνατότητα να ακολουθήσουν κάποιο ομαδικό ή ατομικό πρόγραμμα άσκησης, όπως είναι περιπτώσεις χρόνιων αναπνευστικών (Vieira et al., 2014) και καρδιαγγειακών παθήσεων (Gomes Neto et al., 2016). Επομένως, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα εργαλείο που προωθεί ενεργητική άσκηση σε περιπτώσεις ασθενών που χρειάζονται αυτή την ενίσχυση, αλλά διευκολύνει και τους επαγγελματίες υγείας να ενισχύσουν και να εμπλουτίσουν το προτεινόμενο πρόγραμμα αποκατάστασης. Ο ΗΜΕ εμφανίζεται στο χώρο της αποκατάστασης είτε ως συστηματική άσκηση με αρκετές συνεδρίες παρέμβασης, είτε με μία μονή συνεδρία άσκησης.

A. Συστηματική άσκηση με ΗΜΕ

Ο ΗΜΕ είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος στο χώρο της αποκατάστασης και ιδιαίτερα τις δύο τελευταίες δεκαετίες, τόσο σε υγιείς πληθυσμούς, όσο και σε μυοσκελετικές και αναπνευστικές παθήσεις. Αρκετές μελέτες έχουν αναλύσει την επίδραση του στον

ανθρώπινο οργανισμό, καθώς φαίνεται ότι η συστηματική άσκηση με ΗΜΕ συμβάλει στη βελτίωση παραμέτρων του μυϊκού και καρδιαγγειακού συστήματος.

Ο ΗΜΕ παρατηρείται αρκετά συχνά ως μία από τις κύριες μεθόδους προγράμματος άσκησης, τόσο σε ομάδες υγιών και αθλητών (ως άμεση αποκατάσταση) (Taylor et al., 2015), όσο και σε μυοσκελετικές κακώσεις, όπως είναι η αποκατάσταση μετά από χειρουργείο στον πρόσθιο χιαστό σύνδεσμο (Lepley et al., 2015), αλλά και μετά από χειρουργείο ολικής αρθροπλαστικής ισχίου (Gremeaux et al., 2008). Επίσης, χρησιμοποιείται ως μέσο αποκατάστασης σε περιπτώσεις χρόνιων μυοσκελετικών παθήσεων, όπως είναι αυτή της οστεοαρθρίτιδας γόνατος (Laufer et al., 2014) ή στη ρευματοειδή αρθρίτιδα (Piva et al., 2018), καθώς επίσης και σε ομάδες ηλικιωμένων ατόμων για την πρόληψη πτώσεων και τη βελτίωση της ισορροπίας (Langeard et al., 2017). Μία μορφή του ΗΜΕ, ο λειτουργικός ηλεκτρικός ερεθισμός (FES), επιλέγεται ως μορφή συστηματικής προπόνησης σε νευρολογικές παθήσεις Αγγειακού Εγκεφαλικού Επεισοδίου (ΑΕΕ) (Downing and Balady, 2011), Σκλήρυνσης Κατά Πλάκας (ΣΚΠ) (Springer and Khamis, 2017) και Κάκωσης Νωτιαίου Μυελού (ΚΝΜ) (Carty et al., 2012). Η εμφάνιση του ΗΜΕ δεν λείπει και από προγράμματα πνευμονικής αποκατάστασης, στα οποία συμμετέχουν είτε χρόνιες παθήσεις αναπνευστικού συστήματος (Vieira et al., 2014), είτε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια (ΧΚΑ) (Gomes Neto et al., 2016).

B. Μονή συνεδρία άσκησης με ΗΜΕ

Στο παρελθόν, έχει πραγματοποιηθεί μικρός αριθμός μελετών (επτά στο σύνολο), βασισμένων σε μία μονή συνεδρία ΗΜΕ, με ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρικών παραμέτρων και επιλεγόμενων μυϊκών ομάδων. Σε κάθε μία από αυτές, καταγράφεται η απόκριση τόσο του μυϊκού συστήματος όσο και του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος, σε υγιή και μη πληθυσμό.

Οι μελέτες αυτές χρησιμοποιούν παραμέτρους ΗΜΕ, με ένταση από 40 έως 100 mA ή όπως αναφέρεται στις περισσότερες έρευνες την μέγιστη ανεκτή ένταση, με συχνότητα ρευμάτων χαμηλή (15Hz) έως και υψηλή (75Hz), με χρόνο συνεδρίας από έξι έως και τριάντα λεπτά, με τις περισσότερες να επιλέγουν την μισή ώρα άσκησης και επιλεγόμενες μυϊκές ομάδες τον τετρακέφαλο μυ, το μείζων γλουτιαίο, το γαστροκνήμιο και τον πρόσθιο κνημιαίο μυ. Συγκεκριμένα, δύο μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε υγιή πληθυσμό, με μία μονή συνεδρία άσκησης με ΗΜΕ, κατέγραψαν σημαντική βελτίωση της πρόσληψης

οξυγόνου (VO_2), του κατά λεπτό πνευμονικού αερισμού (V_E) και του αναπνευστικού ηλίκο (RER) (Minogue et al., 2014, Hsu et al., 2011). Στη συνέχεια, δύο άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε ασθενείς με ΧΑΠ, είχαν εξίσου σημαντικά αποτελέσματα σε επίπεδα πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) και κατά λεπτό πνευμονικού αερισμού (V_E) (Sillen et al., 2008, Sillen et al., 2011). Άλλοι ερευνητές υλοποίησαν μία μονή συνεδρία άσκησης με HME σε πληθυσμό με οξύ έμφραγμα μυοκαρδίου, επίσης καταγράφοντας βελτίωση στον όγκο παλμού και στον καρδιακό δείκτη (Tanaka et al., 2016). Σε μία ακόμη έρευνα, γυναίκες ασθενείς με χρόνια πόνο πρόσθιας επιφάνειας γόνατος, παρουσίασαν μακροπρόθεσμη βελτίωση λειτουργικότητας και μείωση της αίσθησης του πόνου (Glaviano et al., 2016). Τέλος, σε μία επόμενη μελέτη, μετά από μία συνεδρία με HME σε ασθενείς με ΑΕΕ χρόνιου σταδίου, αναφέρθηκε ως σημαντικότερο αποτέλεσμα της μελέτης, η βελτίωση ικανότητας βάδισης και κινητικότητας των ασθενών αυτών (Palmer et al., 2017).

Συνοπτικά, ο HME χρησιμοποιείται και επιλέγεται ως κύριο μέσο άσκησης σε ποικίλες περιπτώσεις υγείων και μη πληθυσμών, είτε με μορφή συστηματικής άσκησης είτε μίας μονής συνεδρίας άσκησης. Δεν είναι όμως φανερό, πόσο η ηλεκτροδιέγερση στους περιφερικούς μυς επιβαρύνει τα οργανικά συστήματα και κατά σειρά εάν ασθενείς που νοσούν από μία σχετική πάθηση σε ένα από αυτά τα συστήματα, μπορούν να το χρησιμοποιήσουν ως μέσο άσκησης.

1.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Οι επιπτώσεις της σωματικής αδράνειας, είναι αναγνωρίσιμες από τα πρώτα στάδια του κλινοστατισμού σε αρκετές περιπτώσεις ασθενών. Η συστηματική άσκηση είναι ένας τρόπος πρόληψης για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του κλινοστατισμού. Ο HME θα μπορούσε να αποτελέσει εναλλακτική ή συμπληρωματική μορφή προπόνησης σε αυτές τις περιπτώσεις.

Υπάρχουν επιστημονικές αποδείξεις που επιβεβαιώνουν τις θετικές επιδράσεις της συστηματικής άσκησης, αλλά και ενδείξεις για την εφαρμογή του HME ως συστηματική θεραπευτική παρέμβαση σε διαφόρους πληθυσμούς. Συγκεκριμένα, φαίνεται να εφαρμόζεται ο HME σε μυοσκελετικές κακώσεις και παθήσεις (Lerley et al., 2015), σε νευρολογικές παθήσεις (Springer and Khamis, 2017), αλλά και σε υγιά πληθυσμό, όπως οι

αθλητές (Taylor et al., 2015) και οι υπερήλικες (Langeard et al., 2017). Η συστηματική εφαρμογή ΗΜΕ, έχει οφέλη στην αύξηση της αιμάτωσης και της οξειδωτικής ικανότητας των περιφερικών μυών, στη μυϊκή μάζα και δύναμη, στην ισορροπιστική ικανότητα και στη διανυόμενη απόσταση βάρδισης, με αποτέλεσμα να επέρχεται βελτίωση της λειτουργικότητας και της ικανότητας για άσκηση (Groehs et al., 2016). Ευρύ φάσμα παραμέτρων του ΗΜΕ χρησιμοποιείται στις μελέτες, με το σύνολο των συνεδριών να κυμαίνεται από 8 έως 45, η διάρκεια κάθε συνεδρίας να είναι 30 έως 60 λεπτά και όχι μόνο για μία αλλά έως δύο συνεδρίες την ημέρα, με συχνότητα 3 έως 7 φορές την εβδομάδα. Η επιλεγόμενη συχνότητα ρευμάτων είναι μεταξύ 30 και 80 Hz και η ένταση 25 έως 70 mA ή όπως αναφέρεται η μέγιστη ανεκτή ένταση ρεύματος για τον κάθε υποβαλλόμενο.

Ελάχιστες είναι οι πληροφορίες για το πώς ανταποκρίνονται τα οργανικά συστήματα (αναπνευστικό και κυκλοφορικό) κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας εφαρμογής ΗΜΕ. Έτσι, στη παρούσα μελέτη τίθεται το παρακάτω ερευνητικό ερώτημα: εάν η εφαρμογή ΗΜΕ επιβαρύνει τα οργανικά συστήματα σε παρόμοιο βαθμό (μέγεθος) όσο η επιβάρυνση κατά την ήπια ενεργητική άσκηση. Τέτοιες πληροφορίες θα ήταν χρήσιμες για την επιλογή του ΗΜΕ ως εναλλακτική μορφή θεραπευτικής παρέμβασης σε διάφορους πληθυσμούς (υγιείς και μη, νέους και υπερήλικες), οι οποίοι μπορεί να παρουσιάζουν πρόσκαιρο ή διαρκή περιορισμό των αναπνευστικών, καρδιαγγειακών δυνατοτήτων τους (π.χ. μακρύ σε διάρκεια κλινοστατισμό, μακρά φυσική αδράνεια λόγω νόσου ή σε ασθενείς με αναπνευστικούς και καρδιαγγειακούς περιορισμούς).

1.7. ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Άτομα που υποβάλλονται σε σωματική αδράνεια λόγω κάποιας νόσου ή μακροχρόνιου κλινοστατισμού, έχουν επιπτώσεις στο μυϊκό σύστημα. Για αυτό το λόγο πολλά σύγχρονα προγράμματα αποκατάστασης περιλαμβάνουν παρέμβαση με ΗΜΕ ή και συστηματική άσκηση (Jones et al., 2016). Παρόλα αυτά δεν είναι πλήρως αναγνωρισμένη η απόκριση των συστημάτων του οργανισμού κατά την εφαρμογή ΗΜΕ.

Πιθανόν η χρήση του ΗΜΕ, εάν προκαλεί τις ίδιες αντιδράσεις στο αναπνευστικό και στο καρδιαγγειακό σύστημα, να αποτελεί μια εναλλακτική μορφή συστηματικής προπόνησης σε πληθυσμό που έχει επηρεαστεί από τις επιπτώσεις του κλινοστατισμού και της

σωματικής αδράνειας. Αυτή η μορφή παρέμβασης μπορεί να είναι σημαντικό εργαλείο στα χέρια του φυσικοθεραπευτή, καθώς ενδεχομένως να μην είναι δυνατή ή να μην επιτρέπεται η συνεχής και συστηματική άσκηση σε κλινήρη άτομα. Επίσης, αρκετά μεγάλος αριθμός ατόμων αδυνατούν είτε να ασκηθούν μεμονωμένα, είτε να παρακολουθήσουν ένα πρόγραμμα άσκησης (Booth et al., 2017). Ο ΗΜΕ έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί είτε ως συμπληρωματική είτε ως εναλλακτική μορφή άσκησης σε καθημερινές τακτικές συνεδρίες, για περισσότερο από τριάντα λεπτά. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιδράσει θετικά στο μυϊκό σύστημα, παρέχοντας οφέλη στη μυϊκή μάζα και στη δύναμη του μυός.

Στην παρούσα μελέτη, διερευνάται εάν μπορεί μία μονή συνεδρία ΗΜΕ και μία μονή συνεδρία εθελούσιας άσκησης παρόμοιας χρονικής διάρκειας και έντασης ισοτονικής συστολής, να επιβαρύνουν στον ίδιο βαθμό το αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα. Εάν συμβαίνει αυτό, τότε ο ΗΜΕ μπορεί να εφαρμόζεται ως άσκηση σε άτομα με πιθανή αναπνευστική ή καρδιαγγειακή δυσχέρεια.

1.8. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει την απόκριση του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά την εφαρμογή ΗΜΕ σε μία μονή συνεδρία, έναντι της απόκρισης των ίδιων συστημάτων κατά την εθελούσια σύσπαση παρόμοιας χρονικής διάρκειας και έντασης συστολής.

Η επιλογή μέσης ηλικίας ανδρικού πληθυσμού, έγινε λόγω της πιθανότητας τέτοια ηλικιακή ομάδα να εμφανίσει κάποιο χρόνιο ή οξύ καρδιαγγειακό ή αναπνευστικό νόσημα, όπως είναι το έμφραγμα του μυοκαρδίου ή αναπνευστική νόσο, η οποία μπορεί να τους καταστήσει μη ικανούς για συμμετοχή σε κάποια μορφή φυσικής δραστηριότητας (π.χ. μακρόχρονος κλινοστατισμός).

1.9. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Οι μηδενικές ερευνητικές υποθέσεις που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν οι εξής:

H_{01} : Η απόκριση του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος δε διαφέρει κατά την παρέμβαση με ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ συγκριτικά με την ενεργητική σύσπαση του μυός, ίδιας έντασης και χρονικής διάρκειας σε υγιείς μεσήλικες άνδρες.

Επιπλέον,

H_{02} : Το επίπεδο ανοχής (δυσφορίας) στην άσκηση δε διαφέρει κατά την παρέμβαση με ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ συγκριτικά με την ενεργητική σύσπαση του μυός, ίδιας έντασης και χρονικής διάρκειας σε υγιείς μεσήλικες άνδρες.

Έτσι, οι εναλλακτικές υποθέσεις διατυπώνονται όπως παρακάτω:

H_1 : Η απόκριση του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος διαφέρει κατά την παρέμβαση με ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ συγκριτικά με την ενεργητική σύσπαση ιδίου μυός, ίδιας έντασης και χρονικής διάρκειας σε υγιείς μεσήλικες άνδρες.

H_2 : Το επίπεδο ανοχής (δυσφορίας) στην άσκηση διαφέρει κατά την παρέμβαση με ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ συγκριτικά με την ενεργητική σύσπαση ιδίου μυός, ίδιας έντασης και χρονικής διάρκειας σε υγιείς μεσήλικες άνδρες.

1.10. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι εθελοντές που συμμετείχαν στη μελέτη, επιλέχθηκαν με τα εξής κριτήρια:

1. Ανδρικό φύλο, μέσης ηλικίας (45 - 60 έτη).
2. Μη τρέχουσα συμμετοχή σε τακτικό πρόγραμμα άσκησης.
3. Χαμηλό έως μέτριο επίπεδο φυσικής δραστηριότητας.
4. Το ιστορικό τους να είναι ελεύθερο άλλης παθολογίας, συμπεριλαμβανομένης αναπνευστικής ή καρδιαγγειακής νόσου, μυοσκελετικής δυσλειτουργίας και παχυσαρκίας.
5. Να υπάρχει η συγκατάθεση μετά από ενημέρωση σχετικά με την έρευνα.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο για όλους τους εθελοντές.

Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε μία συνεδρία με συνολική διάρκεια περίπου τριών ωρών και ολοκληρώνονταν την ίδια ημέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η άσκηση αποτελεί βασικό μέρος ενός προγράμματος αποκατάστασης σε ασθενείς με χρόνιες παθήσεις, μυϊκού, αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος. Ωστόσο, η χαμηλή λειτουργικότητα, είναι δυνατό συχνά να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα συμμετοχής σε ομαδικά ή ατομικά προγράμματα άσκησης. Στις περιπτώσεις αυτές η χρήση του ΗΜΕ, μπορεί να αποτελέσει μία ασφαλή και αποτελεσματική μορφή προπόνησης. Οι μορφές πρακτικής εφαρμογής του ΗΜΕ, είναι είτε ως μεμονωμένη άσκηση εναλλακτικής επιλογής προπόνησης, είτε συνδυαστική εφαρμογή ΗΜΕ, ως ταυτόχρονος τύπος προπόνησης με κάποια άλλη μορφή άσκησης ή ως συμπληρωματικός τύπος προπόνησης, μετά το τέλος μίας άλλης μορφής άσκησης.

2.1 ΣΥΣΠΑΣΗ ΜΕΣΩ ΗΜΕ ΕΝΑΝΤΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ ΤΟΥ ΜΥΟΣ

Αρχική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων συστολής, είναι ο τρόπος ενεργοποίησης των κινητικών μονάδων. Κατά την εθελούσια μυϊκή σύσπαση, οι κινητικές μονάδες ενεργοποιούνται διαδοχικά, από τις μικρότερες και πιο αργές προς τις μεγαλύτερες και ταχύτερες. Η σύσπαση των σκελετικών μυών μέσω ΗΜΕ, προκαλεί αντίστροφη επιστράτευση των κινητικών μονάδων, ενεργοποιώντας πρώτα τις μεγαλύτερες και πιο γρήγορες μυϊκές ίνες και ύστερα τις μικρότερες και πιο αργές. Είναι πιθανό λοιπόν ο ΗΜΕ, σε κάθε εντολή σύσπασης να διεγείρει τις ίδιες κινητικές μονάδες, χωρίς να υπάρχει κάποια εναλλαγή, όπως συμβαίνει στις εκούσιες συστολές, γεγονός που οδηγεί σε πρόωρη κόπωση αυτών (Bickel et al., 2011).

Επόμενη διαφοροποίηση, είναι η ποσότητα μέγιστης δύναμης και ροπής του μυός, η οποία είναι μεγαλύτερη κατά την εκούσια σύσπαση σε σχέση με αυτή που παράγεται μέσω του ΗΜΕ. Σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, η μέγιστη ισομετρική σύσπαση κατά τον ΗΜΕ αποτελεί το 25% έως 90% της μέγιστης εκούσιας συστολής. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται, είτε στη μη συγχρονισμένη επιστράτευση όλων των κινητικών ομάδων, κατά τη σύσπαση με ΗΜΕ, είτε στη δυσανεξία που προκαλείται λόγω της αίσθησης του ρεύματος στο δέρμα (Bickel et al., 2011).

Ακόμη, μία σημαντική διαφορά των δύο τύπων συστολής σκελετικών μυών, είναι το ενεργειακό κόστος και οι μεταβολικές απαιτήσεις. Στη σύγχρονη αρθρογραφία αναφέρονται μεγαλύτερα επίπεδα κατανάλωσης τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και άλλων ενεργειακών αποθεμάτων, μεγαλύτερη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος, μεγαλύτερη κατανάλωση οξυγόνου τοπικά στον ασκούμενο μυ, χαμηλότερη ιστική οξυγόνωση και παρόμοια μείωση στον όγκο αίματος και τη συνολική αιμοσφαιρίνη σε μυϊκές συσπάσεις προκαλούμενες από τον ΗΜΕ, συγκριτικά με τις ανάλογου έργου ενεργητικές συσπάσεις. Ενδεχομένως, αυτή η διαφορά υπάρχει λόγω του τρόπου επιστράτευσης των κινητικών μονάδων και στις δύο περιπτώσεις άσκησης, αλλά και λόγω της μεγαλύτερης επιστράτευση μυϊκών ινών τύπου ΙΙ κατά τη σύσπαση με ΗΜΕ (Barbara Hoogenboom, 2016).

2.2 ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΑ ΟΦΕΛΗ ΗΜΕ

Η εφαρμογή ΗΜΕ σε διάφορες μυϊκές ομάδες, επιφέρει προσαρμογές στο μυϊκό, αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα. Οι προσαρμογές αυτές είναι είτε βραχυπρόθεσμες είτε μακροπρόθεσμες και πάντα ανάλογες με αυτές που προκαλούνται μέσω της συστηματικής άσκησης. Αυτό το γεγονός, καθιστά τον ΗΜΕ σημαντικό εργαλείο, σε περιπτώσεις μη ικανότητας εκτέλεσης άσκησης για οποιοδήποτε παθολογικό ή μη αίτιο. Τα οφέλη του είναι ποικίλα, ανάλογα με την περίπτωση όπου χρησιμοποιείται, όπως είναι καταστάσεις ακινητοποίησης, τραυματισμού, καρδιακής ή αναπνευστικής δυσλειτουργίας. Ειδικότερα, η εφαρμογή ΗΜΕ ωφελεί περιπτώσεις υγιών και μη υγιών πληθυσμών, παθήσεων σε χρόνια και οξεία φάση, δραστήριων και μη μυϊκών ομάδων. Αυτό συμβαίνει μέσω της επίδρασης του στην αιματική ροή και στην οξειδωτική ικανότητα των περιφερικών μυών, στη μυϊκή μάζα και στη μυϊκή δύναμη, στη λειτουργικότητα, στην ικανότητα βάρδισης και ισορροπίας (Groehs et al., 2016).

A. Βελτίωση αιματικής ροής στο μυ

Η βελτίωση της αιματικής ροής τοπικά στο μυ, έχει εξηγηθεί με βάση διάφορους μηχανισμούς, όμως στην προκειμένη περίπτωση σημαντικό ρόλο έχει η δράση του ΗΜΕ στην ενεργοποίηση της μυϊκής αντλίας. Σε μία τυχαιοποιημένη μελέτη του 2017, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τον ΗΜΕ ως κύρια παρεμβατική μέθοδο σε είκοσι έξι υπερήλικες ασθενείς της ΜΕΘ, οι οποίοι ήταν κλινήρης λόγω τραυματισμού της

σπονδυλικής στήλης, της κεφαλής, κάποιας δυσλειτουργίας του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος ή μακρόχρονης μηχανικής υποστήριξης. Μετά από δεκατέσσερις συνεδρίες μισής ώρας χαμηλής συχνότητας HME στον τετρακέφαλο και στο γαστροκνήμιο μυ, καταγράφηκε μέσω τοπικής υπερηχογραφίας σημαντική βελτίωση αιματικής ροής στους προαναφερθέντες μυς συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου που δεν έλαβε παρέμβαση με HME. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο HME μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική θεραπευτική παρέμβαση για την αποφυγή σχηματισμού φλεβικών θρόμβων κατά τη διάρκεια του κλινοστατισμού (Ojima et al., 2017).

Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα μίας προγενέστερης τυχαιοποιημένης μελέτης, στην οποία εφάρμοσαν τον HME στον τετρακέφαλο και στο γαστροκνήμιο μυ ως θεραπευτική μέθοδο σε δεκαπέντε ασθενείς με καρδιακή ανεπάρκεια. Η διαφορά των ασθενών που έλαβαν συνολικά δέκα συνεδρίες της μίας ώρας, ήταν υψίστης σημασίας συγκριτικά με τους ασθενείς που δεν ακολούθησαν αυτή τη θεραπεία. Ειδικότερα, παρουσίασαν μεγαλύτερη δραστηριοποίηση του συμπαθητικού νεύρου των μυών των κάτω άκρων, όπως επίσης εμφάνισαν καλύτερη ικανότητα αγγειοσυστολής και βελτίωση της μυϊκής δύναμης και της ποιότητας ζωής (Groehs et al., 2016).

B. Βελτίωση Οξειδωτικής Ικανότητας

Ο HME, φαίνεται να επιδρά σε σημαντικό βαθμό στα επίπεδα οξειδωτικής ικανότητας των περιφερικών μυών. Χαρακτηριστική απόδειξη είναι η καταγραφή των αποτελεσμάτων μίας μελέτης, στην οποία συμμετείχαν δεκατέσσερις ασθενείς ηλικίας 35-55, με τραυματισμό στη σπονδυλική στήλη και παρουσία μυϊκής αδυναμίας, μυϊκής ατροφίας και μειωμένης οξειδωτικής ικανότητας των περιφερικών μυών. Μετά την θεραπευτική παρέμβαση δεκαέξι εβδομάδων με μία ώρα συνεδρίας χαμηλής συχνότητας HME στον τετρακέφαλο μυ, παρουσιάστηκε αξιοσημείωτη βελτίωση κυρίως στα επίπεδα οξειδωτικής ικανότητας του μυός λόγω της προκαλούμενης υπεραιμίας, όπως καταγράφηκε από την υπέρυθη φασματοσκοπία (Near Infrared Spectroscopy, NIRS) (Erickson et al., 2017).

Γ. Βελτίωση Επιπέδου Ορμονών

Άμεση είναι η προσαρμογή των μυών σε μοριακό επίπεδο, με μεταβολές στα επίπεδα των ορμονών. Αυτές οι μεταβολές αποτελούν και το βασικό ερέθισμα αναδιαμόρφωσης του μυϊκού ιστού. Συγκεκριμένα, δώδεκα ώρες μετά την εφαρμογή HME στον τετρακέφαλο μυ παρατηρήθηκε αύξηση επιπέδων ριβονουκλεϊκού οξέος (mRNA) ως αποτέλεσμα της

προπόνησης δύναμης και δύο εικοσιτετράωρα αργότερα η συνολική ποσότητα mRNA αυξήθηκε, αντανακλώντας αύξηση του αναβολικού δυναμικού του συγκεκριμένου μυός. Μάλιστα, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αύξηση του mRNA ήταν μεγαλύτερη κατά τη συνεδρία με ΗΜΕ, από ότι κατά την εθελούσια ισομετρική άσκηση (Jubeau et al., 2008).

2.3 ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΑ ΟΦΕΛΗ ΗΜΕ

Πολλές μελέτες έχουν αξιολογήσει την άμεση επίδραση του ΗΜΕ στον ανθρώπινο οργανισμό. Βέβαια, τα μακροπρόθεσμα οφέλη δεν είναι αναγνωρισμένα, λόγω του αρθρογραφικού κενού που υπάρχει στην αξιολόγηση αποτελεσμάτων του ΗΜΕ μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά, είτε μετά από συστηματική άσκηση με ΗΜΕ, είτε μετά από μονή συνεδρία με ΗΜΕ, καταγράφονται οφέλη τα οποία προσφέρουν βελτίωση στη συνολική υγεία και λειτουργικότητα των υποβαλλόμενων, γεγονός που αναγνωρίζει τη διατήρησή τους για αρκετό διάστημα μετά την παρέμβαση με ΗΜΕ. Αυτά τα οφέλη σχετίζονται με τη βελτίωση της μυϊκής δομής, όσον αφορά τη μάζα, τη δύναμη και τη διατομή του μυός, αλλά και της συνολικής λειτουργικότητας.

A. Βελτίωση Μυϊκής μάζας και δύναμης

Η απόκριση των μυών κατά την παρέμβαση με ΗΜΕ, τόσο σε νευρολογικό όσο και σε κυτταρικό επίπεδο, είναι παρόμοια με αυτή της ενεργητικής σύσπασης. Μάλιστα φαίνεται ότι σε διάστημα τεσσάρων εβδομάδων ο ΗΜΕ ωφελεί την αύξηση της μυϊκής δύναμης και όχι μόνο τον περιορισμό απώλειας της μυϊκής μάζας. Αυτό έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα, ότι παρότι ο ΗΜΕ ενεργεί αντίστροφα τις μυϊκές ίνες από την ενεργοποίηση που πραγματοποιεί η εντολή εγκεφάλου στο μυ, μπορεί ωστόσο να προκαλέσει προσαρμογές στο νευρικό σύστημα προτού επέλθουν δομικές αλλαγές στο μυ, όπως ακριβώς συμβαίνει και κατά την ενεργητική σύσπαση (Maffiuletti et al., 2013).

Απόδειξη βελτίωσης μυϊκής δύναμης και μάζας των περιφερικών μυών μέσω της χρήσης με ΗΜΕ, αποτελεί μία μελέτη στην οποία συγκέντρωσαν τριάντα ασθενείς, ηλικίας 60-70 ετών, που νοσηλεύονταν στη ΜΕΘ λόγω ΧΑΠ και τους διαχώρισαν σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα λάμβανε συνδυαστικά ασκήσεις κάτω άκρων και μέσης συχνότητας ΗΜΕ (50Hz) στον τετρακέφαλο μυ, η δεύτερη ομάδα μόνο παρέμβαση ΗΜΕ στον τετρακέφαλο

μυ και η τρίτη ομάδα εκτελούσε μόνο ασκήσεις κάτω άκρων, με όλες τις ομάδες να διατηρούν τον ίδιο χρόνο άσκησης. Αποτέλεσμα ήταν η βελτίωση δύναμης των κάτω άκρων των συμμετεχόντων της πρώτης και δεύτερης ομάδας, συγκριτικά με την τρίτη ομάδα που λάμβανε μόνο ασκήσεις στα κάτω άκρα, γεγονός που ώθησε τους ασθενείς σε πρόωρο απογαλακτισμό και σε επάνοδο στις λειτουργικές δραστηριότητες τους (Akar et al., 2017).

B. Βελτίωση Λειτουργικότητας

Μέσω της χρήσης του ΗΜΕ ως εναλλακτικής θεραπευτικής παρέμβασης, οι υποβαλλόμενοι φαίνεται να παρουσιάζουν άμεση βελτίωση της λειτουργικότητας. Ειδικότερα, σε μία μελέτη καταγράφηκε σημαντική βελτίωση των διανυόμενων μέτρων βάρδισης από ασθενείς 55 ετών που νοσηλεύονταν στη ΜΕΘ, οι οποίοι δέχτηκαν ως θεραπευτική παρέμβαση τον ΗΜΕ στον τετρακέφαλο, στο πρόσθιο κνημιαίο και στο γαστροκνήμιο μυ για συνολικά 45 συνεδρίες. Όταν κατάφεραν να ορθοστατήσουν και να βαδίσουν, καταγράφηκαν τα διπλάσια σχεδόν μέτρα βάρδισης συγκριτικά με την ομάδα που λάμβανε ασκήσεις κινησιοθεραπείας για το ίδιο χρονικό διάστημα (Kho et al., 2012).

2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΜΕ ΗΜΕ

Ο ΗΜΕ είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος στο χώρο της αποκατάστασης και ιδιαίτερα τις δύο τελευταίες δεκαετίες, τόσο σε υγιείς πληθυσμούς, όσο και σε μυοσκελετικές και αναπνευστικές παθήσεις. Υπάρχουν πολλές μελέτες που έχουν αναλύσει την επίδραση του στον ανθρώπινο οργανισμό και κυρίως στο μυϊκό και καρδιαγγειακό σύστημα.

Ο ΗΜΕ εφαρμόζεται ιδιαίτερος σαν κύρια μέθοδος αποκατάστασης σε μυοσκελετικές κακώσεις όπως είναι η αποκατάσταση μετά από χειρουργείο στον πρόσθιο χιαστό σύνδεσμο. Φαίνεται ότι συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση της μυϊκής δύναμης των περιφερικών μυών και ιδιαίτερα αυτών γύρω από την άρθρωση του γόνατος, επαναφέροντας έτσι τη συμμετρία δύναμης μεταξύ των δύο κάτω άκρων. Με αυτόν τον τρόπο, το άτομο επανέρχεται στην πρότερη λειτουργική κατάσταση χωρίς σημαντική διαφοροποίηση του χειρουργημένου από το υγιές κάτω άκρο (Lerley et al., 2015). Εξίσου σημαντική, είναι η παρέμβαση του ΗΜΕ μετά από χειρουργείο ολικής αρθροπλαστικής ισχίου. Χρησιμοποιούμενος για διάστημα πέντε εβδομάδων ως κύριο στοιχείο

θεραπευτικής παρέμβασης, φαίνεται ότι ο HME βελτιώνει μακροπρόθεσμα τη δύναμη του τετρακεφάλου μυός έως και 77%, παρέχοντας έτσι ισορροπία δύναμης μεταξύ των δύο κάτω άκρων (Gremeaux et al., 2008). Το 2017, σε μία μελέτη 95 ασθενών με ολική αρθροπλαστική γόνατος, μετά από υψηλής συχνότητας HME με ορατή σύσπαση του τετρακεφάλου μυός, καταγράφηκε σημαντική βελτίωση στη δρομική δοκιμασία δύο λεπτών βάδισης (2MWT) και στη μέγιστη δύναμη ισομετρικής σύσπασης του μυός (μέσω δυναμόμετρου) (Yoshida et al., 2017).

Τα οφέλη του HME ως εναλλακτικής μεθόδου συστηματικής άσκησης διατυπώνονται σαφώς και σε περιπτώσεις χρόνιων μυοσκελετικών παθήσεων, όπως είναι αυτή της οστεοαρθρίτιδας γόνατος. Φαίνεται ότι η εφαρμογή του HME για διάστημα τριών μηνών, συνεισφέρει στην αντιμετώπιση αρκετών δυσχερειών που προκύπτουν λόγω της χρόνιας οστεοαρθρίτιδας γόνατος. Συγκεκριμένα, παρέχει μείωση της αίσθησης του επίμονου πόνου (Visual Analog Scale, VAS), βελτίωση της δύναμης των περιφερικών μυών της άρθρωσης και ιδιαίτερα του τετρακεφάλου μυός, ενίσχυση της καθημερινής λειτουργικότητας και αύξηση της διανυόμενης απόστασης βάδισης και της ισορροπίας (Timed Up and Go Test) (Laufer et al., 2014). Ο HME εμφανίζεται ως επιλεγόμενη θεραπευτική άσκηση στην περίπτωση ρευματοειδούς αρθρίτιδας και μάλιστα παρέχει οφέλη σε παρόμοιο επίπεδο με τις ασκήσεις αντίστασης. Συγκεκριμένα, τρεις μήνες μετά την παρέμβαση του, βελτιώνει τη μυϊκή δύναμη (ισοκινητικό δυναμόμετρο) και προκαλεί δομικές αλλαγές στο μυ, ενισχύοντας τη μυϊκή μάζα και επηρεάζοντας τον τύπο των μυϊκών ινών (τύπου I και II) (έλεγχος μέσω τομογραφίας) (Piva et al., 2018).

Ο HME, ως μορφή συστηματικής προπόνησης, γίνεται αισθητός και σε ομάδες ηλικιωμένων ατόμων. Στην περίπτωση της τρίτης ηλικίας, τα πιο συχνά χαρακτηριστικά είναι η απώλεια μυϊκής μάζας, η δυσλειτουργία βάδισης για μεγάλο χρονικό διάστημα και η έλλειψη ισορροπιστικού ελέγχου, που οδηγεί σε επερχόμενη και ενδεχόμενη πτώση. Μέσω μίας εκτενούς συστηματικής ανασκόπησης, αποδεικνύεται ότι η θεραπευτική παρέμβαση με HME ως εναλλακτική μορφή άσκησης, ωφελεί τα υπερήλικα άτομα αντιμετωπίζοντας τους προαναφερθέντες περιορισμούς, καθώς μετά από κάποιες συνεδρίες με HME καταγράφονται περισσότερα μέτρα διανυόμενης απόστασης βάδισης (Six Minute Walk Test, 6MWT), βελτιωμένα επίπεδα ισορροπιστικής ικανότητας (Timed Up and Go Test, TUG Test), μεγαλύτερη δύναμη (Hand Grip Strength) και καλύτερη συνολική λειτουργικότητα συγκριτικά με πριν την άσκηση με HME (Langeard et al., 2017). Τα ίδια

θετικά αποτελέσματα, παρουσιάστηκαν και σε μία ακόμη μελέτη, καθώς ειδικά η ομάδα που ακολούθησε συνδυαστική θεραπευτική παρέμβαση με ΗΜΕ και εθελούσια άσκηση στο 40% της μέγιστης δύναμης, βελτίωσε σημαντικά τα επίπεδα δύναμης, διανύμενης απόστασης βάρδισης και λειτουργικότητας (Benavent-Caballer et al., 2014).

Ο ΗΜΕ δραστηριοποιείται ως εναλλακτικός τύπος θεραπευτικής παρέμβασης και σε άλλες μορφές πάθησης που έχουν ως χαρακτηριστικό τους την απώλεια μυϊκής μάζας, όπως είναι οι νευρολογικές παθήσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο ΗΜΕ διαμορφώνεται σε έναν τύπο λειτουργικού νευρομυϊκού ερεθισμού, δηλαδή πραγματοποιείται συνδυασμός του ΗΜΕ με ένα λειτουργικό έργο όπως είναι η βάρδιση, η ποδηλασία και άλλα. Σε παθήσεις ΑΕΕ, η μακρόχρονη άσκηση με ΗΜΕ έως και τρεις μήνες, προσφέρει βελτίωση της δύναμης των περιφερικών μυών και της ικανότητας σύσπασης μυϊκών ομάδων, με αποτέλεσμα καλύτερη ισορροπιστική ικανότητα και περισσότερη διανύμενη απόσταση βάρδισης (Lee et al., 2016, Downing and Balady, 2011). Εξίσου ωφέλιμη αποδεικνύεται η άσκηση με ΗΜΕ κατά τη συνεχή χρήση δύο έως τριών εβδομάδων κατά μήκος του περνιαίου νεύρου, ως συνδυαστική παρέμβαση με τη βάρδιση αλλά και την ποδηλασία και σε περιπτώσεις ΣΚΠ. Καταγράφεται κυρίως αύξηση του μυϊκού έργου και βελτίωση της ικανότητας ανάσπασης της ποδοκνημικής, αποφεύγοντας την πτώση του άκρου ποδός (drop foot), καθιστώντας τα άτομα αυτά πιο λειτουργικά και αυτοεξυπηρετούμενα (Springer and Khamis, 2017). Ο ΗΜΕ επιλέγεται για μέθοδο άσκησης και σε περιπτώσεις αθλητών με Κάκωση Νωτιαίου Μυελού. Μετά από δύο μήνες παρέμβασης, βελτιώνει άμεσα τα επίπεδα αερόβιας ικανότητας, ενισχύοντας εξίσου την αύξηση της καρδιακής συχνότητας, της πρόσληψης οξυγόνου και της ικανότητας σύσπασης των μυών (Carty et al., 2012).

Πέραν των προσβεβλημένων μυϊκών ομάδων, ο ΗΜΕ εμφανίζεται ως μέρος προγράμματος άσκησης και σε ομάδες υγιών και αθλητών, σε μικρότερο βαθμό μεν, με εμφανή θετικά αποτελέσματα δε. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εφαρμογή του ΗΜΕ στους περιφερικούς μύες των άνω και κάτω άκρων αθλητών μετά την προπόνηση, όπου βελτιώνει την αιμάτωση, συμβάλλοντας έτσι στη γρηγορότερη αποκατάσταση ως άμεση αποθεραπεία μετά τον αγώνα (Taylor et al., 2015).

Περιορισμένου εύρους, αλλά σαφή και αξιοσημείωτα είναι και τα αποτελέσματα που έχουν καταγραφεί σε μελέτες, που αφορούν την επίδραση της συστηματικής άσκησης με ΗΜΕ

στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα, τόσο σε υγιείς όσο και σε μη υγιείς πληθυσμούς. Κατά τη θεραπευτική παρέμβαση με HME σε υγιείς πληθυσμούς, είτε μεμονωμένα ως κύριο μέσο συστηματικής άσκησης, είτε σε συνδυασμό με άλλες μορφές αποκατάστασης, σημειώνεται σημαντική αύξηση των διανυόμενων μέτρων απόστασης (6MWT) και της μυϊκής δύναμης του τετρακεφάλου μυός, αυξάνοντας τα επίπεδα γαλακτικού οξέως και ιστικής οξυγόνωσης του μυός λόγω υπεραιμίας (Banerjee et al., 2009). Μεταβολές αναγνωρίζονται και στις αναπνευστικές παραμέτρους, καθώς αυξάνονται τα επίπεδα του κατά λεπτό πνευμονικού αερισμού (V_E), του ποσοστού πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) και του αναπνευστικού πηλίκου (RER), αλλαγές οι οποίες μοιάζουν να είναι άμεσα εξαρτώμενες με τη μυϊκή μάζα που ασκείται μέσω του HME (Hsu et al., 2011). Εξίσου σημαντικές είναι οι μεταβολές στην καρδιακή συχνότητα και στην αντοχή στην άσκηση (Lee et al., 2012b). Σημαντικό στοιχείο είναι ότι παρότι το μυϊκό, το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα ενεργοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, η αίσθηση της κόπωσης παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (Crognale et al., 2013).

Ποικίλες είναι και οι μελέτες που έχουν πραγματοποιήσει συνεδρίες με HME σε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια (ΧΚΑ), καθώς παρά τον καρδιαγγειακό χαρακτήρα αυτής της πάθησης είναι μία περίπτωση που προσβάλλεται σε σημαντικό βαθμό και το μυϊκό σύστημα. Συνοπτικά, καταγράφεται ότι μετά από άσκηση με HME σε ασθενείς με ΧΚΑ ηλικίας 50-65 ετών, για συνολικά έως δώδεκα εβδομάδες, με μισή έως και δύο ώρες συνεδρίας, για πέντε έως επτά συνεδρίες την εβδομάδα, παρουσιάζονται σημαντικά αυξημένα επίπεδα μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}), διανυόμενης απόστασης βάδισης (6MWT), μυϊκής δύναμης και βελτιωμένα επίπεδα ποιότητας ζωής (ερωτηματολόγιο Minnesota) (Gomes Neto et al., 2016)

2.5 ΜΟΝΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ HME

Μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με μία μονή συνεδρία HME, χρησιμοποιώντας ευρύ φάσμα παραμέτρων του ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά και των επιλεγόμενων μυϊκών ομάδων. Σκοπός τους ήταν η άμεση βελτίωση των τιμών παραμέτρων του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος, όπως είναι ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E), το αναπνευστικό πηλίκου (RER), η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2), αλλά και η βελτίωση της λειτουργικότητας και ποιότητας ζωής των υποβαλλόμενων.

Πιο συγκεκριμένα, το 2008 πραγματοποιήθηκε μία έρευνα με μία μονή συνεδρία HME στον τετρακέφαλο μυ ασθενών με χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ). Οι δεκατρείς εθελοντές με μέσο όρο ηλικίας τα 65 έτη, διαχωρίστηκαν σε δύο ομάδες: η μία ομάδα λάμβανε ασκήσεις ενδυνάμωσης μέσω εκτατικών ασκήσεων αντίστασης γόνατος και στα δύο κάτω άκρα, για τρία σετ των οκτώ επαναλήψεων, στο 70% της μέγιστης δύναμης. Η άλλη ομάδα πραγματοποιούσε άσκηση με την εναλλακτική μέθοδο υψηλής συχνότητας (75Hz) και συμμετρικής διαφασικής τετράγωνης μορφής ρεύματος στον τετρακέφαλο μυ, για σύνολο 21 λεπτά συνεδρίας, με 6 δευτερόλεπτα σύσπασης και 29 δευτερόλεπτα χαλάρωσης. Και στις δύο ομάδες, καταγράφηκε αυξημένη ζήτηση πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) 497ml/min και 311ml/min και κατά λεπτό πνευμονικού αερισμού (V_E) 28litra και 14litra, για την ομάδα με ασκήσεις αντίστασης και για την ομάδα με HME αντίστοιχα. Αξιοσημείωτο είναι, ότι διέφεραν αρκετά τα επίπεδα δύσπνοιας και κόπωσης, όπως αξιολογήθηκε μέσω της κλίμακας Borg, με την ομάδα με ασκήσεις αντίστασης να παρουσιάζει πιο γρήγορα και πιο έντονα αυτά τα συμπτώματα (Sillen et al., 2008).

Το 2011, οι ίδιοι ερευνητές, μελέτησαν δεκαεπτά ασθενείς με ΧΑΠ, όπου διαχώρισαν και πάλι δύο ομάδες ως εξής: Η μία ομάδα πραγματοποιούσε μονή θεραπευτική παρέμβαση με χαμηλής συχνότητας HME (15Hz) στον τετρακέφαλο μυ, για συνολικά 29 λεπτά συνεδρίας, με 8 δευτερόλεπτα σύσπασης και 2 δευτερόλεπτα χαλάρωσης. Η άλλη ομάδα, είχε την ίδια τοποθέτηση HME με διαφοροποίηση στην επιλογή υψηλότερης συχνότητας HME (75Hz), για συνολικά 21 λεπτά συνεδρίας, με 6 δευτερόλεπτα σύσπασης και 29 δευτερόλεπτα χαλάρωσης. Παρόμοια ήταν η αύξηση τιμών κατά τη χαμηλή και υψηλή συχνότητα HME, όπου καταγράφηκε πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) 327 ± 96 ml/min και 315 ± 84 ml/min, κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E) 14 ± 4 litra και 15 ± 4 litra, σύμπτωμα δύσπνοιας 2 ± 1 litra και 2 ± 1 litra και κόπωσης 2 ± 2 βαθμοί και 2 ± 1 βαθμοί, αντίστοιχα (Sillen et al., 2011).

Σε μία ακόμη μελέτη μονής συνεδρίας HME, επιλέχθηκαν σαράντα υγιείς μη φυσικά δραστήριοι εθελοντές, ηλικίας 20-63 ετών. Η έρευνα βασίστηκε στην άσκηση πολλών μυϊκών ομάδων, του τετρακεφάλου μυός, των οπίσθιων μηριαίων, του μείζονος γλουτιαίου και των κοιλιακών, μέσω προοδευτικά αυξανόμενης έντασης του HME με διαφασικά ρεύματα τετράγωνης μορφής, για τον ίδιο χρόνο δέκα λεπτών σε κάθε ένα από τα τρία επίπεδα έντασης (συνολικός χρόνος άσκησης τριάντα λεπτά). Συγκεκριμένα, υπήρχε το

πρώτο επίπεδο HME, όπου πραγματοποιούνταν αισθητηριακός ερεθισμός των μυών, το δεύτερο επίπεδο HME, όπου γινόταν ορατή η σύσπαση του μυός, και το τρίτο επίπεδο HME, όπου πραγματοποιούνταν ορατή κίνηση του μέλους, με μέγιστη ένταση ρεύματος έως και 100 mA. Καταγράφηκε σημαντική αύξηση πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) σε κάθε ένα από τα προαναφερόμενα τρία επίπεδα HME, με 0,238 l/min, 0,252 l/min και 0,265 l/min αντίστοιχα. Η αύξηση της τιμής αυτής, μοιάζει να είναι άμεσα εξαρτώμενη από την επιλεγόμενη ένταση του HME, καθώς τα υψηλότερα επίπεδα VO_2 , παρουσιάστηκαν στη μέγιστη ένταση HME, όπου υπήρχε και ορατή σύσπαση των επιλεγόμενων μυϊκών ομάδων (Hsu et al., 2011).

Το 2014, διεξάχθηκε μία ακόμη έρευνα μονής συνεδρίας διάρκειας τριάντα λεπτών, με συνεχόμενη σύσπαση του τετρακεφάλου μυός με χαμηλής συχνότητας HME (4Hz) και συμμετρικής διασπαστικής τετράγωνης μορφής, σε έντεκα υγιείς εθελοντές, ηλικίας 19-53 ετών. Όπως καταγράφηκε μέσω του πνευμονοταχογράφου σε μορφή προσωπίδας, οι συμμετέχοντες παρουσίασαν βελτίωση αναπνευστικών παραμέτρων και συγκεκριμένα του κατά λεπτό πνευμονικού αερισμού (V_E) και του αναπνευστικού πηλίκου (RER), αλλά και μεταβολικών παραμέτρων, όπως είναι η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) καθ' όλη την διάρκεια σύσπασης του τετρακεφάλου μυός, συγκριτικά με τη φάση ηρεμίας (Minogue et al., 2014).

Μία ακόμη έρευνα πραγματοποιήθηκε το 2016, στηριζόμενη σε μία μονή συνεδρία HME μέσης συχνότητας (50 Hz) στον τετρακέφαλο και γαστροκνήμιο μυ, τριάντα τεσσάρων νοσηλεύομενων ασθενών με οξύ έμφραγμα μυοκαρδίου (OEM), με μέσο όρο ηλικίας τα 64 έτη. Οι συμμετέχοντες μοιράστηκαν σε δύο ομάδες, όπου στην ομάδα παρέμβασης έλαβαν HME για συνολικά τριάντα λεπτά, με πέντε δευτερόλεπτα ορατής σύσπασης και πέντε δευτερόλεπτα χαλάρωσης, ενώ στην ομάδα ελέγχου λάμβαναν HME στη μικρότερη ένταση, με σκοπό την πρόκληση ερεθίσματος στο δέρμα, χωρίς όμως να υπάρχει ορατή σύσπαση του μυός. Στη συγκεκριμένη μελέτη, έγινε εμφανής η απόκριση του καρδιαγγειακού συστήματος της ομάδας παρέμβασης, καθώς επήλθε αύξηση του όγκου παλμού (stroke volume) κατά 102,1ml και 92,5ml και του καρδιακού δείκτη κατά $3,5l/m^2$ και $3,2l/m^2$, όπως μετρήθηκε μέσω σφυγμομανομέτρου δακτύλου (finger sphygmomanometer) (Tanaka et al., 2016).

Την ίδια χρονιά, σε μία άλλη μελέτη επιλέχθηκαν δεκαπέντε γυναίκες, ηλικίας 15-45 ετών, που έπασχαν από πόνο πρόσθιας επιφάνειας γόνατος, όχι λόγω τραυματισμού, αλλά για

αρκετό καιρό δεν ήταν λειτουργικές στο τρέξιμο, στις έκκεντρες κινήσεις κ.α. Διαχωρίζοντας τες σε δύο ομάδες, προέκυψε η μία ομάδα παρέμβασης, η οποία εκτελούσε μονή συνεδρία ΗΜΕ μέσης συχνότητας (50Hz) στον τετρακέφαλο μυ για συνολικά δεκαπέντε λεπτά συνεδρίας και με ένταση τόση ώστε να προκαλείται επιθυμητή κίνηση του μέλους, ενώ η άλλη ομάδα ελέγχου δεν ακολούθησε κάποιου είδους παρέμβαση. Φάνηκε, ότι η ομάδα παρέμβασης, με μία μόνο συνεδρία με ΗΜΕ, είχε μεγαλύτερα οφέλη στις λειτουργικές δοκιμασίες που ακολούθησαν για αξιολόγηση, συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Συγκεκριμένα, λόγω βελτίωσης του επιπέδου πόνου και μεγαλύτερης ενεργοποίησης των μυών του γόνατος, κατάφεραν να εκτελέσουν μονοποδικά καθίσματα και ανέβασμα-κατέβασμα σκάλας, βελτιώνονται έτσι τη συνολική λειτουργικότητα του κάτω άκρου (Glaviano et al., 2016).

Το 2017, έλαβε μέρος μία μελέτη βασισμένη σε είκοσι άτομα με ΑΕΕ χρόνιου σταδίου, με μέσο όρο ηλικίας τα 60 έτη. Ακολούθηθηκε μία μονή συνεδρία έξι λεπτών βάρδιας σε διάδρομο συνδυαστικά με την χρήση συχνότητας ΗΜΕ (30Hz) κατά μήκος του πρόσθιου κνημιαίου μυός και μία μονή συνεδρία ίδιας διάρκειας βάρδιας χωρίς την επίδραση ΗΜΕ, με τις δύο συνεδρίες να απέχουν μία εβδομάδα και η επιλογή σειράς των παρεμβάσεων να είναι τυχαία. Αξιοσημείωτο ήταν το γεγονός ότι κατά την μονή συνεδρία βάρδιας με συνδυαστική άσκηση ΗΜΕ, βελτιώθηκε η συμμετρία μεταξύ ραχιαίας και πελματιαίας κάμψης της ποδοκνημικής που εμφάνιζε πτώση (drop foot), κάτι το οποίο δεν συνέβη στον ίδιο βαθμό στην περίπτωση παρέμβασης μόνο με βάρδια. Αυτό το αποτέλεσμα, οδήγησε στην υπόθεση ότι παρά τη χρόνια νευρολογική πάθηση, νευροφυσιολογικά και εμβιομηχανικά υπάρχουν μετατροπές που ίσως οδηγήσουν σε βελτίωση λειτουργικότητας μετά από αρκετές συνεδρίες συνδυαστικής άσκησης με ΗΜΕ (Palmer et al., 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Όλοι οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για το σκοπό και για τη διαδικασία των μετρήσεων (Παράρτημα Β) και υπέγραψαν το έντυπο συναίνεσης (Παράρτημα Γ) μετά από τη συμφωνία να συμμετέχουν στη μελέτη.

Στη μελέτη συμμετείχαν δεκαπέντε άντρες, μέσης ηλικίας (45-58 ετών). Κάθε συμμετέχοντας αξιολογήθηκε για τη σωματική του υγεία μέσω λήψης ιστορικού, όπου καταγράφονταν προσωπικά στοιχεία. τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, το προσωπικό και οικογενειακό ιατρικό ιστορικό (Παράρτημα Γ).

Κριτήρια ένταξης της μελέτης ήταν: μη καπνιστές, με φυσιολογικό δείκτη μάζας σώματος ($BMI \leq 25 \text{ kg/m}^2$) και χαμηλό έως μέτριο επίπεδο καθημερινής φυσικής δραστηριότητας (Παράρτημα Δ).

Κριτήρια αποκλεισμού από τη μελέτη ήταν η ύπαρξη οποιασδήποτε παθολογίας στο μυοσκελετικό, αναπνευστικό, καρδιαγγειακό, νευρικό σύστημα, δερματικές παθήσεις ή αλλεργίες (Παράρτημα Γ).

Η παρούσα μελέτη εγκρίθηκε από την Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικοθεραπείας, του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Στερεάς Ελλάδας (Παράρτημα Α).

3.2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για κάθε συμμετέχοντα, πραγματοποιήθηκαν συνολικά τρεις κύριες μετρήσεις (A_0 , Σ_1 , Σ_2) σε μία ημέρα. Στην πρώτη μέτρηση (μέτρηση ηρεμίας, A_0) έγινε καταγραφή της απόκρισης των συστημάτων αναπνευστικού και κυκλοφορικού στην ηρεμία για διάρκεια 20 λεπτών. Στην επόμενη μέτρηση (πρώτη συνθήκη άσκησης, Σ_1), έγινε καταγραφή της απόκριση των ίδιων συστημάτων κατά την άσκηση τετρακεφάλου μύος μέσω ΗΜΕ για 20 λεπτά.

Κατόπιν, η δεύτερη συνθήκη άσκησης (Σ_2), ήταν η άσκηση τετρακεφάλου μυός μέσω εθελούσιας σύσπασης χαμηλής έντασης για 20 λεπτά, στην οποία καταγράφηκε η απόκριση των δύο συστημάτων.

Σχηματικά, ο ερευνητικός σχεδιασμός που ακολουθήθηκε είχε την εξής μορφή:



3.3. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Λήψη ιστορικού

Η αξιολόγηση της σωματικής υγείας του κάθε εθελοντή πραγματοποιήθηκε μέσω της λήψης εκτενούς ιστορικού, χρησιμοποιώντας το έντυπο συναίνεσης μετά από πληροφόρηση. Σε αυτό καταγράφηκαν πληροφορίες δημογραφικών στοιχείων και ατομικών χαρακτηριστικών, όπως τα στοιχεία γέννησης, τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά, το επάγγελμα, ενδεχόμενα χειρουργεία, αλλεργίες ή πιθανή λήψη φαρμακευτικής αγωγής (Παράρτημα Γ).

Αναστημόμετρο και Ζυγός ρυθμιζόμενων βαρών

Η μέτρηση των σωματικών χαρακτηριστικών, πραγματοποιήθηκε μέσω της καταγραφής του ύψους χρησιμοποιώντας το σταθερά τοποθετημένο αναστημόμετρο και του βάρους μέσω της χρήσης ζυγού ρυθμιζόμενων βαρών. Τα αποτελέσματα αυτών των δύο μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης μάζας σώματος (Body Mass Index, BMI) σε kg / m^2 , ο οποίος δεν έπρεπε να ξεπερνάει τα φυσιολογικά όρια ($\text{BMI} \leq 25 \text{ kg} / \text{m}^2$).

Ερωτηματολόγιο IPAQ_Gr

Για την αξιολόγηση επιπέδου Φυσικής Δραστηριότητας, χρησιμοποιήθηκε το διεθνές ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς καθημερινής φυσικής δραστηριότητας (IPAQ-Gr) για τις τελευταίες επτά ημέρες (Lee et al., 2011). Το ερωτηματολόγιο αυτό είναι σχεδιασμένο για χρήση από ενήλικες 18-69 ετών και παρέχει τη δυνατότητα κατηγοριοποίησης των υποβαλλόμενων σε τρία επίπεδα φυσικής δραστηριότητας ως εξής: α. επίπεδο υψηλής δραστηριότητας, β. επίπεδο μέτριας δραστηριότητας, γ. επίπεδο χαμηλής δραστηριότητας. Στο τέλος προκύπτει ένα σκορ φυσικής δραστηριότητας, το οποίο αντιπροσωπεύει την

ενεργειακή δαπάνη σε METs που καταναλώνονται κατά μέσο όρο ανά λεπτό την βδομάδα (min/wk). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το ερωτηματολόγιο έχει υψηλή αξιοπιστία εσωτερικής συνοχής 0,80 (Craig et al., 2003).

Ισοκινητικό Δυναμόμετρο

Η καταγραφή μέγιστης δύναμης τετρακεφάλου μυός πραγματοποιήθηκε μέσω του ισοκινητικού δυναμόμετρου “BIODEX III της εταιρείας Kistler”, με βαθμό αξιοπιστίας εσωτερικής συνοχής 0,97 (Van Driessche et al., 2018). Το μηχάνημα διαθέτει ειδικό λογισμικό καταγραφής ροπής του μέλους, και θέση με ζώνες ασφαλείας, ώστε να τοποθετείται ο συμμετέχων στην επιθυμητή θέση. Συγκεκριμένα, η πλάτη του καθίσματος ρυθμίστηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε η κεφαλή να βρίσκεται σε ευθεία με τη σπονδυλική στήλη και η ίδια να σχηματίζει γωνία 90 μοιρών με τα ισχία. Η λεκάνη έτσι βρέθηκε σε μέση θέση, και το πίσω μέρος του επικρατούς γόνατος απείχε δύο εκατοστά από το κάθισμα. Στη συνέχεια ο εθελοντής σταθεροποιήθηκε στη θέση με πέντε ζώνες ασφαλείας: δύο ζώνες στον κορμό, μία ζώνη αποφυγής ανεπιθύμητων κινήσεων της λεκάνης, μία ζώνη σταθερότητας του προς μέτρηση ισχίου και ένας ακόμη μάντας σταθεροποίησης του άκρου ποδός στον βραχίονα του μηχανήματος.

Το μηχάνημα ισοκινητικού δυναμόμετρου χρησιμοποιήθηκε τόσο για την μέτρηση μέγιστης ισομετρικής σύσπασης όσο και για την προσαρμογή παρόμοιας έντασης σύσπασης του τετρακεφάλου μυός και στις δύο συνθήκες άσκησης. Στην πρώτη περίπτωση ήταν προσαρμοσμένο σε λειτουργία δοκιμασίας ισομετρικής σύσπασης με κατεύθυνση προς έκταση του επικρατούς γόνατος, σε θέση 60 μοιρών έκτασης (Griffin et al., 1993). Ο συμμετέχων πραγματοποιούσε τρεις επαναλήψεις μέγιστης ισομετρικής δύναμης με ένα λεπτό διάλειμμα ανάμεσα στις μέγιστες προσπάθειες, με τελικό σκοπό την καταγραφή μέγιστης ισομετρικής δύναμης του μυός (Minogue et al., 2014).

Σκοπός της χρήσης του ισοκινητικού δυναμόμετρου, ήταν η καταγραφή της έντασης κάθε συστολής του τετρακεφάλου μυός κάθε συμμετέχοντα, ώστε να επιτυγχάνεται κάθε φορά παρόμοια ένταση σύσπασης του μυός στην 1^η και στην 2^η συνθήκη άσκησης. Στις δύο συνθήκες άσκησης (Σ_1 , Σ_2), χρησιμοποιήθηκε λειτουργία ισοκινητικής συστολής σε εύρος έκτασης του επικρατούς γόνατος 120-0 μοίρες, με γωνιακή ταχύτητα 400 μοίρες για κίνηση έκτασης γόνατος και 400 μοίρες για κίνηση κάμψης γόνατος (ελάχιστη έως καθόλου δυσκολία). Ο συνολικός χρόνος καταγραφής της κάθε συνθήκης άσκησης ήταν είκοσι λεπτά.

Αναλογικό Γωνιόμετρο

Για τον καθορισμό συγκεκριμένης θέσης της γωνίας της άρθρωσης του γόνατος στο ισοκινητικό δυναμόμετρο, χρησιμοποιήθηκε το αναλογικό γωνιόμετρο, τόσο στη μέτρηση μέγιστης δύναμης, όσο και στις δύο συνθήκες άσκησης (Σ_1 , Σ_2).

Κλίμακα Borg

Για την αξιολόγηση βαθμού ενόχλησης κατά τον ερεθισμό του μυός με ρεύμα, χρησιμοποιήθηκε η δεκάβαθμη κλίμακα Borg (Παράρτημα Ε), η αξιοπιστία της οποίας είναι υψηλή (0,8-0,9) (Chen et al., 2002).

Φορητό Σύστημα Εργοσπιρομετρίας

Η καταγραφή απόκρισης των αναπνευστικών, μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων, πραγματοποιήθηκε μέσω του φορητού συστήματος εργομετρίας METAMAX IIIB της εταιρείας Cortex, η αξιοπιστία του οποίου είναι υψηλή (αναφέρεται επίπεδο λάθους έως 2%) (Macfarlane and Wong, 2012). Το φορητό σύστημα εργομετρίας, επιλέγεται ως ένα από τα πιο έγκυρα και αξιόπιστα μέσα για μελέτες που αξιολογούν και καταγράφουν την απόκριση των συστημάτων και κατά τη δοκιμασία άσκησης και κατά τη διαδικασία δρομικών δοκιμασιών λειτουργικότητας (Balady et al., 2010). Στην παρούσα μελέτη καταγράφονταν μέσω του φορητού συστήματος εργοσπιρομετρίας, οι αποκρίσεις των παραμέτρων του αναπνευστικού και καρδιακού συστήματος ως εξής: α) αναπνευστικοί παράμετροι: ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E), ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (TV) και η αναπνευστική συχνότητα (BF), β) μεταβολικοί παράμετροι: η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) και γ) καρδιακές παράμετροι: το οξυγόνο παλμού (O_{2Pulse}) και η καρδιακή συχνότητα (HR).

Πριν τη χρήση του, το μηχάνημα βαθμονομήθηκε σε τρία επίπεδα: α) επίπεδο πίεσης: το σύστημα του μηχανήματος κατέγραφε τη θερμοκρασία και το βαρόμετρο του χώρου, β) επίπεδο όγκου αέρα: πραγματοποιήθηκε συγχρονισμός του μηχανήματος με τον όγκο διερχόμενου αέρα μέσω ειδικής σύριγγας 3 λίτρων και γ) επίπεδο αερίων: βαθμονομήθηκε η συσκευή με βάση τα αέρια του χώρου και στη συνέχεια με βάση τα αέρια διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου της ειδικής φιάλης βαθμονόμησης.

Συσκευή Ηλεκτροθεραπείας

Για τη σύσπαση του τετρακεφάλου μυός στην πρώτη συνθήκη άσκησης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή ηλεκτροθεραπείας MYOMED 932, ENRAF NONIUS, με βαθμό αξιοπιστίας 0,97 (Sigurdardottir et al., 2009). Με κύριο κριτήριο την επιθυμητή ενεργητική ισοτονική συστολή του τετρακεφάλου μυός, χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένες παράμετροι ρεύματος ως εξής: Ρεύμα συμβολής τετραπολικής μορφής, όπου στην περιοχή συμβολής το ερέθισμα είχε 75Hz τελική συχνότητα, με 50 πολυφασικούς παλμούς ανά δευτερόλεπτο, χρόνο σύσπασης 10 δευτερολέπτων και χρόνο ανόδου και καθόδου ένα δευτερόλεπτο. Ο χρόνος ανάπαυσης μεταξύ των συστολών ήταν 20 δευτερόλεπτα και η ένταση κάθε φορά ρυθμίστηκε στην μέγιστη ανεκτή για κάθε εθελοντή. Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ρεύματος έγινε μετά από δοκιμή και άλλων ειδών ρεύματος, όπως της διφασικής συμμετρικής μορφής, με διαφοροποίηση διάρκειας παλμών (μεταξύ 0,5ms και 1ms) και συχνοτήτων (χαμηλές, υψηλές). Σε κάθε άλλη περίπτωση δεν υπήρχε το αποτέλεσμα της επιθυμητής ισοτονικής κίνησης του μέλους, κυρίως λόγω μη ανοχής στην αίσθηση του ρεύματος, επομένως επιλέχθηκε το ρεύμα συμβολής που προκαλούσε ορατή κίνηση μέλους.

Επιλέχθηκαν συγκεκριμένου μεγέθους ηλεκτρόδια για όλους τους συμμετέχοντες (7x6cm), ώστε και να μην προκληθεί δερματικός ερεθισμός και να είναι κατάλληλα για το μέγεθος του τετρακεφάλου μυός. Η τοποθέτηση των τεσσάρων ηλεκτροδίων έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε η περιοχή στην οποία συνέβαλλαν τα αρχικά ρεύματα να συμπίπτει με το κινητικό σημείο του τετρακεφάλου μυός, με σκοπό την ενεργοποίηση του μηριαίου νεύρου (Εικόνα 3.1). Δύο ηλεκτρόδια (ένα από το πρώτο κανάλι και ένα από το δεύτερο κανάλι) τοποθετήθηκαν στο άνω ένα τρίτημόριο του τετρακεφάλου μυός, πέντε εκατοστά κάτω από την βουβωνική περιοχή και τα άλλα δύο ηλεκτρόδια (ένα από το πρώτο κανάλι και ένα από το δεύτερο κανάλι) τοποθετήθηκαν τρία εκατοστά πάνω από την επιγονατίδα, στον έσω και έξω πλατύ μυ αντίστοιχα, ακολουθώντας τις συστάσεις της αρθρογραφίας. Η επιλογή τεσσάρων ηλεκτροδίων (δύο καναλιών) έγινε κυρίως για να διευρύνει το πεδίο ερεθισμού του τετρακεφάλου μυός, ώστε να μην προκαλείται δυσανεξία στον συμμετέχοντα λόγω εντοπισμένης επίδρασης του ρεύματος.



Εικόνα 3.1: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ

3.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όλες οι μετρήσεις έλαβαν μέρος στο εργαστήριο Ανθρώπινης Απόδοσης και Αποκατάστασης του Τμήματος Φυσικοθεραπείας του ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδας, στο διάστημα Οκτώβριος-Νοέμβριος 2018.

3.4.1 ΑΡΧΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Αρχικά, οι δεκαπέντε εθελοντές ενημερώθηκαν για το σκοπό της έρευνας και τη διαδικασία των μετρήσεων (Παράρτημα Β). Μετά την απαραίτητη έγγραφη συναίνεση τους, πραγματοποιήθηκε η λήψη λεπτομερούς ιστορικού, όπου συμπληρώθηκαν τα στοιχεία γέννησης, σωματομετρικά χαρακτηριστικά, το επάγγελμα, χειρουργεία, δερματικές παθήσεις, αλλεργίες ή πιθανή λήψη φαρμακευτικής αγωγής (Παράρτημα Γ). Στη συνέχεια, δόθηκε για συμπλήρωση το διεθνές ερωτηματολόγιο αυτοαναφοράς καθημερινής φυσικής δραστηριότητας (International Physical Activity Questionnaires - Greece, IPAQ_Gr), ώστε να εκτιμηθεί το επίπεδο της φυσικής δραστηριότητας (Παράρτημα Δ). Έπειτα, πραγματοποιήθηκε μέτρηση ύψους και βάρους μέσω του σταθερά τοποθετημένου αναστημόμετρου και του ζυγού ρυθμιζόμενων βαρών, αντίστοιχα. Στόχος ήταν ο υπολογισμός του δείκτη μάζας σώματος (Body Mass Index, BMI) σε kg/m^2 , ο οποίος δεν έπρεπε να ξεπερνάει τα φυσιολογικά όρια ($\text{BMI} \leq 25 \text{ kg/m}^2$).

Όταν ολοκληρώθηκε η καταγραφή των στοιχείων των υποψηφίων και πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης στη μελέτη, ακολούθησε η αρχική μέτρηση των συμμετεχόντων (Αο). Στόχος, ήταν η καταγραφή της απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος στην ηρεμία για είκοσι λεπτά.

Συνθήκη Αο

Καταγραφή απόκρισης αναπνευστικών, μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων στην ηρεμία: Αφού πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση της φορητής συσκευής εργοσπιρομετρίας METAMAX ΠΙΒ, ακολούθησε η τοποθέτηση του πνευμονοταχογράφου σε μορφή προσωπίδας στο πρόσωπο του εθελοντή. Επίσης τοποθετήθηκε η ζώνη polar, ακριβώς κάτω από το στήθος και ανάμεσα στις δύο θηλές, για την καταγραφή των καρδιακών παραμέτρων. Στη συνέχεια, ο συμμετέχων τοποθετήθηκε σε ύπτια θέση και δόθηκαν σαφείς οδηγίες χαλάρωσης. Ακολούθησε η μέτρηση απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος για είκοσι λεπτά.

Καταγράφηκαν: α) ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E), β) ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (TV), γ) η αναπνευστική συχνότητα (BF), δ) η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) ε) το οξυγόνο παλμού (O_{2pulse}) και στ) η καρδιακή συχνότητα (HR).

Καταγραφή Μέγιστης Ισομετρικής Σύσπασης: Κατόπιν πραγματοποιήθηκαν τρεις μέγιστες επαναλήψεις ισομετρικής σύσπασης του τετρακεφάλου μυός στο ισοκινητικό δυναμόμετρο, με διάλειμμα ενός λεπτού μεταξύ των προσπαθειών. Στόχος αυτής της μέτρησης, ήταν οι τρεις μέγιστες προσπάθειες ισομετρικής σύσπασης τετρακεφάλου μυός, από τις οποίες η υψηλότερη τιμή δύναμης χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική ανάλυση.

3.4.2. 1^Η ΣΥΝΘΗΚΗ ΑΣΚΗΣΗΣ: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΠΑΣΗ ΤΕΤΡΑΚΕΦΑΛΟΥ ΜΥΟΣ ΜΕΣΩ ΗΜΕ

Πριν την έναρξη της πρώτης συνθήκης άσκησης, πραγματοποιήθηκε εξοικείωση κάθε συμμετέχοντα με την αίσθηση του ρεύματος στον τετρακέφαλο μυ. Τοποθετημένος ο συμμετέχων στη θέση του ισοκινητικού δυναμόμετρου, δέχτηκε ΗΜΕ για χρονικό διάστημα πέντε λεπτών, ώστε να επέλθει η εξοικείωση του ερεθισμού στον τετρακέφαλο

μυ και να καταγραφεί η μέγιστη επιθυμητή ένταση ρεύματος που προκαλούσε ορατή κίνηση έκτασης γόνατος.

Κατόπιν, ο υποβαλλόμενος παρέμεινε στην ίδια θέση του ισοκινητικού δυναμόμετρου, τα ηλεκτρόδια του ΗΜΕ βρίσκονταν τοποθετημένα διαδερμικά στον τετρακέφαλο μυ και η προσωπίδα της φορητής συσκευής εργοσπιρομετρίας τοποθετήθηκε στο πρόσωπό του (Εικόνα 3.2). Στόχος, ήταν η καταγραφή της απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά την εφαρμογή είκοσι λεπτών ΗΜΕ στον τετρακέφαλο μυ. Σε κάθε λεπτό της συνθήκης, ο υποβαλλόμενος εκτελούσε δύο συστολές των δέκα δευτερολέπτων με είκοσι δευτερόλεπτα χαλάρωσης. Στην διάρκεια των είκοσι λεπτών πραγματοποιήθηκαν σαράντα συσπάσεις, με υψηλή συχνότητα ρεύματος (75Hz) και ένταση ρεύματος που κυμαίνονταν από 30 έως 58 mA.

Στη διάρκεια των είκοσι λεπτών καταγράφηκαν: α) ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E), β) ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (TV), γ) η αναπνευστική συχνότητα (BF), δ) η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) ε) το οξυγόνο παλμού (O_{2pulse}) και στ) η καρδιακή συχνότητα (HR).

Μετά το πέρας των είκοσι λεπτών μέτρησης της πρώτης συνθήκης, τα μηχανήματα απομακρύνθηκαν από το συμμετέχοντα και ακολούθησε διάλειμμα τριάντα λεπτών, με στόχο να ξεκουραστεί, να χαλαρώσει και να επανέλθει κάθε παράμετρος μέτρησης σε αρχική συνθήκη ηρεμίας. Σε πολλούς προτάθηκε να καθίσουν σε καρέκλα ή να περπατήσουν για πέντε λεπτά. Σε αυτό το διάστημα πραγματοποιούνταν η καταγραφή βαθμού ενόχλησης του ρεύματος, μέσω της κλίμακας Borg. Προς το τέλος της περιόδου ανάπαυσης, πραγματοποιήθηκε προφορική επεξήγηση της δεύτερης συνθήκης άσκησης.



Εικόνα 3.2: 1^η συνθήκη άσκησης, εξοπλισμός

3.4.3 2^η ΣΥΝΘΗΚΗ ΆΣΚΗΣΗΣ: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΣΠΑΣΗ ΤΕΤΡΑΚΕΦΑΛΟΥ ΜΥΟΣ ΜΕΣΩ ΕΘΕΛΟΥΣΙΑΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ

Κατόπιν κάθε ένας συμμετέχων, τοποθετήθηκε ξανά στην ίδια θέση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο, φόρεσε τον εξοπλισμό του φορητού συστήματος εργοσπιρομετρίας και πραγματοποίησε εθελούσια σύσπαση τετρακεφάλου. Η ένταση της εθελούσιας συστολής του τετρακεφάλου μυός ήταν παρόμοια με αυτή που πραγματοποιήθηκε κατά τη συστολή με ΗΜΕ (Σ_1). Η παρόμοια ένταση συστολής και στις δύο συνθήκες (Σ_1 , Σ_2) εξασφαλίστηκε με τη χρήση του ισοκινητικού δυναμόμετρου. Παρόμοια, η ίδια χρονική διάρκεια σύσπασης παρέμεινε και κατά την εθελούσια συστολή, δηλαδή δέκα δευτερόλεπτα σύσπασης με είκοσι δευτερόλεπτα χαλάρωσης. Στη διάρκεια των είκοσι λεπτών πραγματοποιήθηκαν σαράντα συσπάσεις. Ίδιος παρέμεινε και ο συνολικός χρόνος άσκησης είκοσι λεπτών και στην εθελούσια συστολή και μέσω του φορητού συστήματος εργοσπιρομετρίας καταγράφηκαν α) ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E), β) ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (TV), γ) η αναπνευστική συχνότητα (BF), δ) η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) ε) το οξυγόνο παλμού (O_{2pulse}) και στ) η καρδιακή συχνότητα (HR).

3.5. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για κάθε παράμετρο αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος, ο μέσος όρος των είκοσι λεπτών για κάθε μία από τις συνεδρίες άσκησης (Σ_1 , Σ_2) και ηρεμίας (A_0).

Όλες οι τιμές των αναπνευστικών, μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων, καθώς και των σωματομετρικών χαρακτηριστικών εκφράστηκαν ως μέσοι όροι και τυπική απόκλιση ($\text{mean} \pm \text{SD}$). Για κάθε παράμετρο χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος Shapiro Wilk, για τον έλεγχο της κανονικότητας κατανομής. Όλες οι μεταβλητές παρουσίασαν κανονική κατανομή και χρησιμοποιήθηκαν παραμετρικοί έλεγχοι (Παράρτημα ΣΤ).

Για τη διερεύνηση διαφορών απόκρισης των συστημάτων, τόσο μεταξύ των δύο συνθηκών άσκησης (Σ_1 , Σ_2), όσο και μεταξύ της συνθήκης ηρεμίας (A_0) με κάθε συνθήκη άσκησης ξεχωριστά, χρησιμοποιήθηκε ο παραμετρικός έλεγχος για εξαρτημένα δείγματα Paired T-Test.

Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$.

Όλες οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS - Windows 22.0 (SPSS Inc, Chicago, IL)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων (ανθρωπομετρικά, σωματομετρικά), το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας, τα επίπεδα μέγιστης ισομετρικής δύναμης τετρακεφάλου μυός, η ανοχή της αίσθησης του ρεύματος και η απόκριση του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος σε κάθε μία από τις συνθήκες άσκησης και ηρεμίας. Οι οργανικές παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν: ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E), ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (TV), η αναπνευστική συχνότητα (BF), η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) το οξυγόνο παλμού (O_{2pulse}) και η καρδιακή συχνότητα (HR). Σε κάθε τιμή, καταγράφεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του δείγματος των δεκαπέντε συμμετεχόντων.

4.1. ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Στον πίνακα 4.1, παρουσιάζονται τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των δεκαπέντε συμμετεχόντων, όπως καταγράφηκαν στις αρχικές μετρήσεις: η ηλικία, τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά (ύψος, βάρος, δείκτης μάζας σώματος) και το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας (ερωτηματολόγιο IPAQ_Gr).

Ο μέσος όρος ηλικίας είναι τα 54 έτη, με φυσιολογικό δείκτη μάζας σώματος.

Οι δεκαπέντε συμμετέχοντες παρουσίασαν κατά μέσο όρο φυσική δραστηριότητα ανάλογη με ενεργειακή δαπάνη $2669 \text{ METs} \cdot \text{min} \cdot \text{wk}^{-1}$, όπου σύμφωνα με τα κριτήρια ταξινόμησης του αυτοαναφερόμενου ερωτηματολογίου IPAQ_Gr, κατατάσσονται στο προφίλ μέτριας φυσικής δραστηριότητας.

Πίνακας 4.1: Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά συμμετεχόντων και Φυσική Δραστηριότητα (Μέση τιμή \pm Τυπική Απόκλιση)

N = 15 *	Μέση Τιμή \pm Τυπική Απόκλιση
Ηλικία (έτη)	54 \pm 4
Ύψος (cm)	177 \pm 3
Βάρος (kg)	80 \pm 8
Δείκτης Μάζας Σώματος, ΔΜΣ (kg/m^2)	25,7 \pm 2,4

Φυσική Δραστηριότητα (METs·min ⁻¹ ·wk ⁻¹)	2669 ± 2414
--	-------------

*N = Αριθμός εθελοντών

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΗΣ ΤΕΤΡΑΚΕΦΑΛΟΥ ΜΥΟΣ

Στις αρχικές μετρήσεις, μέσω του ισοκινητικού δυναμόμετρου καταγράφηκαν οι τιμές της μέγιστης ισομετρικής σύσπασης τετρακεφάλου μυός για κάθε συμμετέχοντα. Η μέση τιμή ροπής αυτών των προσπαθειών ήταν 207Nm (\approx 21kg), με εύρος τιμών 140-280Nm. Η έκφραση της ποσοστιαίας αναλογίας αυτής της δύναμης (F) σε κιλά προς το βάρος σώματος των συμμετεχόντων (σε κιλά) ήταν 26,3% (Πίνακας 4.2).

Στις δύο συνθήκες άσκησης (Σ_1 , Σ_2), το ποσοστό της παραγόμενης δύναμης του τετρακεφάλου μυός ήταν κατά μέσο όρο 5,4 \pm 2,1% και 5,7 \pm 2,3%, αντίστοιχα, της μέγιστης ισομετρικής δύναμης του μυός (Πίνακας 4.2.).

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα δύναμης κατά τις δύο Συνθήκες Άσκησης (Μέση Τιμή \pm Τυπική Απόκλιση)

N = 15	Μέση Τιμή \pm Τυπική Απόκλιση
Μέγιστη ισομετρική ροπή Τετρακεφάλου (Nm)*	207 \pm 46
Ποσοστό άσκησης μυός –στην 1 ^η συνθήκη (%)	5,4 \pm 2,1
Ποσοστό άσκησης μυός – στην 2 ^η συνθήκη (%)	5,7 \pm 2,3
F / Body weight (%)	26,3

*Nm = μονάδα μέτρησης ροπής τετρακεφάλου μυός

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΈΝΤΑΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ, ΑΝΟΧΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΥΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Κατά την πρώτη συνθήκη άσκησης (Σ_1), η σύσπαση του τετρακεφάλου μυός επιτεύχθηκε μέσω του HME και της χρήσης ρευμάτων συμβολής υψηλής συχνότητας, όπου η μέγιστη ένταση ρεύματος που εφαρμόστηκε στο δείγμα ήταν κατά μέσο όρο 39 mA, με εύρος έντασης ρεύματος 30 έως 58 mA. Η ανοχή (δυσφορία) της αίσθησης του ρεύματος αξιολογήθηκε μέσω της δεκάβαθμης κλίμακας Borg, όπου καταγράφηκε μέση τιμή 4,7 με εύρος τιμών ανοχής στο ρεύμα από δύο έως επτά βαθμοί. Και στις δύο συνθήκες άσκησης

(Σ_1 , Σ_2), το εύρος κίνησης έκτασης γόνατος, καταγράφηκε μέσω αναλογικού γωνιόμετρου, με μέσο όρο τις 42 μοίρες (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα έντασης ρεύματος, ανοχής ρεύματος και εύρους κίνησης κατά τις Συνθήκες Άσκησης (Σ_1 , Σ_2) (Μέση Τιμή \pm Τυπική Απόκλιση)

N = 15	Μέση Τιμή \pm Τυπική Απόκλιση
Ένταση Ρεύματος (mA)*	39 \pm 8,5
Ανοχή Ρεύματος (Κλίμακα Borg 0-10 βαθμοί)	4,7 \pm 0,4
Εύρος Κίνησης Έκτασης Γόνατος (μοίρες)	42 \pm 19

*mA = Μονάδα μέτρησης έντασης ρεύματος

4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μέσων τιμών και των τυπικών αποκλίσεων που αναγράφονται στον πίνακα 4.4, μεταξύ της συνθήκης ηρεμίας (A_0) και των δύο συνθηκών άσκησης (Σ_1 , Σ_2) υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά τόσο στο αναπνευστικό όσο και στο κυκλοφορικό σύστημα. Αντιθέτως, μεταξύ των δύο συνθηκών άσκησης (Σ_1 , Σ_2) οι αναπνευστικοί, μεταβολικοί και καρδιακοί παράμετροι δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ($p < 0,05$).

Οι αναπνευστικές παράμετροι έχουν ως εξής: ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E) αυξάνεται κατά την άσκηση στη $\Sigma_1 = 10,8 \pm 1,2$ L/min και στη $\Sigma_2 = 10,6 \pm 1,7$ L/min συγκριτικά με την συνθήκη ηρεμίας $A_0 = 9,4 \pm 1,5$ L/min. Ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (V_T), αυξάνεται κατά την άσκηση ($\Sigma_1 = 0,58 \pm 0,07$ L και $\Sigma_2 = 0,58 \pm 0,09$ L) συγκριτικά με την συνθήκη ηρεμίας ($A_0 = 0,54 \pm 0,08$ L), όπως συμβαίνει και με την αναπνευστική συχνότητα (BF), όπου $\Sigma_1 = 19 \pm 2$ αναπνοές/λεπτό και $\Sigma_2 = 19 \pm 1$ αναπνοές/λεπτό, συγκριτικά με την συνθήκη ηρεμίας $A_0 = 13 \pm 0,7$ αναπνοές/λεπτό. Η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) επίσης αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά τις συνθήκες άσκησης $\Sigma_1 = 0,27 \pm 0,03$ L/min και $\Sigma_2 = 0,27 \pm 0,04$ L/min, συγκριτικά με την συνθήκη ηρεμίας $A_0 = 0,24 \pm 0,03$ L/min. Διαφορά παρατηρείται και στις κεντρικές παραμέτρους του καρδιαγγειακού συστήματος, όπου εμφανίζεται στατιστικά σημαντική αύξηση των τιμών οξυγόνου παλμού (O_{2Pulse}) κατά τις συνθήκες άσκησης $\Sigma_1 = 3,9 \pm 0,5$ ml και $\Sigma_2 = 4 \pm 0,6$ ml, συγκριτικά με την συνθήκη ηρεμίας

$A_0 = 3 \pm 0,4$ ml, και των τιμών της καρδιακής συχνότητας (HR), με $\Sigma_1 = 68 \pm 7$ χτύποι/λεπτό και $\Sigma_2 = 67 \pm 8$ χτύποι/λεπτό, συγκριτικά με την συνθήκη ηρεμίας $A_0 = 67 \pm 7$ χτύποι/λεπτό.

Πίνακας 4.4: Αποτελέσματα απόκρισης Αναπνευστικού και Κυκλοφορικού συστήματος στη συνθήκη Ηρεμίας και στις δύο συνθήκες άσκησης (Μέση τιμή \pm Τυπική Απόκλιση)

Παράμετροι	Ηρεμία	Συνθήκη 1: HME	Συνθήκη 2: Εθελούσια
Πνευμονικός Αερισμός, VE (l / min)	9,4 \pm 1,5	10,8 \pm 1,2*	10,6 \pm 1,7**
Αναπνεόμενος Όγκος Αέρα, VT (l)	0,54 \pm 0,08	0,58 \pm 0,07*	0,58 \pm 0,09**
Αναπνευστική Συχνότητα, BF (breaths / min)	13 \pm 0,7	19 \pm 2*	19 \pm 1**
Πρόσληψη Οξυγόνου, VO2 (l/min)	0,24 \pm 0,03	0,27 \pm 0,03*	0,27 \pm 0,04**
Οξυγόνο Παλμού, O2Pulse (ml)	3 \pm 0,4	3,9 \pm 0,5*	4 \pm 0,6**
Καρδιακή Συχνότητα, HR (beats / min)	67 \pm 7	68 \pm 7*	67 \pm 8**

*Στατιστικά σημαντική διαφορά της συνθήκης 1 με την ηρεμία, επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$

**Στατιστικά σημαντική διαφορά της συνθήκης 2 με την ηρεμία, επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η παρούσα μελέτη σχεδιάστηκε με σκοπό να μελετήσει την απόκριση αναπνευστικών, μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων μίας μονής συνεδρίας άσκησης μέσω ΗΜΕ έναντι εθελούσιας συστολής του τετρακεφάλου μυός, παρόμοιας έντασης και χρονικής διάρκειας.

Στην παρούσα έρευνα φάνηκε ότι μεταξύ των δύο συνθηκών άσκησης (Σ_1 , Σ_2), οι παράμετροι αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος δε διέφεραν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ($p < 0,05$). Παρατηρήθηκε ότι ο αναπνεόμενος όγκος αέρα (V_T) και η αναπνευστική συχνότητα (BF) δεν διαφοροποιήθηκαν κατά τις δύο συνθήκες άσκησης, με αποτέλεσμα να μην υπάρξει αλλαγή και στον κατά λεπτό πνευμονικό αερισμό (V_E). Το ίδιο συνέβη και με τις παραμέτρους του κυκλοφορικού συστήματος, καθώς η μη διαφοροποίηση της καρδιακής συχνότητας (HR) και της πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), οδήγησε στην παρόμοια τιμή οξυγόνου παλμού (O_{2pulse}).

Παρόμοια αποτελέσματα, καταγράφονται και σε μία άλλη μελέτη, η οποία διεξήχθη σε οχτώ υγιείς άνδρες ($22,8 \pm 0,6$ ετών), οι οποίοι έλαβαν μία μονή συνεδρία με είκοσι λεπτά ΗΜΕ σε τετρακέφαλο μυ, οπίσθιους μηριαίους και πρόσθιο κνημιαίο μυ και έπειτα από διάστημα μίας εβδομάδας πραγματοποίησαν μία άλλη μονή συνεδρία με στατική ποδηλασία ήπιας έντασης (50 περιστροφές/ λεπτό). Στην προκειμένη μελέτη, τα επίπεδα πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), η καρδιακή συχνότητα και το αναπνευστικό πηλίκο (VCO_2/VO_2), δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ των δύο συνθηκών άσκησης. Η μόνη διαφοροποίηση ήταν η άμεση αύξηση των τιμών της καρδιακής συχνότητας και του αναπνευστικού πηλίκου στην αρχή της συνθήκης ΗΜΕ (Hamada et al., 2004). Παρόμοια, σε μία μεταγενέστερη μελέτη, πραγματοποιώντας μία μονή συνεδρία ΗΜΕ χαμηλής συχνότητας (15 Hz) έναντι μίας μονής συνεδρίας ΗΜΕ υψηλής συχνότητας (75 Hz) στον τετρακέφαλο μυ δεκαεπτά ασθενών με ΧΑΠ, καταγράφηκε παρόμοια αύξηση πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), κατά λεπτό πνευμονικού αερισμού (V_E), δύσπνοιας και κόπωσης. Αυτό συνέβη καθώς οι διαφορετικές συχνότητες ΗΜΕ δε διαφοροποιούν τη μυϊκή μάζα που ασκείται (Sillen et al., 2011).

Η απόκριση αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος, εξαρτάται από τη μυϊκή μάζα που χρησιμοποιείται προς άσκηση (Weippert et al., 2015). Στη δική μας μελέτη χρησιμοποιήσαμε μεγάλης συχνότητας HME (75 Hz) και υψηλής έντασης ηλεκτροδιέγερση ($39 \pm 8,5$ mA), παράγοντας ίδια ποσότητα δύναμης τετρακεφάλου μυός και στις δύο συνθήκες άσκησης (Σ_1 , Σ_2) (Πίνακας 4.2), με αποτέλεσμα το αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα να ανταποκρίνονται με τον ίδιο τρόπο, τόσο στη συνθήκη άσκησης με HME όσο και στην εθελούσια άσκηση.

Η παραγωγή ίδιας ποσότητας δύναμης του τετρακεφάλου μυός κατά τις δύο συνθήκες άσκησης, όπως διατηρήθηκε μέσω της χρήσης του ισοκινητικού δυναμόμετρου, αποτελεί μία ένδειξη καινοτομίας, καθώς δεν έχει χρησιμοποιηθεί αυτό το μέσο για παρόμοιο σκοπό, με εξαίρεση τη μελέτη των Minogue και συνεργατών οι οποίοι χρησιμοποίησαν ισοκινητικό δυναμόμετρο για τη μέτρηση ισομετρικής σύσπασης μέσω HME και μόνο (Minogue et al., 2014). Επίσης, η επιλογή ήπιας εθελούσιας συστολής έναντι της συστολής με ηλεκτροδιέγερση, καθιστά την παρούσα μελέτη καινοτόμα, καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση μελέτης η επιλογή παραγόμενης δύναμης είναι ισομετρική, σε αντίθεση με τη δική μας μελέτη κατά την οποία η παραγόμενη δύναμη είναι ισοτονική ήπιας έντασης. Προηγούμενες μελέτες συγκρίνουν την απόκριση αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά την παραγωγή ισομετρικής σύσπασης μέσω HME, είτε έναντι της φάσης ηρεμίας (Minogue et al., 2014), είτε έναντι ήπιας έντασης άσκησης όπως είναι η στατική ποδηλασία χωρίς αντίσταση (Hamada et al., 2004). Επομένως, παρόμοια παρέμβαση συνθηκών άσκησης δεν έχει πραγματοποιηθεί και μάλιστα σε ανδρικό πληθυσμό μέσης ηλικίας (45-58 ετών), καθώς οι περισσότερες μελέτες έχουν επιλέξει μεγαλύτερο ηλικιακό δείγμα (20-63 ετών) (Hsu et al., 2011).

Από τα αποτελέσματα της μελέτης μας, διαπιστώθηκε επίσης ότι για κάθε παράμετρο του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος, οι τιμές των δύο συνθηκών άσκησης (Σ_1 , Σ_2) διέφεραν στατιστικά σημαντικά από τις τιμές της Συνθήκης Ηρεμίας (A_0), με επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$. Συγκεκριμένα, κατά τις δύο συνθήκες άσκησης (Σ_1 , Σ_2), ο κατά λεπτό πνευμονικός αερισμός (V_E) αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά συγκριτικά με τη συνθήκη ηρεμίας (A_0), γεγονός το οποίο οφείλεται στην παράλληλη αύξηση των τιμών του αναπνεόμενου όγκου αέρα (V_T) και της αναπνευστικής συχνότητας (BF) κατά την άσκηση. Επίσης, διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στις κεντρικές παραμέτρους του καρδιαγγειακού συστήματος, όπου εμφανίζεται στατιστικά σημαντική αύξηση των τιμών

πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) και της καρδιακής συχνότητας (HR) κατά την διάρκεια της άσκησης (Σ_1 και Σ_2). Η αύξηση αυτών των δύο παραμέτρων, οδήγησε στην αύξηση των τιμών οξυγόνου παλμού (O_{2Pulse}) κατά τις δύο συνθήκες άσκησης συγκριτικά με τη συνθήκη ηρεμίας (A_0) (Πίνακας 4.4). Τα παραπάνω αποτελέσματα συμβαίνουν καθώς όσο αυξάνεται η μυϊκή μάζα που ασκείται, τόσο βελτιώνεται και η απόκριση αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος (π.χ. πρόσληψη οξυγόνου, VO_2) (Weippert et al., 2015). Εφόσον ο HME ασκεί ένα ποσοστό της μυϊκής μάζας, είναι επόμενο να διαφοροποιείται η απόκριση αναπνευστικών και κυκλοφορικών παραμέτρων από τη φάση ηρεμίας.

Παρόμοια με την αύξηση των παραμέτρων της παρούσας μελέτης ήταν αυτά μία άλλης μελέτης σε σαράντα υγείς εθελοντές, ηλικίας 20-63 ετών. Συγκεκριμένα, καταγράφηκε ότι όσο περισσότερο αυξάνονταν η ένταση ηλεκτρικού ρεύματος σε μία μονή συνεδρία άσκησης τριάντα λεπτών με HME και όσο μεγαλύτερη και πιο ορατή ήταν η σύσπαση του μυός, τόσο περισσότερο παρουσιάζονταν αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), του αναπνευστικού πηλίκου και της κατανάλωσης ενέργειας (Hsu et al., 2011). Σε μία ακόμη μελέτη έντεκα υγιών ατόμων, με μέση τιμή ηλικίας τα 23 έτη, πραγματοποιήθηκε άσκηση σε στατικό ποδήλατο, όπου ανά χρονικά διαστήματα συνδυάζονταν ο HME ως παράλληλη άσκηση με το στατικό ποδήλατο. Τη χρονική διάρκεια συνδυαστικής άσκησης με HME, η συσκευή εργοσπιρομετρίας κατέγραψε βελτίωση επιπέδων της πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), της καρδιακής συχνότητας και του αναπνευστικού πηλίκου, συγκριτικά με τη χρονική διάρκεια άσκησης μόνο με στατικό ποδήλατο (Watanabe et al., 2014). Επίσης, σε μία μεταγενέστερη έρευνα, πραγματοποιήθηκε μονή συνεδρία τριάντα λεπτών με HME στον τετρακέφαλο και στο γαστροκνήμιο μυ, σε τριάντα τέσσερις άνδρες με οξύ έμφραγμα μυοκαρδίου, ανεξαρτήτου ηλικίας. Σκοπός της μελέτης ήταν να συγκρίνουν εάν η απόκριση των καρδιαγγειακών παραμέτρων ήταν διαφορετική μεταξύ της πρώτης συνθήκης άσκησης τετρακεφάλου μυός μέσω HME με ορατή σύσπαση (υψηλής έντασης) και της δεύτερης συνθήκης άσκησης του ίδιου μυός μέσω placebo HME, ώστε να μην παράγεται σύσπαση. Μετά το πέρας της συνεδρίας, στην ομάδα με την πρώτη συνθήκη HME, καταγράφηκε αύξηση στα επίπεδα περιφερικής αιμάτωσης των κάτω άκρων μέσω μίας ειδικής συσκευής που καταγράφει την αιματική ροή (Endo-PAT 2000) και αύξηση της καρδιακής συχνότητας μέσω του Ηλεκτροκαρδιογραφήματος, συγκριτικά με την ομάδα με τη δεύτερη συνθήκη HME (Tanaka et al., 2016).

Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα σε μελέτες που έχουν παρουσιάσει βελτίωση των παραμέτρων του αναπνευστικού και του κυκλοφορικού συστήματος, μετά από πολυάριθμες συνεδρίες άσκησης με ΗΜΕ. Συγκεκριμένα, στην πρώτη μελέτη, πραγματοποιήθηκε μία αρχική συνεδρία καταγραφής μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων, ακολούθησαν εννιά συνεδρίες συστηματικής άσκησης μίας ώρας με ΗΜΕ και στο τέλος πραγματοποιήθηκε μία τελική συνεδρία ΗΜΕ ως επαναληπτικός έλεγχος απόκρισης των μεταβολικών και καρδιακών παραμέτρων. Φάνηκε ότι στην τελική συνεδρία βελτιώθηκαν σημαντικά τα επίπεδα πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) (13%) και καρδιακής συχνότητας (Κ.Σ) (10%), συγκριτικά με την αρχική συνεδρία ΗΜΕ που πραγματοποιήθηκε πριν τη συστηματική άσκηση με ηλεκτροδιέγερση (Crognale et al., 2013). Παρόμοια αποτελέσματα στις προαναφερθείσες κύριες παραμέτρους του καρδιαγγειακού συστήματος, καταγράφηκαν και σε επόμενη έρευνα. Όπως φάνηκε μετά από τη συστηματική εφαρμογή ΗΜΕ επί δύο εβδομάδες σε υγιείς νέους, με μέση τιμή ηλικίας 29,2 έτη, η πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) και καρδιακής συχνότητας βελτιώθηκε μακροπρόθεσμα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου που δεν έλαβε παρέμβαση με ΗΜΕ. Τα αποτελέσματα καταγράφηκαν μέσω του πνευμονοταχογράφου σε μορφή προσωπίδας, παρουσιάζοντας μεγαλύτερη διαφοροποίηση τιμών στο γυναικείο φύλο (Lee et al., 2012a). Εξίσου, σε μία προγενέστερη μελέτη σε δεκαπέντε υγιείς εθελοντές, μετά από 29 συνεδρίες συστηματικής άσκησης με ΗΜΕ εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική βελτίωση των επιπέδων πρόσληψης οξυγόνου (VO_2) συγκριτικά με τη φάση πριν τη συστηματική άσκηση, όπως καταγράφηκε μέσω φορητής εργοσπιρομετρίας, χωρίς όμως να υπάρξει αντίστοιχα σημαντική αλλαγή στο δείκτη μάζας σώματος (Banerjee et al., 2005).

ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η επιλογή τύπου ρεύματος έγινε με κύριο κριτήριο την πραγματοποίηση της κλινικής σημασίας της μελέτης μας, δηλαδή την πρόκληση ενεργητικής ισοτονικής συστολής μόνο μέσω της επίδρασης του ΗΜΕ, κάτι το οποίο δεν αναφέρεται σε προηγούμενες μελέτες. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού βρέθηκε πιο ανεκτό ρεύμα (ήπιος έως μέτριος βαθμός ανοχής) το ρεύμα συμβολής με τελική συχνότητα 75Hz, καθώς ήταν πιο αποδεκτό αισθητικά από τους συμμετέχοντες, συγκριτικά με άλλους τύπους ρεύματος οι οποίοι προτείνονται στην αρθρογραφία. Πιο συγκεκριμένα, σε προγενέστερες έρευνες αναφέρεται η χρήση άλλων μορφών ρεύματος, όπως πιο συχνά καταγράφονται συμμετρικοί διφασικοί παλμοί τετράγωνης μορφής, με εύρος επιλεγόμενων συχνοτήτων από χαμηλές (15Hz) έως

υψηλές (75Hz) και εύρος παλμού 100 έως 400μs (Sillen et al., 2011, Minogue et al., 2014, Hsu et al., 2011). Στις προαναφερθείσες μελέτες όμως δεν αναφέρετε ορατή ισοτονική άσκηση του μέλους, παρά μόνο ορατή σύσπαση του μυός, κάτι το οποίο δεν επιτεύχθηκε και στην δική μας περίπτωση όταν έγινε ο δοκιμαστικός έλεγχος προτεινόμενου τύπου ρεύματος, λόγω της μη ανοχής στην αίσθηση του ρεύματος διαδερμικά.

Επίσης, ενδεχομένως η χρήση μεγαλύτερης συχνότητας στα ρεύματα συμβολής (100-120Hz) να μπορούσε να προκαλέσει ταχεία συστολή μυϊκών ινών, δημιουργώντας ακόμη πιο τετανική σύσπαση τετρακεφάλου μυός, ερεθίζοντας περισσότερο τις γλυκολυτικές μυϊκές ίνες (τύπου II), στοχεύοντας στην αύξηση της μυϊκής ισχύος (Dal Corso et al., 2007). Μέσω αυτής της διαφοροποίησης, τονίζεται η κλινική σημασία της μελέτης, όσον αφορά την παροχή άσκησης σε πληθυσμό ατόμων που δεν μπορούν να εκτελέσουν άλλο πρόγραμμα αποκατάστασης.

ΑΝΟΧΗ ΣΤΗΝ ΑΙΣΘΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα μελέτη, η ανοχή (δυσφορία) της αίσθησης του ρεύματος αξιολογήθηκε μέσω της δεκάβαθμης κλίμακας Borg. Η μέση τιμή του δείγματος ήταν 4,7, με εύρος ανοχής στο ρεύμα το ελαφρά (σκορ 2) έως βαριά (σκορ 7). Η επιλεγόμενη μέγιστη ανεκτή ένταση ρεύματος διέφερε για κάθε υποβαλλόμενο, με τη μέση τιμή του δείγματος να είναι 39 ± 8 mA. (Πίνακας 4.2, 4.3).

Στις περισσότερες μελέτες, αναφέρεται ότι επιλέγεται η μέγιστη ανεκτή ένταση ρεύματος για τον κάθε συμμετέχοντα, με σκοπό την όσο το δυνατό μέγιστη σύσπαση των επιλεγόμενων μυϊκών ομάδων, χωρίς όμως να υπερέχουν των ορίων ανοχής. Αναφορά στη μέγιστη ένταση ρεύματος γίνεται μόνο στη μελέτη των Minogue και συνεργατών, αναφέροντας ένταση HME έως και 200 mA (Minogue et al., 2014), στη μελέτη των Lee και συνεργατών, καταγράφοντας έως και 100 mA (Lee et al., 2012a) και στη μελέτη των Crognale και συνεργατών, με επιλογή έντασης ρεύματος τουλάχιστον τα 40 mA. Στη συγκεκριμένη μελέτη των Crognale, αναφέρεται η δυνατότητα των υποβαλλόμενων να εξοικειώνονται στην αίσθηση του ρεύματος, καθώς καταγράφηκαν μεγαλύτερα επίπεδα ανοχής μετά από εννιά συνεδρίες μίας ώρας με HME (Crognale et al., 2013). Η επιλεγόμενη και υποφερτή ένταση ρεύματος είναι σημαντική παράμετρος ρύθμισης σε

κάθε περίπτωση άσκησης με ΗΜΕ, καθώς όσο περισσότερο αυξάνεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η σύσπαση των επιλεγόμενων μυϊκών ομάδων παράγοντας έργο.

ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΥΩΝ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΗΜΕ

Στην παρούσα μελέτη, η μέση τιμή ροπής των μέγιστων προσπαθειών των 15 συμμετεχόντων ήταν 207Nm (\approx 21kg), με εύρος τιμών 140-280Nm, ενώ στις δύο συνθήκες άσκησης (Σ_1 , Σ_2) το ποσοστό της παραγόμενης δύναμης του τετρακεφάλου μύος ήταν κατά μέσο όρο 5,4% και 5,7%, αντίστοιχα της μέγιστης ισομετρικής δύναμης του μύος (Πίνακας 4.2). Παρά το μικρό ποσοστό σύσπασης, η ισοτονική κίνηση του μέλους ήταν εμφανής, με μέση τιμή των εθελοντών τις 42 μοίρες κίνησης έκτασης γόνατος.

Στη μία μελέτη που χρησιμοποίησε ισοκινητικό δυναμόμετρο για την καταγραφή δύναμης, συμμετείχαν έντεκα υγιείς άνδρες ηλικίας 19-53 ετών, με βάρος σώματος 58-100 kg. Κατά την ηλεκτροδιέγερση του τετρακεφάλου μύος καταγράφηκε ποσοστό δύναμης ίση με 12% της μέγιστης ισομετρικής του δείγματος, με μέση τιμή ισομετρικής σύσπασης τα 275Nm (εύρος τιμών 163-379Nm). Η ανοχή στο ρεύμα ήταν μεγάλη, καθώς καταγράφηκε έως και 200mA ένταση ρεύματος (Minogue et al., 2014). Στη δική μας μελέτη, το ποσοστό της παραγόμενης δύναμης ήταν πολύ χαμηλό (5,4%), με μέση τιμή ισομετρικής σύσπασης τα 207Nm (εύρος τιμών 140-280Nm). Ενδεχομένως, στην έρευνα των Minogue et al, 2014 να υπήρχε μεγαλύτερο ποσοστό δύναμης κατά τη σύσπαση τετρακεφάλου μέσω ΗΜΕ, είτε λόγω της υψηλότερης ισομετρικής δύναμης των μικρότερων ηλικιακών ομάδων του δείγματος (εύρος ηλικίας: 19-53 ετών), είτε λόγω της μεγαλύτερης ανοχής στο ρεύμα (ρεύμα έντασης 200mA), κάτι το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερη συστολή και ισχυρότερη παραγωγή δύναμης του μύος.

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το δείγμα της παρούσας μελέτης ήταν δεκαπέντε άτομα, γεγονός που αποτελεί περιορισμό στη γενίκευση των αποτελεσμάτων στο σύνολο του πληθυσμού. Παρόλα αυτά, ο μικρός αριθμός δείγματος εξυπηρετούσε το σκοπό της μελέτης μας, καθώς οι εθελοντές ήταν μέσης ηλικίας (45-58 ετών) και μόνον άντρες, μια πληθυσμιακή ομάδα που λόγω ηλικίας αλλά και χαμηλής καθημερινής σωματικής δραστηριότητας έχει υποστεί μυϊκές βλάβες

(μετατροπή μυϊκών ινών, μείωση μυϊκής μάζας λόγω ηλικίας) και ενδεχομένως να υποστεί περαιτέρω μυϊκή δυσλειτουργία σε πιθανό κλινοστατισμό.

Επιπλέον, στην καταγραφή παραμέτρων αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος, δεν συμπεριλήφθηκαν παράμετροι όπως η οξυγόνωση των περιφερικών μυών, οι περιφερικές αντιστάσεις, η συγκέντρωση λακτόζης στο αίμα κ.α. Με αυτές τις μετρήσεις, θα μπορούσαν να ερμηνευτούν περαιτέρω τα αποτελέσματα, αναφορικά με την απόκριση των συστημάτων του ανθρώπινου οργανισμού κατά την εφαρμογή ΗΜΕ.

Τέλος, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και περισσότερες μυϊκές ομάδες προς άσκηση μέσω ΗΜΕ, πέρα του τετρακεφάλου μυός, καταγράφοντας ενδεχόμενα υψηλότερα η μη ποσοστά απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα μελέτη, προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μελλοντικές προτάσεις επόμενων ερευνών. Συγκεκριμένα, και στις δύο μορφές προπόνησης, μέσω ΗΜΕ και μέσω εθελούσιας άσκησης, οι αποκρίσεις αναπνευστικών, μεταβολικών και κεντρικών παραμέτρων του καρδιαγγειακού συστήματος, διαφέρουν από τη συνθήκη ηρεμίας, καθώς παρουσιάζεται σταδιακή αύξηση ζήτησης των συστημάτων του οργανισμού. Επίσης, η απόκριση του ΗΜΕ στο αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα, παρουσιάζει παρόμοιες τιμές συγκριτικά με την απόκριση της εκούσιας συστολής, ίδιας χρονικής διάρκειας και έντασης. Συμπεραίνουμε ότι ο ΗΜΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό ή συμπληρωματικό εργαλείο άσκησης στα χέρια των φυσικοθεραπευτών, αφού υποβάλλει το αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα σε μία ζήτηση ανάλογη με τη μυϊκή μάζα που συσπάται και προκαλεί μεγαλύτερη ζήτηση συγκριτικά με τη φάση ηρεμίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

References

1. Abadi, A., Glover, E. I., Isfort, R. J., Raha, S., Safdar, A., Yasuda, N., Kaczor, J. J., Melov, S., Hubbard, A., Qu, X., Phillips, S. M. & Tarnopolsky, M. 2009. Limb immobilization induces a coordinate down-regulation of mitochondrial and other metabolic pathways in men and women. *Plos One*, 4.
2. Akar, O., Gunay, E., Sarinc Ulasli, S., Ulasli, A. M., Kacar, E., Sariaydin, M., Solak, O., Celik, S. & Unlu, M. 2017. Efficacy of neuromuscular electrical stimulation in patients with COPD followed in intensive care unit. *Clin Respir J*, 11, 743-750.
3. Balady, G. J., Arena, R., Sietsema, K., Myers, J., Coke, I., Fletcher, G. F., Forman, D., Franklin, B., Guazzi, M., Gulati, M., Keteyian, S. J., Lavie, C. J., Macko, R., Mancini, D. & Milani, R. V. 2010. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the american heart association. *Circulation*, 122, 191-225.
4. Banerjee, P., Caulfield, B., Crowe, L. & Clark, a. 2005. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults. *J Appl Physiol (1985)*, 99, 2307-11.
5. Banerjee, P., Caulfield, B., Crowe, L. & Clark, A. L. 2009. Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength, peak vo2, and exercise capacity in patients with stable chronic heart failure. *J Card Fail*, 15, 319-26.
6. Barbara Hoogenboom, M. V., William Prentice 2016. *Φυσικοθεραπευτικές παρεμβάσεις στο μυοσκελετικό σύστημα. Τεχνικές για θεραπευτικές ασκήσεις*, Κωνσταντάρας.
7. Bauman, A., Merom, D., Bull, F. C., Buchner, D. M. & Fiatarone Singh, M. A. 2016. Updating the evidence for physical activity: summative reviews of the epidemiological evidence, prevalence, and interventions to promote "active aging". *Gerontologist*, 56 suppl 2, s268-80.
8. Benavent-Caballer, V., Rosado-Calatayud, P., Segura-Orti, E., Amer-Cuenca, J. J. & Lison, J. F. 2014. Effects of three different low-intensity exercise interventions on physical performance, muscle csa and activities of daily living: a randomized controlled trial. *Exp Gerontol*, 58, 159-65.
9. Berg, H. E., Eiken, O., Miklavcic, I. & Mekjavic, I. B. 2007. Hip, thigh and calf muscle atrophy and bone loss after 5-week bedrest inactivity. *Eur J Appl Physiol*, 99, 283-9.
10. Bickel, C. S., Gregory, C. M. & Dean, J. C. 2011. Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation: a critical appraisal. *Eur J Appl Physiol*, 111, 2399-407.
11. Booth, F. W., Roberts, C. K., Thyfault, J. P., Rueggsegger, G. N. & Toedebusch, R. G. 2017. Role of inactivity in chronic diseases: evolutionary insight and pathophysiological mechanisms. *Physiol Rev*, 97, 1351-1402.
12. Broderick, B. J., Breathnach, O., Condon, F., Masterson, E. & O'laighin, G. 2013. Haemodynamic performance of neuromuscular electrical stimulation (nmes) during recovery from total hip arthroplasty. *J Orthop Surg Res*, 8, 3.

13. Carty, A., McCormack, K., Coughlan, G. F., Crowe, L. & Caulfield, B. 2012. Increased aerobic fitness after neuromuscular electrical stimulation training in adults with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 93, 790-5.
14. Chen, M. J., Fan, X. & Moe, S. T. 2002. Criterion-related validity of the borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 20, 873-899.
15. Coker, R. H., Hays, N. P., Williams, R. H., Wolfe, R. R. & Evans, W. J. 2015. Bed rest promotes reductions in walking speed, functional parameters, and aerobic fitness in older, healthy adults. *J Gerontol a Biol Sci Med Sci*, 70, 91-6.
16. Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjoström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F. & Oja, P. 2003. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med sci sports exerc*, 35, 1381-95.
17. Crognale, D., Vito, G. D., Grosset, J. F., Crowe, I., Minogue, C. & Caulfield, B. 2013. Neuromuscular electrical stimulation can elicit aerobic exercise response without undue discomfort in healthy physically active adults. *J strength cond res*, 27, 208-15.
18. Crossland, H., Skirrow, S., Puthuchery, Z. A., Constantin-Teodosiu, D. & Greenhaff, P. L. 2018. The impact of immobilisation and inflammation on the regulation of muscle mass and insulin resistance: different routes to similar end-points. *J physiol*.
19. Dal corso, S., Napolis, L., Malaguti, C., Gimenes, A. C., Albuquerque, A., Nogueira, C. R., De Fuccio, M. B., Pereira, R. D., Bulle, A., Mcfarlane, N., Nery, L. E. & Neder, J. A. 2007. Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired copd patients. *Respir med*, 101, 1236-43.
20. Doucet, B. M., Lam, A. & Griffin, L. 2012. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale j biol med*, 85, 201-15.
21. Downing, A., Van Ryn, D., Fecko, A., Aiken, C., McGowan, S., Sawers, S., Mcinerny, T., Moore, K., Passariello, L. & Rogers, H. 2014. Effect of a 2-week trial of functional electrical stimulation on gait function and quality of life in people with multiple sclerosis. *Int j ms care*, 16, 146-52.
22. Downing, J. & Balady, G. J. 2011. The role of exercise training in heart failure. *J am coll cardiol*, 58, 561-9.
23. English, K. L., Lee, S. M. C., Loehr, J. A., Ploutz-Snyder, R. J. & Ploutz-Snyder, L. L. 2015. Isokinetic strength changes following long-duration spaceflight on the iss. *Aerosp med hum perform*, 86, a68-a77.
24. Erickson, M. L., Ryan, T. E., Backus, D. & McCully, K. K. 2017. Endurance neuromuscular electrical stimulation training improves skeletal muscle oxidative capacity in individuals with motor-complete spinal cord injury. *Muscle nerve*, 55, 669-675.
25. Ferrucci, L., Cooper, R., Shardell, M., Simonsick, E. M., Schrack, J. A. & Kuh, D. 2016. Age-related change in mobility: perspectives from life course epidemiology and geroscience. *J gerontol a biol sci med sci*, 71, 1184-94.
26. Fujiwara, T., Kawakami, M., Honaga, K., Tochikura, M. & Abe, K. 2017. Hybrid assistive neuromuscular dynamic stimulation therapy: a new strategy for improving upper extremity function in patients with hemiparesis following stroke. *Neural plast*, 2017, 2350137.
27. Glaviano, N. R., Huntsman, S., Dembeck, A., Hart, J. M. & Saliba, S. 2016. Improvements in kinematics, muscle activity and pain during functional tasks in females with patellofemoral pain following a single patterned electrical stimulation treatment. *Clin biomech (bristol, avon)*, 32, 20-7.

28. Gomes Neto, M., Oliveira, F. A., Reis, H. F., De Sousa Rodrigues, E., JR., Bittencourt, H. S. & Oliveira Carvalho, V. 2016. Effects of neuromuscular electrical stimulation on physiologic and functional measurements in patients with heart failure: a systematic review with meta-analysis. *J cardiopulm rehabil prev*, 36, 157-66.
29. Gremeaux, V., Renault, J., Pardon, L., Deley, G., Lepers, R. & Casillas, J. M. 2008. Low-frequency electric muscle stimulation combined with physical therapy after total hip arthroplasty for hip osteoarthritis in elderly patients: a randomized controlled trial. *Arch phys med Rehabil*, 89, 2265-73.
30. Griffin, J. W., Tooms, R. E., Vander Zwaag, R., Bertorini, T. E. & O'toole, M. L. 1993. Eccentric muscle performance of elbow and knee muscle groups in untrained men and women. *Med sci sports exerc*, 25, 936-44.
31. Groehs, R. V., Antunes-Correa, L. M., Nobre, T. S., Alves, M. J., Rondon, M. U., Barreto, A. C. & Negrao, C. E. 2016. Muscle electrical stimulation improves neurovascular control and exercise tolerance in hospitalised advanced heart failure patients. *Eur j prev cardiol*, 23, 1599-608.
32. Hamada, T., Hayashi, T., Kimura, T., Nakao, K. & Moritani, T. 2004. Electrical stimulation of human lower extremities enhances energy consumption, carbohydrate oxidation, and whole body glucose uptake. *J appl physiol (1985)*, 96, 911-6.
33. Hsu, M. J., Wei, S. H. & Chang, Y. J. 2011. Effect of neuromuscular electrical muscle stimulation on energy expenditure in healthy adults. *Sensors (basel)*, 11, 1932-42.
34. Ibitoye, M. O., Hamzaid, N. A., Hasnan, N., Abdul Wahab, A. K. & Davis, G. M. 2016. Strategies for rapid muscle fatigue reduction during fes exercise in individuals with spinal cord injury: a systematic review. *Plos one*, 11, e0149024.
35. Jee, H. & Kim, J. H. 2017. A mini-overview of single muscle fibre mechanics: the effects of age, inactivity and exercise in animals and humans. *Swiss med wkly*, 147.
36. Jones, S., Man, W. D., Gao, W., Higginson, I. J., Wilcock, A. & Maddocks, M. 2016. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane database Syst Rev*, 10.
37. Joyner, M. J. & Green, D. J. 2009. Exercise protects the cardiovascular system: effects beyond traditional risk factors. *J physiol*, 587, 5551-8.
38. Jubeau, M., Sartorio, A., Marinone, P. G., Agosti, F., Hoecke, J. V., Nosaka, K. & Maffiuletti, N. A. 2008. Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. *Journal of applied physiology*, 104, 75-81.
39. Kachur, S., Chongthammakun, V., Lavie, C. J., De Schutter, A., Arena, R., Milani, R. V. & Franklin, B. A. 2017. Impact of cardiac rehabilitation and exercise training programs in coronary heart disease. *Progress in cardiovascular diseases*, 60, 103-114.
40. Khamis, S., Herman, T., Krimus, S. & Danino, B. 2018. Is functional electrical stimulation an alternative for orthotics in patients with cerebral palsy? A literature review. *Eur j paediatr neurol*, 22, 7-16.
41. Kho, M. E., Truong, A. D., Brower, R. G., Palmer, J. B., Fan, E., Zanni, J. M., Ciesla, N. D., Feldman, D. R., Korupolu, R. & Needham, D. M. 2012. Neuromuscular electrical stimulation for intensive care unit-acquired weakness: protocol and methodological implications for a randomized, sham-controlled, phase ii trial. *Phys Ther*, 92, 1564-79.
42. Langeard, A., Bigot, L., Chastan, N. & Gauthier, A. 2017. Does neuromuscular electrical stimulation training of the lower limb have functional effects on the elderly?: a systematic review. *Exp Gerontol*, 91, 88-98.

43. Langen, R. C., Gosker, H. R., Remels, A. H. & Schols, A. M. 2013. Triggers and mechanisms of skeletal muscle wasting in chronic obstructive pulmonary disease. *Int j biochem cell biol*, 45, 2245-56.
44. Laufer, Y., Shtraker, H. & Elboim Gabyzon, M. 2014. The effects of exercise and neuromuscular electrical stimulation in subjects with knee osteoarthritis: a 3-month follow-up study. *Clin Interv Aging*, 9, 1153-61.
45. Lee, D., Lee, G. & Jeong, J. 2016. Mirror therapy with neuromuscular electrical stimulation for improving motor function of stroke survivors: a pilot randomized clinical study. *Technol Health Care*, 24, 503-11.
46. Lee, I. M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N. & Katzmarzyk, P. T. 2012a. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*, 380, 219-29.
47. Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H. & Stewart, S. M. 2011. Validity of the international physical activity questionnaire short form (ipaq-sf): a systematic review. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 8, 115-115.
48. Lee, S. Y., Im, S. H., Kim, B. R., Choi, J. H., Lee, S. J. & Han, E. Y. 2012b. The effects of neuromuscular electrical stimulation on cardiopulmonary function in healthy adults. *Ann rehabil med*, 36, 849-56.
49. Lepley, L. K., Wojtys, E. M. & Palmieri-Smith, R. M. 2015. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve biomechanical limb symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech (bristol, avon)*, 30, 738-47.
50. Llano-Diez, M., Renaud, G., Andersson, M., Marrero, H. G., Cacciani, N., Engquist, H., Corpeno, R., Artemenko, K., Bergquist, J. & Larsson, I. 2012. Mechanisms underlying ICU muscle wasting and effects of passive mechanical loading. *Crit Care*, 16, r209.
51. Macfarlane, D. J. & Wong, P. 2012. Validity, reliability and stability of the portable cortex metamax 3b gas analysis system. *Eur J Appl Physiol*, 112, 2539-47.
52. Maffiuletti, N. A., Roig, M., Karatzanos, E. & Nanas, S. 2013. Neuromuscular electrical stimulation for preventing skeletal-muscle weakness and wasting in critically ill patients: a systematic review. *Bmc Med*, 11, 137.
53. Marzetti, E., Calvani, R., Tosato, M., Cesari, M., Di Bari, M., Cherubini, A., Broccatelli, M., Saveria, G., D'elia, M., Pahor, M., Bernabei, R. & Landi, F. 2017. Physical activity and exercise as countermeasures to physical frailty and sarcopenia. *Aging clin exp res*, 29, 35-42.
54. Mason, C., Brien, S. E., Craig, C. L., Gauvin, L. & Katzmarzyk, P. T. 2007. Musculoskeletal fitness and weight gain in Canada. *Med Sci Sports Exerc*, 39, 38-43.
55. Mcguire, D. K., Levine, B. D., Williamson, J. W., Snell, P. G., Blomqvist, C. G., Saltin, B. & Mitchell, J. H. 2001. A 30-year follow-up of the Dallas bedrest and training study: I. Effect of age on the cardiovascular response to exercise. *Circulation*, 104, 1350-7.
56. Mercante, O., Gagliardi, C., Spazzafumo, L., Gaspari, A., David, S., Cingolani, D., Castellani, C., D'augello, L., Baldoni, R. & Silvaroli, R. 2014. Loss of autonomy of hospitalized elderly patients: does hospitalization increase disability? *Eur J Phys Rehabil Med*, 50, 703-8.
57. Minogue, C. M., Caulfield, B. M. & Lowery, M. M. 2014. Whole body oxygen uptake and evoked torque during subtetanic isometric electrical stimulation of the quadriceps muscles in a single 30-minute session. *Arch Phys Med Rehabil*, 95, 1750-8.

58. Mora, S., Cook, N., Buring, J. E., Ridker, P. M. & Lee, I. M. 2007. Physical activity and reduced risk of cardiovascular events: potential mediating mechanisms. *Circulation*, 116, 2110-8.
59. Ojima, M., Takegawa, R., Hirose, T., Ohnishi, M., Shiozaki, T. & Shimazu, T. 2017. Hemodynamic effects of electrical muscle stimulation in the prophylaxis of deep vein thrombosis for intensive care unit patients: a randomized trial. *Journal of intensive care*, 5, 9-9.
60. Paddon-Jones, D., Sheffield-Moore, M., Cree, M. G., Hewlings, S. J., Aarsland, A., Wolfe, R. R. & Ferrando, A. A. 2006. Atrophy and impaired muscle protein synthesis during prolonged inactivity and stress. *J Clin Endocrinol Metab*, 91, 4836-41.
61. Palmer, J. A., Hsiao, H., Wright, T. & Binder-Macleod, S. A. 2017. Single session of functional electrical stimulation-assisted walking produces corticomotor symmetry changes related to changes in poststroke walking mechanics. *Phys ther*, 97, 550-560.
62. Phillips, S. M., Glover, E. I. & Rennie, M. J. 2009. Alterations of protein turnover underlying disuse atrophy in human skeletal muscle. *J appl physiol (1985)*, 107, 645-54.
63. Piva, S. R., Khoja, S. S., Toledo, F. G. S., Wasko, M. C., Fitzgerald, G. K., Goodpaster, B. H., Smith, C. N. & Delitto, A. 2018. Neuromuscular electrical stimulation compared to volitional exercise in improving muscle function in rheumatoid arthritis: a randomized pilot study. *Arthritis care res (hoboken)*.
64. Popovic, D. B. 2014. Advances in functional electrical stimulation (fes). *J electromyogr kinesiol*, 24, 795-802.
65. Puthuchery, Z. A., Rawal, J., Mcphail, M., Connolly, B., Ratnayake, G., Chan, P., Hopkinson, N. S., Phadke, R., Dew, T., Sidhu, P. S., Velloso, C., Seymour, J., Agle, C. C., Selby, A., Limb, M., Edwards, L. M., Smith, K., Rowleson, A., Rennie, M. J., Moxham, J., Harridge, S. D., Hart, N. & Montgomery, H. E. 2013. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. *Jama*, 310, 1591-600.
66. Robertson V., W. A., Low J., Reed A. 2011. Ηλεκτροθεραπεία βασικές αρχές και πρακτική εφαρμογή, Κατσουλάκης Κ. Δ. Επιστημονικές εκδόσεις: Παρισιάνου Α.Ε.
67. Sigurdardottir, T., Steingrimsdottir, T., Arnason, A. & Bo, K. 2009. Test-retest intrarater reliability of vaginal measurement of pelvic floor muscle strength using myomed 932. *Acta obstet gynecol scand*, 88, 939-43.
68. Sillen, M. J., Janssen, P. P., Akkermans, M. A., Wouters, E. F. & Spruit, M. A. 2008. The metabolic response during resistance training and neuromuscular electrical stimulation (nmes) in patients with copd, a pilot study. *Respir med*, 102, 786-9.
69. Sillen, M. J., Wouters, E. F., Franssen, F. M., Meijer, K., Stakenborg, K. H. & Spruit, M. A. 2011. Oxygen uptake, ventilation, and symptoms during low-frequency versus high-frequency nmes in copd: a pilot study. *Lung*, 189, 21-6.
70. Silva, P. E., babault, N., Mazullo, J. B., De Oliveira, T. P., Lemos, B. L., Carvalho, V. O. & Durigan, J. L. Q. 2017. Safety and feasibility of a neuromuscular electrical stimulation chronaxie-based protocol in critical ill patients: a prospective observational study. *J Crit Care*, 37, 141-148.
71. Springer, S. & Khamis, s. 2017. Effects of functional electrical stimulation on gait in people with multiple sclerosis - a systematic review. *Mult scler relat disord*, 13, 4-12.
72. Tanaka, S., Masuda, T., Kamiya, K., Hamazaki, n., Akiyama, A., Kamada, Y., Maekawa, E., Noda, C., Yamaoka-Tojo, M. & Ako, J. 2016. A single session of neuromuscular electrical stimulation enhances vascular endothelial function and peripheral blood circulation in patients with acute myocardial infarction. *Int heart j*, 57, 676-681.

73. Taylor, T., West, D. J., Howatson, G., Jones, C., Bracken, R. M., Love, T. D., Cook, C. J., Swift, E., Baker, J. S. & Kilduff, L. P. 2015. The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. *J sci med sport*, 18, 328-32.
74. Thijssen, D. H., Maiorana, A. J., O'driscoll, G., Cable, N. T., Hopman, M. T. & Green, D. J. 2010. Impact of inactivity and exercise on the vasculature in humans. *Eur j appl physiol*, 108, 845-75.
75. Van Driessche, S., Van roie, E., Vanwanseele, B. & Delecluse, C. 2018. Test-retest reliability of knee extensor rate of velocity and power development in older adults using the isotonic mode on a biodex system 3 dynamometer. *Plos one*, 13, e0196838.
76. Vieira, P. J., Chiappa, A. M., Cipriano, G., Jr., Umpierre, D., Arena, R. & Chiappa, G. R. 2014. Neuromuscular electrical stimulation improves clinical and physiological function in copd patients. *Respir med*, 108, 609-20.
77. Vivodtzev, I., Pepin, J. L., Vottero, G., Mayer, V., Porsin, B., Levy, P. & Wuyam, B. 2006. Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished copd. *Chest*, 129, 1540-8.
78. Wall, B. T., Dirks, M. L., Snijders, T., Senden, J. M., Dolmans, J. & Van Loon, L. J. 2014. Substantial skeletal muscle loss occurs during only 5 days of disuse. *Acta physiol (oxf)*, 210, 600-11.
79. Wall, B. T., Dirks, M. L. & Van Loon, L. J. 2013. Skeletal muscle atrophy during short-term disuse: implications for age-related sarcopenia. *Ageing res rev*, 12, 898-906.
80. Watanabe, K., Taniguchi, Y. & Moritani, t. 2014. Metabolic and cardiovascular responses during voluntary pedaling exercise with electrical muscle stimulation. *Eur j appl physiol*, 114, 1801-7.
81. Watson, T. 2011. *Ηλεκτροθεραπεία τεκμηριωμένη πρακτική, παράς γ. Εκδόσεις πασχαλίδης π. X.*
82. Weippert, M., Behrens, M., Gonschorek, R., Bruhn, S. & Behrens, k. 2015. Muscular contraction mode differently affects autonomic control during heart rate matched exercise. *Front physiol*, 6, 156.
83. Yoshida, Y., Ikuno, K. & Shomoto, K. 2017. Comparison of the effect of sensory-level and conventional motor-level neuromuscular electrical stimulations on quadriceps strength after total knee arthroplasty: a prospective randomized single-blind trial. *Arch phys med Rehabil*, 98, 2364-2370.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Στερεάς Ελλάδας
Σχολή Επαγγελματών Υγείας και Πρόνοιας
Τμήμα Φυσικοθεραπείας

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΗΘΙΚΗΣ και ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

Δρ Ιωάννης Πουλής
Καθηγητής Εφαρμογών
Τμήμα Φυσικοθεραπείας
ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδας
3^ο χλμ. ΠΕΟ Λαμίας-Αθήνας
351 00, Λαμία
22310 60222
ipoulis@teilam.gr

Λαμία, 26 Σεπτεμβρίου 2018

Απόσπασμα απόφασης Νο 53

Σήμερα Τετάρτη, 26 Σεπτεμβρίου 2018 και ώρα 11.00 στο Γραφείο του αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Φυσικοθεραπείας, Ιωάννη Πουλή, συνήλθε η Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας:

Σύμφωνα με απόφαση της Γενικής Συνέλευσης του Τμήματος (αρ. πρωτ. 118/02-10-2008) η Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας αποτελείται από τα ακόλουθα μέλη:

Πουλής Ιωάννης
Στριμπάκος Νικόλαος
Παράς Γεώργιος
Τρίγκας Παναγιώτης (αναπληρωματικό μέλος)

Κατόπιν μελέτης της αίτησης της μεταπτυχιακής φοιτήτριας κ. Παπαφιλίππου Ευαγγελίας (αριθ. πρωτ. 980/04-9-2018) με θέμα ερευνητικής μελέτης: **«Διερεύνηση της απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά τη μυϊκή συστολή μέσω Ηλεκτρικού Μυϊκού Ερεθισμού και την ενεργητική σύσπαση σε υγιείς άνδρες μέσης ηλικίας»** με εισηγήτρια την αν. καθηγήτρια κ. Κορτιάνου Ελένη,

και βασιζόμενη στα στοιχεία που παρέχονται στην Επιτροπή από την αιτούσα, η Επιτροπή αποφασίζει ότι:

Η ερευνητική πρόταση είναι κοντά στα διεθνή πρότυπα ηθικής πρακτικής και δεοντολογίας τα οποία συνάδουν με την αξία του σεβασμού προς τους εθελοντές που θα συμμετάσχουν.

Για την ακρίβεια του αποσπάσματος

Ο Γραμματέας της Επιτροπής



Γιώργος Παράς

Τμήμα Φυσικοθεραπείας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λαμίας, 3^ο χλμ. ΠΕΟ Λαμίας-Αθήνας, 351 00 Λαμία

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΕΝΤΥΠΟ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΕΘΕΛΟΝΤΗ ΓΙΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΈΡΕΥΝΑ

Σας καλώ να λάβετε μέρος στην ερευνητική μου μελέτη. Πριν αποφασίσετε αν θέλετε να συμμετέχετε είναι σημαντικό να διαβάσετε τις παρακάτω πληροφορίες για να καταλάβετε γιατί πραγματοποιούμε την ερευνητική αυτή μελέτη και τι θα περιλαμβάνει.

Αφιερώστε χρόνο για να διαβάσετε προσεκτικά τις ακόλουθες πληροφορίες και αν επιθυμείτε μπορείτε να συζητήσετε και με άλλους και μετά απαντήστε μας αν θέλετε να συμμετάσχετε ή όχι. Αν οτιδήποτε δεν είναι ξεκάθαρο μπορείτε να ρωτήσετε για να σας δώσουμε περισσότερες πληροφορίες. Αφιερώστε χρόνο για να αποφασίσετε αν θέλετε να λάβετε μέρος.

Τίτλος Ερευνητικής Μελέτης:

“Διερεύνηση της απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά τη μυϊκή συστολή μέσω Ηλεκτρικού Νευρομυϊκού Ερεθισμού και την ενεργητική σύσπαση σε υγιείς άνδρες μέσης ηλικίας”

Ποιος είναι ο σκοπός της μελέτης;

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνήσει εάν σε άνδρες μέσης ηλικίας το αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπου (δηλαδή οξυγόνο, αναπνοές το λεπτό, καρδιακή συχνότητα κ.α.) αποκρίνονται σε παρόμοιο επίπεδο όταν συσπάται (ασκείται) ο τετρακέφαλος μυς μέσω ηλεκτρικού μυϊκού ερεθισμού και όταν ο μυς συσπάται σε ίδια ένταση και χρονική διάρκεια από τον ίδιο τον ασκούμενο. Αυτή η πληροφορία έχει σημαίνουσα αξία, καθώς ο πληθυσμός αντρών μέσης ηλικίας συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό εμφάνισης εμφράγματος μυοκαρδίου, με συνέπεια είτε λόγω μακρόχρονης παραμονής στο κρεβάτι, είτε μη ικανότητας για άσκηση, να αντιμετωπίζουν μείωση δύναμης, μείωση αντοχής, ανικανότητα βάδισης και άλλα λειτουργικά ελλείμματα χρόνων.

Τι θα περιλαμβάνει η συμμετοχή μου σε αυτή την έρευνα;

Η συμμετοχή σας σε αυτήν την έρευνα θα περιλαμβάνει:

- Ερωτήσεις σχετικά με το ατομικό και οικογενειακό ιατρικό ιστορικό.
- Σωματομετρικές μετρήσεις (ύψος – βάρος)

- Μέτρηση της δύναμης του τετρακέφαλου μυός
- Απαντήσεις σε ερωτηματολόγιο που αφορά τη φυσική κατάσταση.

Ο χώρος διεξαγωγής της έρευνας θα είναι το ΤΕΙ Στερεάς, στα εργαστήρια του τμήματος Φυσικοθεραπείας. Οι απαντήσεις στα ερωτηματολόγια καθώς και οι μετρήσεις θα διεξαχθούν κατά τη διάρκεια μίας επίσκεψης.

Εξαιρέσεις

Δεν μπορείτε να συμμετάσχετε σε αυτήν την έρευνα αν κάποιο από τα ακόλουθα ισχύει για εσάς:

- Πάσχετε από οποιαδήποτε αναπνευστική νόσο
- Ιστορικό καρδιαγγειακής νόσου
- Μυοσκελετικές διαταραχές
- Παχυσαρκία

Γιατί επιλέχθηκα;

Ο λόγος που έχετε επιλεγεί είναι γιατί ανταποκρίνεστε σε ορισμένες προϋποθέσεις που θέτει η έρευνα, όπως το ανδρικό φύλο, η ηλικία, η καλή κατάσταση της υγείας σας και το σωματικό βάρος.

Είναι υποχρεωτικό να λάβω μέρος;

Η συμμετοχή στη μελέτη είναι εντελώς εθελοντική. Αν αποφασίσετε τελικά να λάβετε μέρος θα σας δοθεί ένα έντυπο Συναίνεση μετά από Πληροφόρηση για να το υπογράψετε Έχετε πάντα το δικαίωμα να αποσυρθείτε από την έρευνα ακόμα και μετά την υπογραφή σας χωρίς να δώσετε καμία εξήγηση. Η απόφασή σας να μην συμμετέχετε δεν θα επηρεάσει την παροχή υπηρεσιών από το ίδρυμά μας.

Ο υπεύθυνος ερευνητής αυτής της έρευνας έχει το δικαίωμα να τερματίσει τη συμμετοχή σας σε οποιονδήποτε χρόνο. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μη αναμενόμενη αντίδρασή σας, ή σε μη επιτυχή παρακολούθηση των οδηγιών από εσάς, ή επειδή έχει σταματήσει η έρευνα εξ ολοκλήρου.

Τι θα γίνει από τη στιγμή που θα αποφασίσω να λάβω μέρος στην έρευνα;

Αν αποφασίσετε να λάβετε μέρος στη μελέτη, ο ερευνητής θα επικοινωνήσει μαζί σας για να κανονίσει μια συνάντηση για τη διεξαγωγή της μελέτης. Η μελέτη θα λάβει χώρα στο

ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδας και ώρα που εξυπηρετεί εσάς. Επίσης, θα ενημερωθείτε για τη διαδικασία και τις ερωτήσεις που περιλαμβάνονται στην έρευνα καθώς και για όλη την υπόλοιπη διαδικασία. Το περιεχόμενο της έρευνας θα παραμείνει εμπιστευτικό.

Ποια είναι τα πιθανά μειονεκτήματα/κίνδυνοι από τη συμμετοχή μου

Πιθανές δυσάρεστες καταστάσεις που μπορούν να εμφανιστούν είναι κυρίως κατά τη διάρκεια της σύσπασης τετρακέφαλου μυός με ηλεκτρικό μυϊκό ερεθισμό, όπου ίσως να υπάρξει κάποια δερματική ή μυϊκή ενόχληση στην αρχή, μέχρι να το συνηθίσετε. Επίσης με την τοποθέτηση του μηχανήματος της μάσκας στο πρόσωπο, μπορεί να υπάρξει ενόχληση στην αναπνοή και μία αίσθηση δύσπνοιας. Αν εμφανιστεί κάτι τέτοιο και ο εθελοντής επιθυμεί την διακοπή, η δοκιμασία διακόπτεται αμέσως και παρέχεται η βοήθεια που απαιτείται. Πιθανόν να μην συμβεί απολύτως τίποτα.

Ποια είναι τα πιθανά οφέλη από τη συμμετοχή μου;

Τα δικά σας οφέλη από τη συμμετοχή σας σε αυτή την έρευνα θα είναι η αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης και του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος σας κατά την άσκηση (πρόσληψη οξυγόνου, αποβολή διοξειδίου του άνθρακα, καρδιακή συχνότητα κ.α.).

Από τη συμμετοχή σας σε αυτή την έρευνα μπορεί να υπάρξουν οφέλη στο κοινωνικό σύνολο, διότι μπορεί να διεξαχθούν τέτοιες πληροφορίες που να αποδεικνύουν την παρόμοια επίδραση του ηλεκτρικού μυϊκού ερεθισμού με την ενεργητική σύσπαση που κάνει μόνος του ο εθελοντής, γεγονός το οποίο οδηγεί στην ωφέλιμη χρήση του μυϊκού ερεθισμού σε ανθρώπους που παραμένουν στο κρεβάτι ή δεν μπορούν να ασκηθούν.

Θα παραμείνει η συμμετοχή μου σε αυτή τη μελέτη απόρρητη;

Η συμμετοχή σας στη μελέτη θα είναι απολύτως εμπιστευτική. Οι πληροφορίες που θα συλλεχθούν στη διάρκεια της έρευνας θα παραμείνουν απόρρητες κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της έρευνας. Η πρόσβαση στα δεδομένα περιορίζεται στον ερευνητή.

Τι θα συμβεί με τα αποτελέσματα της ερευνητικής μελέτης;

Τα αποτελέσματα της μελέτης θα χρησιμοποιηθούν για το σκοπό της έρευνας και για επιστημονικούς σκοπούς και μόνο. Εάν τα αποτελέσματα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον σε ανακοινώσεις συνεδρίων ή/και δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, εσείς θα

διατηρήσετε την ανωνυμία σας. Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης θα μπορείτε, εάν επιθυμείτε, να ενημερωθείτε για τα αποτελέσματα της μελέτης.

Παρακαλείσθε να κρατήσετε ένα αντίγραφο του εντύπου αυτού καθώς και από το έντυπο «Συναίνεση μετά από Πληροφόρηση».

Σας ευχαριστούμε για τον χρόνο που αφιερώσατε για να διαβάσετε αυτό το έντυπο ενημέρωσης.

Εάν επιθυμείτε περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να επικοινωνήσετε μαζί μου,
Παπαφιλίππου Ευαγγελία, τηλ. 6984739220

Υπογραφή Συμμετέχοντος Ημερομηνία:

Υπογραφή Κύριου Ερευνητή: Ημερομηνία:

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΕΝΤΥΠΟ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ

Ημερομηνία __/__/__

Επώνυμο εθελοντή (ασθενή): _____

Όνομα: _____

Αριθμός αναγνώρισης ασθενούς στην παρούσα έρευνα: _____

Ημερομηνία γέννησης: __/__/__

Προϊστάμενος ερευνητής- εισηγητής: _____

Φοιτητής/ερευνητής: _____

Υπεύθυνος γιατρός: _____

Άρρεν / ΘήλυΆλλες πληροφορίες: _____Επάγγελμα: _____Χειρουργεία: _____Δερματικές παθήσεις: _____Αλλεργίες: _____Λήψη Φαρμακευτικής Αγωγής: _____

Το παρόν περιέχει εμπιστευτικές πληροφορίες και φυλάσσεται στο αρχείο του φοιτητή.

Δήλωση και υποχρεώσεις του υπεύθυνου φοιτητή-ερευνητή:

Έχω εξηγήσει τη διαδικασία της έρευνας στον συμμετέχοντα (ασθενή). Έχει πληροφορηθεί για τα πλεονεκτήματα από την έρευνα έχοντας καταστήσει σαφές αν είναι πλεονεκτήματα προς την ανθρωπότητα ή προς το ίδιο τον συμμετέχοντα. Έχω καταστήσει σαφές ποιοι μπορεί να είναι οι κίνδυνοι συμμετέχοντας σε αυτή την έρευνα. Έχω καταστήσει σαφές τι περιλαμβάνει το πείραμα, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα εναλλακτικών λύσεων που μπορεί να έχει ο συμμετέχων, και έχω απαντήσει σε απορίες του.

Σε περίπτωση που ο συμμετέχων θέλει περαιτέρω πληροφορίες πριν ή και μετά τη διεξαγωγή του πειράματος μπορεί να με βρει στο τηλ. 6984739220

Εξήγησα στον συμμετέχοντα όσο καλύτερα μπορούσα τις λεπτομέρειες και τις συνέπειες του πειράματος με τρόπο απλό ώστε να μπορεί να κατανοήσει τα λεγόμενά μου.

Υπογραφή φοιτητή/ερευνητή Ημερομηνία ___ / ___ / ___

Το παρόν δόθηκε στο συμμετέχοντα ναι όχι

Δήλωση του συμμετέχοντα:

Παρακαλώ να διαβάσετε το παρόν προσεκτικά. Κανονικά πρέπει να έχετε ήδη στα χέρια σας ένα αντίγραφο του *Έντυπου Ενημέρωσης Εθελοντή* που περιγράφει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του πειράματος στο οποίο συμμετέχετε. Αν όχι, ο ερευνητής θα σας δώσει ένα αντίγραφο τώρα.

Τίτλος της ερευνητικής εργασίας: “Διερεύνηση της απόκρισης του αναπνευστικού και κυκλοφορικού συστήματος κατά τη μυϊκή συστολή μέσω Ηλεκτρικού Νευρομυϊκού Ερεθισμού και την ενεργητική σύσπαση σε υγιείς άνδρες μέσης ηλικίας”

Μικρή επεξήγηση της ερευνητικής εργασίας: Η παρούσα μελέτη έχει σκοπό να διερευνήσει εάν σε άνδρες μέσης ηλικίας το αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα του ανθρώπου (δηλαδή οξυγόνο, αναπνοές το λεπτό, καρδιακή συχνότητα κ.α.) αποκρίνονται σε παρόμοιο επίπεδο όταν συσπάται (ασκείται) ο τετρακέφαλος μυς μέσω ηλεκτρικού μυϊκού ερεθισμού και όταν ο μυς συσπάται σε ίδια ένταση και χρονική διάρκεια από τον ίδιο τον ασκούμενο. Αυτή η πληροφορία έχει σημαίνουσα αξία, καθώς ο πληθυσμός αντρών μέσης ηλικίας συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό εμφάνισης εμφράγματος μυοκαρδίου, με συνέπεια είτε λόγω μακρόχρονης παραμονής στο κρεβάτι, είτε μη ικανότητας για άσκηση, να αντιμετωπίζουν μείωση δύναμης, μείωση αντοχής, ανικανότητα βάδισης και άλλα λειτουργικά ελλείμματα χρόνων.

1. Επιβεβαιώνω ότι διάβασα και κατάλαβα το *Έντυπο Ενημέρωσης Εθελοντή* σήμερα την ___ / ___ / ___ και ότι είχα την δυνατότητα να κάνω ερωτήσεις.

2. Καταλαβαίνω ότι η συμμετοχή μου είναι εθελοντική και ότι είμαι ελεύθερος να αποσυρθώ από το πείραμα οποιαδήποτε ώρα, ακόμα και μετά από την υπογραφή της παρούσας δήλωσης, χωρίς να δώσω εξηγήσεις ή το λόγο της απόσυρσής μου, χωρίς να

επηρεαστεί το επίπεδο παροχής υπηρεσιών από το φυσικοθεραπευτή μου, το γιατρό μου ή το νοσοκομείο.

3. Καταλαβαίνω ότι μέρος ή ολόκληρος ο ιατρικός μου φάκελος θα διαβαστεί από τους ερευνητές.

Δίνω την άδεια να έχουν πρόσβαση στον ιατρικό φάκελό μου.

4. Συμφωνώ να συμμετάσχω εθελοντικά στην παρούσα ερευνητική εργασία.

Παρακάτω παραθέτω, χωρίς περαιτέρω εξηγήσεις, πρακτικές οι οποίες δεν θα επιθυμούσα να ακολουθηθούν σε περίπτωση ανάγκης:

Υπογραφή συμμετέχοντα

Ημερομηνία __/__/__

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**International Physical Activity Questionnaire***

Short - self answered - 7 items

Greek Version**

Οι παρακάτω ερωτήσεις αφορούν στο χρόνο που έχετε αφιερώσει για κάποια σωματική δραστηριότητα τις **τελευταίες 7 ημέρες**. Περιλαμβάνουν ερωτήσεις σχετικά με δραστηριότητες που κάνετε κατά την εργασία σας, στις μετακινήσεις σας, στις δουλειές του σπιτιού, του κήπου και στον ελεύθερο χρόνο σας για ψυχαγωγία, άσκηση ή άθληση. Σας παρακαλώ να απαντήσετε όλες τις ερωτήσεις, ακόμα και εάν πιστεύετε ότι δεν είστε ένα ιδιαίτερα σωματικά δραστήριο άτομο.

Πριν απαντήσετε τις ερωτήσεις 1 και 2, σκεφτείτε όλες τις **έντονες** σωματικές δραστηριότητες που κάνατε κατά τις **τελευταίες 7 ημέρες**. Μια έντονη σωματική δραστηριότητα αναφέρεται σε δραστηριότητες που απαιτούν έντονη σωματική προσπάθεια και σας κάνουν να αναπνέετε σημαντικά δυσκολότερα από ότι συνήθως. Σκεφθείτε μόνο τις **έντονες** σωματικές δραστηριότητες που κάνατε και είχαν διάρκεια **μεγαλύτερη από 10 λεπτά** κάθε φορά.

- 1. Κατά τις τελευταίες 7 ημέρες, πόσες ημέρες κάνατε κάποια έντονη σωματική δραστηριότητα, όπως σκάψιμο, έντονη άσκηση με βάρη, τρέξιμο σε διάδρομο με κλίση, γρήγορο τρέξιμο, aerobics, γρήγορη ποδηλασία, γρήγορη κολύμβηση, τένις μονό, αγώνας σε γήπεδο (ποδόσφαιρο, basketball-μπάσκετ, volleyball-βόλεϊ, κλπ);**

_____ ημέρες ανά εβδομάδα

εάν δεν κάνατε έντονες σωματικές δραστηριότητες, τότε προχωρήστε στην ερώτηση 3

- 2. Τις ημέρες που κάνατε κάποια έντονη σωματική δραστηριότητα, πόσο χρόνο αφιερώνετε συνήθως;**

_____ λεπτά ανά ημέρα

δεν γνωρίζω/δεν είμαι βέβαιος

Πριν απαντήσετε τις ερωτήσεις 3 και 4, σκεφτείτε όλες τις **μέτριας έντασης** σωματικές δραστηριότητες που κάνατε κατά τις **τελευταίες 7 ημέρες**. Μια μέτριας έντασης σωματική δραστηριότητα αναφέρεται σε δραστηριότητες που απαιτούν μέτρια σωματική προσπάθεια και σας κάνουν να αναπνέετε κάπως δυσκολότερα από ότι συνήθως. Σκεφθείτε μόνο τις **μέτριας έντασης** σωματικές δραστηριότητες που κάνατε και είχαν διάρκεια **μεγαλύτερη από 10 λεπτά** κάθε φορά.

* The IPAQ group: <https://sites.google.com/site/theipaq/home>

** Papathanasiou G, et al. *Hellenic J Cardiol.* 2009; 50: 283-294.

3. Κατά τις τελευταίες 7 ημέρες, πόσες ημέρες κάνατε κάποια μέτρια σωματική δραστηριότητα, όπως το να σηκώνετε και να μεταφέρετε ελαφρά βάρη (λιγότερο από 10 κιλά), συνολική καθαριότητα του σπιτιού, ήπιες ρυθμικές ασκήσεις σώματος, ποδηλασία αναψυχής με χαμηλή ταχύτητα, καλαρή κολύμβηση; Σας παρακαλώ να μη συμπεριλάβετε το περπάτημα.

_____ ημέρες ανά εβδομάδα

εάν δεν κάνατε μέτριας έντασης σωματικές δραστηριότητες, τότε προχωρήστε στην ερώτηση 5

4. Τις ημέρες που κάνατε κάποια μέτρια σωματική δραστηριότητα, πόσο χρόνο αφιερώνετε συνήθως;

_____ λεπτά ανά ημέρα δεν γνωρίζω/δεν είμαι βέβαιος

Πριν απαντήσετε στις ερωτήσεις 5 και 6, σκεφτείτε το χρόνο που περπατήσατε κατά τις **τελευταίες 7 ημέρες**. Να συμπεριλάβετε το περπάτημα στο χώρο της εργασίας σας, στο σπίτι, στις μετακινήσεις σας και στον ελεύθερο χρόνο σας για ψυχαγωγία, άσκηση ή άθληση.

5. Κατά τις τελευταίες 7 ημέρες, πόσες ημέρες περπατήσατε για περισσότερο από 10 συνεχόμενα λεπτά;

_____ ημέρες ανά εβδομάδα

εάν δεν περπατήσατε καμία φορά περισσότερο από 10 συνεχόμενα λεπτά, τότε προχωρήστε στην ερώτηση 7

6. Τις ημέρες που περπατήσατε, για περισσότερο από 10 συνεχόμενα λεπτά, πόσο χρόνο περάσατε περπατώντας;

_____ λεπτά ανά ημέρα δεν γνωρίζω/δεν είμαι βέβαιος

7. Κατά τις τελευταίες 7 ημέρες, πόσο χρόνο περάσατε καθισμένος/η σε μια συνηθισμένη μέρα; Ο χρόνος αυτός μπορεί να περιλαμβάνει το χρόνο που περνάτε καθισμένος/η στο σπίτι, στο γραφείο, στο αυτοκίνητο, όταν διαβάζετε, όταν είστε με φίλους, ξεκουράζεστε σε πολυθρόνα ή βλέπετε τηλεόραση, αλλά δεν περιλαμβάνει τον ύπνο.

_____ ώρες ανά ημέρα δεν γνωρίζω/δεν είμαι βέβαιος

Τέλος του ερωτηματολογίου. Σας ευχαριστούμε για τη συμμετοχή σας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε**ΚΛΙΜΑΚΑ BORG (0 – 10)
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΟΧΗΣ ΣΤΟ ΡΕΥΜΑ**

0	ΚΑΘΟΛΟΥ
1	ΠΟΛΥ ΕΛΑΦΡΙΑ
2	ΕΛΑΦΡΑ
3	ΜΕΤΡΙΑ
4	ΜΕΤΡΙΑ ΠΡΟΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗ
5	ΑΥΞΗΜΕΝΗ
6	
7	ΒΑΡΙΑ
8	
9	ΠΟΛΥ ΒΑΡΙΑ
10	ΑΒΑΣΤΑΧΤΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤΈλεγχος κανονικότητας**Tests of Normality**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VE_REST_lmin	,120	15	,200 [*]	,971	15	,876
VE HME	,151	15	,200 [*]	,938	15	,362
VE ΕΘΕΛΟΥΣΙΑ	,187	15	,166	,930	15	,273
VE_1_1	,121	15	,200 [*]	,927	15	,243
VE_2_1	,190	15	,153	,899	15	,091
VE_1_Predicted_Τις_Εκατό	,205	15	,091	,887	15	,061
VE_2_Predicted_Τις_Εκατό	,184	15	,183	,932	15	,291
VT_REST_litra	,170	15	,200 [*]	,898	15	,090
VT HNME	,157	15	,200 [*]	,907	15	,120
VT ΕΘΕΛΟΥΣΙΑ	,169	15	,200 [*]	,916	15	,165
VT_1_1	,156	15	,200 [*]	,911	15	,138
VT_2_1	,176	15	,200 [*]	,917	15	,171
BF_Rest_Breath_min	,233	15	,027	,823	15	,007
BF HME	,164	15	,200 [*]	,960	15	,690
BF ΕΘΕΛΟΥΣΙΑ	,161	15	,200 [*]	,955	15	,610
BF_1_1	,156	15	,200 [*]	,941	15	,400
BF_2_1	,151	15	,200 [*]	,963	15	,743
VO2_REST_lmin	,221	15	,048	,869	15	,032
VO2 HNME	,211	15	,072	,947	15	,486
VO2 ΕΘΕΛΟΥΣΙΑ	,159	15	,200 [*]	,957	15	,645
VO2_1_1	,184	15	,183	,922	15	,209
VO2_2_1	,157	15	,200 [*]	,929	15	,264
VO2_1_Predicted_Τις_Εκατό	,226	15	,038	,897	15	,086
VO2_2_Predicted_Τις_Εκατό	,203	15	,096	,883	15	,053
O2pulse_REST_ml	,156	15	,200 [*]	,948	15	,499
O2pulse HME	,170	15	,200 [*]	,926	15	,234
O2pulse ΕΘΕΛΟΥΣΙΑ	,182	15	,195	,892	15	,072
O2pulse_1_1	,138	15	,200 [*]	,963	15	,740
o2pulse_2_1	,169	15	,200 [*]	,845	15	,015
O2pulse_1_Predicted_Τις_Εκατό	,209	15	,077	,917	15	,175
O2_pulse_2_Predicted_Τις_Εκατό	,212	15	,067	,884	15	,054
HR_Rest_Beat_min	,130	15	,200 [*]	,934	15	,317
HR HME	,091	15	,200 [*]	,967	15	,815
HR ΕΘΕΛΟΥΣΙΑ	,188	15	,159	,937	15	,341

HR_1_1	,095	15	,200 [*]	,970	15	,861
HR_2_1	,186	15	,171	,949	15	,502
HR_1_Predicted_Τις_Εκατό	,152	15	,200 [*]	,969	15	,835
HR_2_Predicted_Τις_Εκατό	,129	15	,200 [*]	,977	15	,949

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction