



**Σχολή Επιστημών Υγείας
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ»**

«Master of Science in Advanced Physiotherapy»

“Διερεύνηση της επίδρασης της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας, στην παραγωγή μέγιστης εθελούσιας ισομετρικής σύσπασης, σε υγιή άτομα νεαρής ηλικίας.”

Ονοματεπώνυμο Μεταπτυχιακού φοιτητή: Μικέλ Ρούσι

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Σπανός Σάββας

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2025

Δήλωση Αυθεντικότητας, ζητήματα Copyright

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Επιστημών Υγείας

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑ»

“Master of Science in Advanced Physiotherapy”

Μικέλ Ρούσι

“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.λ.π.), 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.”

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2025

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Συνέλευση του Τμήματος Φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ «Προηγμένη Φυσικοθεραπεία». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- ☐ Σπανός Σάββας (Επιδέπων)
- ☐ (Μέλος)
- ☐ (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Σάββα Σπανό για την καθοδήγηση, την επιστημονική υποστήριξη και την αμέριστη διάθεσή του να προσφέρει πολύτιμες συμβουλές καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Επίσης, ευχαριστώ τα λοιπά μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για τον χρόνο, την εποικοδομητική κριτική και τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους, που συνέβαλαν ουσιαστικά στη βελτίωση και ολοκλήρωση της εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στους συμμετέχοντες της έρευνας για τον χρόνο και την προθυμία τους να συμβάλουν στην ολοκλήρωση του έργου, καθώς και στο προσωπικό του εργαστηρίου και ιδιαίτερα την υποψήφια διδάκτορα Ανθή Κελλάρη για την τεχνική βοήθεια και την υποστήριξή της. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την ηθική συμπαράσταση, την κατανόηση και την ενθάρρυνση σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΞΩΦΥΛΛΟ.....	1
ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	2
ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	8
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	10
ABSTRACT.....	11
Κεφάλαιο 1-ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
Κεφάλαιο 2-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
2.1 Ηλεκτρική Διέγερση Μυών.....	15
2.2 Ρώσικα Ρεύματα.....	15
2.3 Ρεύματα Συμβολής/ Σύγκριση με Ρώσικα.....	19
2.4 Χρήση Ηλεκτρικής Διέγερσης σε προγράμματα αποκατάστασης.....	24
2.5 Σκοπός Ερευνητικής Μελέτης.....	28
2.6 Ερευνητικές Υποθέσεις.....	29
Κεφάλαιο 3- Μεθοδολογία.....	30
3.1 Ερευνητικός Σχεδιασμός.....	30
3.2 Δείγμα.....	31
3.3 Περιγραφή Οργάνων Μελέτης.....	32
3.4 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων.....	34
3.5 Ηθικοί Παράμετροι.....	37
3.6 Στατιστική Ανάλυση.....	38
3.7 Χρονοδιάγραμμα Μελέτης.....	39
Κεφάλαιο 4- Αποτελέσματα.....	41
Κεφάλαιο 5- Συζήτηση.....	48
Κεφάλαιο 6- Συμπεράσματα.....	52
Αναφορές.....	54
Παραρτήματα.....	63

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1	Ισομετρική Δυναμομέτρηση χωρίς ηλεκτρική διέγερση	Σελ. 34
Εικόνα 3.2	Ισομετρική Δυναμομέτρηση με ταυτόχρονη ηλεκτρική διέγερση	Σελ. 35
Εικόνα 3.3	Αναρτημένη αφίσα σε κοινόχρηστο πανεπιστημιακό χώρο	Σελ. 36
Εικόνα 3.4	Αναπαράσταση της μυικής ροπής όπως καταγράφηκε από το ισοκινητικό δυναμόμετρο Biodex System 3	Σελ. 39
Εικόνα 3.5	Συσκευή Enraf Nonius Myomed 932 η οποία χρησιμοποιήθηκε	Σελ. 40
Εικόνα 3.6	Έντυπο αξιολόγησης της ανοχής στο ρεύμα	Σελ. 43
Εικόνα 3.7	Πρωτόκολλο της ηλεκτροθεραπείας που ακολουθήθηκε	Σελ. 44

Κατάλογος Γραφημάτων/ Πινάκων

Γράφημα 4.1	Ηλικιακή κατανομή των δοκιμαζομένων	Σελ. 50
Γράφημα 4.2	Αναπαράσταση της έντασης της ηλεκτρικής διέγερσης	Σελ. 50
Γράφημα 4.3	Αναπαράσταση των τιμών στη κλίμακα BORG	Σελ. 51
Γράφημα 4.4	Αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του International Physical Activity Questionnaire	Σελ. 52
Γράφημα 4.5	Αναπαράσταση της κατανομής του βάρους των δοκιμαζομένων	Σελ. 53
Γράφημα 4.6	Αναπαράσταση της κατανομής του ύψους των δοκιμαζομένων	Σελ. 54
Γράφημα 4.7	Αναπαράσταση της κατανομής του κυρίαρχου κάτω άκρου των δοκιμαζομένων	Σελ.54
Γράφημα 4.8	Κατανομή φύλου των εθελοντών	Σελ. 55
Πίνακας 4.1	Έλεγχος κανονικότητας δείγματος	Σελ. 56
Πίνακας 4.2	Paired Samples T-test	Σελ. 57
Πίνακας 4.3	Στατιστική ανάλυση δείγματος	Σελ.57

Πίνακας με Συντομογραφίες

AMF	Amplitude Modulated Frequency
BPC	Biphasic Pulsed Current
EMS	Electrical Muscle Stimulation
FES	Functional Electrical Stimulation
HVPC	High Voltage Pulsed Current
IFC	Interferential Current
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SIPAQ	Short International Physical Activity Questionnaire
NMES	NeuroMuscular Electrical Stimulation
ΠΧΣ	Πρόσθιος Χιαστός Σύνδεσμος

Παραρτήματα

Παράρτημα Α- Έγκριση Επιτροπής Ηθικής και Δεοντολογίας	Σελ.64
Παράρτημα Β- Έντυπο Ενημέρωσης Υποψήφιου Εθελοντή	Σελ.65
Παράρτημα Γ- Έντυπο Συναίνεσης μετά από πληροφόρηση	Σελ. 72
Παράρτημα Δ- Αφίσα για την αναζήτηση εθελοντών όπως αναρτήθηκε σε κοινόχρητους χώρους στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Σελ. 75
Παράρτημα Ε- Ερωτηματολόγιο Short International Physical Activity Questionnaire	Σελ. 76
Παράρτημα Ζ- Κλίμακα BORG αξιολόγησης της ανοχής στο ρεύμα	Σελ. 78

Περίληψη

Εισαγωγή: Η ηλεκτρική διέγερση υψηλής συχνότητας αποτελεί ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται ευρέως στην αποκατάσταση και την αθλητική επιστήμη, με στόχο την ενίσχυση της μυϊκής απόδοσης και την αξιολόγηση της νευρομυϊκής λειτουργίας. Παρά την εκτεταμένη χρήση της, τα δεδομένα που αφορούν την άμεση επίδρασή της στη μέγιστη εθελούσια ισομετρική σύσπαση παραμένουν περιορισμένα.

Σκοπός: Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας στην παραγωγή μέγιστης ροπής κατά ισομετρική σύσπαση του τετρακεφάλου σε υγιή άτομα νεαρής ηλικίας.

Μέθοδος: Στη μελέτη συμμετείχαν υγιείς εθελοντές νεαρής ηλικίας. Οι μετρήσεις της μέγιστης ισομετρικής δύναμης πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ισοκινητικού δυναμομέτρου, σε προκαθορισμένη γωνία κάμψης γόνατος, με στόχο την ακριβή και αντικειμενική καταγραφή της ροπής. Κάθε συμμετέχων εκτέλεσε τρεις μέγιστες προσπάθειες με τη χρήση ηλεκτρικής διέγερσης και τρεις χωρίς τη χρήση ηλεκτρικής διέγερσης.

Αποτελέσματα: Τα αποτελέσματα ανέδειξαν ότι η εφαρμογή υψίσυχνης ηλεκτρικής διέγερσης οδήγησε σε σημαντική αύξηση της παραγόμενης ροπής κατά τη μέγιστη εθελούσια ισομετρική σύσπαση του τετρακεφάλου. Η ενίσχυση αυτή ήταν στατιστικά σημαντική σε σύγκριση με τις τιμές που καταγράφηκαν χωρίς τη χρήση διέγερσης, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ηλεκτρική διέγερση μπορεί να λειτουργήσει ως ισχυρό συμπληρωματικό ερέθισμα για τη βελτίωση της μυϊκής απόδοσης.

Συμπεράσματα: Η παρούσα μελέτη καταδεικνύει ότι η ηλεκτρική διέγερση υψηλής συχνότητας ενισχύει ουσιαστικά την παραγωγή μέγιστης ισομετρικής ροπής σε υγιή νεαρά άτομα. Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν τη σημασία της ηλεκτρικής διέγερσης ως εργαλείου στην κλινική πράξη, ενώ μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να εξετάσουν τη μακροπρόθεσμη επίδραση της μεθόδου, αλλά και την εφαρμογή της σε πληθυσμούς με μυϊκή αδυναμία ή παθολογικές καταστάσεις.

Λέξεις Κλειδιά: Ηλεκτρική Διέγερση, ρεύματα συμβολής, ισοκινητική δυναμομέτρηση, αποκατάσταση

Abstract

Introduction: High-frequency electrical stimulation is a tool widely used in rehabilitation and sports science, aiming to enhance muscle performance and assess neuromuscular function. Despite its extensive use, data regarding its immediate effect on maximal voluntary isometric contraction remain limited.

Purpose: The purpose of the present study was to investigate the effect of high-frequency electrical stimulation on torque production during isometric contraction of the quadriceps in healthy young adults.

Methods: Healthy young volunteers participated in the study. Measurements of maximal isometric strength were conducted using an isokinetic dynamometer at a predefined knee flexion angle, ensuring accurate and objective torque recording. Each participant performed three maximal attempts with electrical stimulation and also three attempts without electrical stimulation.

Results: The results indicated that the application of high-frequency electrical stimulation led to a significant increase in torque production during maximal voluntary isometric contraction of the quadriceps. This enhancement was statistically significant compared to values recorded without stimulation, suggesting that electrical stimulation can serve as a strong supplementary stimulus for improving muscle performance.

Conclusions: The present study demonstrates that high-frequency electrical stimulation substantially enhances maximal isometric torque production in healthy young adults. These findings highlight the importance of electrical stimulation as a valuable tool in clinical practice, while future research could explore the long-term effects of this method and its application in populations with muscle weakness or pathological conditions.

Key words: Electrical Stimulation, Interferential Current, Rehabilitation, Isokinetic Dynamometry

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

Η ηλεκτρική διέγερση υψηλής συχνότητας αποτελεί μια διαδεδομένη τεχνική στη φυσικοθεραπεία και την αποκατάσταση, η οποία αξιοποιεί ηλεκτρικά ρεύματα για την πρόκληση μυϊκών συστολών με στόχο τη μυϊκή ενδυνάμωση. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου η παραδοσιακή άσκηση δεν είναι εφικτή ή αποδοτική, λόγω κινητικών περιορισμών, τραυματισμών ή αναπηρίας.(Mukherjee et al., 2023). Επιπλέον, η χρήση της ηλεκτρικής διέγερσης μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της κυκλοφορίας του αίματος, στην πρόληψη της μυϊκής ατροφίας (Gobbo et al., 2019) και στη μείωση του πόνου (Rampazo É & Liebano, 2022). Εφαρμόζεται συχνά σε περιπτώσεις αποκατάστασης μετά από χειρουργικές επεμβάσεις, σε νευρολογικές παθήσεις όπως η παράλυση ή η σκλήρυνση κατά πλάκας, αλλά και σε αθλητές για την ενίσχυση της αντοχής και της απόδοσής τους. Η συνεχιζόμενη έρευνα στον τομέα αυτό αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τις δυνατότητες της τεχνικής, διεκπερώνοντας το φάσμα των εφαρμογών της σε ποικίλες ιατρικές και αθλητικές ανάγκες.

Η ηλεκτρική διέγερση υψηλής συχνότητας διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην υποστήριξη του συνεχώς αυξανόμενου γηριατρικού πληθυσμού. Η διατήρηση της μυϊκής δύναμης και της κινητικότητας είναι ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση μιας καλύτερης ποιότητας ζωής και τη διατήρηση της αυτονομίας των ηλικιωμένων. Μέσα από τη χρήση της τεχνικής αυτής, μπορεί να προληφθεί η μυϊκή ατροφία (Gobbo et al., 2019), να μειωθεί ο κίνδυνος πτώσεων και να ενισχυθεί η συνολική λειτουργικότητα των ηλικιωμένων. Παράλληλα, η ηλεκτρική διέγερση προσφέρει μια ασφαλή και μη επεμβατική εναλλακτική, ειδικά για εκείνους που δυσκολεύονται να συμμετέχουν σε παραδοσιακά προγράμματα άσκησης λόγω κινητικών ή χρόνιων προβλημάτων. Οι εφαρμογές της περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ισορροπίας, την υποστήριξη της φυσικής αποκατάστασης μετά από τραυματισμούς και τη διαχείριση πόνου σε εκφυλιστικές παθήσεις, όπως η οστεοαρθρίτιδα. Η συνεχής έρευνα στον τομέα της ηλεκτρικής διέγερσης υπόσχεται να προσφέρει νέες λύσεις για τον γηριατρικό πληθυσμό, ενώ παράλληλα ενισχύεται η ανάπτυξη πιο εύχρηστων και προσβάσιμων συσκευών που μπορούν να ενταχθούν στην καθημερινή φροντίδα. Έτσι, η τεχνολογία αυτή συμβάλλει στη βελτίωση της αυτοεξυπηρέτησης, στην παράταση της ανεξαρτησίας και στη συνολική ενίσχυση της υγείας των ηλικιωμένων ατόμων. (Moritani, 2021). Παρά την ευρεία χρήση

της, δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς αν η ηλεκτρική διέγερση αυξάνει την μυϊκή δύναμη που μπορεί να καταβάλει το άτομο. Η έλλειψη αυτών των δεδομένων καθιστά σημαντική την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Η κατανόηση του πραγματικού αντίκτυπου της ηλεκτρικής διέγερσης στη μυϊκή δύναμη θα μπορούσε να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση των θεραπευτικών προγραμμάτων και να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές μεθόδους αποκατάστασης.

Η ακριβής εκτίμηση των αλλαγών στη μυϊκή απόδοση πριν και μετά την εφαρμογή της διέγερσης καθίσταται κρίσιμη τόσο για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων όσο και για τη διαμόρφωση κατάλληλων θεραπευτικών στόχων. Σε αυτό το πλαίσιο, η ισοκινητική δυναμομέτρηση διαδραματίζει καίριο ρόλο ως εργαλείο υψηλής ακρίβειας, επαναληψιμότητας και αντικειμενικότητας στην καταγραφή της μυϊκής απόδοσης. Η τεχνολογία των ισοκινητικών δυναμόμετρων, όπως το Biodex System 3 Pro, επιτρέπει την καταγραφή της μέγιστης ροπής σε σταθερές ταχύτητες σύσπασης, διασφαλίζοντας ότι οι μετρήσεις δεν επηρεάζονται από τις μεταβλητές της εξωτερικής αντίστασης. Η χρήση της ισοκινητικής δυναμομέτρησης καθιστά δυνατή τη λεπτομερή αποτίμηση της μυϊκής απόδοσης τόσο σε εθελούσιες όσο και σε υποβοηθούμενες ή προκαλούμενες από διέγερση συσπάσεις, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για την πορεία της αποκατάστασης, την εξατομίκευση της θεραπείας και τη συγκριτική αξιολόγηση διαφορετικών μεθόδων. Ειδικά σε παρεμβάσεις που ενσωματώνουν ηλεκτρική διέγερση, η ισοκινητική δυναμομέτρηση επιτρέπει τη διακριτική καταγραφή των επιδράσεων της διέγερσης στην ισομετρική, ομόκεντρη και έκκεντρη μυϊκή ικανότητα, ενισχύοντας έτσι τη δυνατότητα τεκμηριωμένης αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της παρέμβασης και εντοπισμού των επιμέρους στοιχείων που συνεισφέρουν στη βελτίωση της λειτουργικότητας.

Κατά τη διάρκεια της εκούσιας συστολής, οι κινητικές μονάδες ενεργοποιούνται με σειρά από τις μικρότερες προς τις μεγαλύτερες, ανάλογα με την ένταση της προσπάθειας (Paillard et al., 2005). Από την άλλη πλευρά, κατά την εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης οι μεγαλύτερες κινητικές μονάδες ενεργοποιούνται πριν από τις μικρότερες, ανεξαρτήτως της έντασης του ρεύματος (Paillard et al., 2005). Επίσης η δυνατότητα ενεργοποίησης των ινών ταχείας συστολής, οι οποίες σε φυσιολογικές συνθήκες δεν ενεργοποιούνται στις καθημερινές δραστηριότητες των ειδικών πληθυσμών, μπορεί να αποδειχθεί ωφέλιμη. Η θεραπευτική επίδραση της τεχνητής ενεργοποίησης αυτών των ινών αναμένεται να συμβάλει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της αδράνειας και να επιταχύνει την ανάρρωση.

Έχει λοιπόν επιστημονικό ενδιαφέρον αλλά και κλινική σημαντικότητα να διερευνηθεί εάν ο συνδυασμός εκούσιας συστολής και ηλεκτρικής διέγερσης θα ενεργοποιήσει ταυτόχρονα τις μικρές αλλά και τις μεγάλες κινητικές μονάδες, έχοντας ως αποτέλεσμα (θεωρητικά) την παραγωγή μεγαλύτερης μυικής δύναμης. Η συνδυαστική αυτή προσέγγιση μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην αποκατάσταση και την ενδυνάμωση των μυών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η απομόνωση μιας μόνο μεθόδου δεν επαρκεί για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Η ενεργοποίηση τόσο των μικρών όσο και των μεγάλων κινητικών μονάδων θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτιωμένη μυϊκή απόδοση και ταχύτερη αποκατάσταση μετά από τραυματισμούς ή χειρουργικές επεμβάσεις. Επιπλέον, μελλοντικά, η κατανόηση της συνδυαστικής επίδρασης της εκούσιας συστολής και της ηλεκτρικής διέγερσης μπορεί να ανοίξει νέους δρόμους για τη θεραπεία ατόμων με νευρολογικές παθήσεις, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής τους και τη λειτουργικότητά τους.

Κεφάλαιο 2- Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ηλεκτρική Διέγερση Μυών

Η ηλεκτρική διέγερση των μυών (electrical muscle stimulation, EMS) αποτελεί μια από τις πλέον μακροχρόνια εξελισσόμενες τεχνικές στη φυσική ιατρική και αποκατάσταση. Οι ρίζες της μπορούν να αναχθούν στους αρχαίους πολιτισμούς, όπως οι Αιγύπτιοι και οι Έλληνες, που αξιοποιούσαν τα ηλεκτρικά ψάρια για την ανακούφιση του πόνου. Η σύγχρονη θεμελίωση της μεθόδου αποδίδεται στον Luigi Galvani τον 18ο αιώνα, ο οποίος απέδειξε πειραματικά τη δυνατότητα πρόκλησης μυϊκής σύσπασης μέσω ηλεκτρικού ερεθίσματος, θέτοντας τις βάσεις για την έννοια της «ζωικής ηλεκτρικότητας». Τον 19ο αιώνα, ο Guillaume Duchenne χρησιμοποίησε για πρώτη φορά συστηματικά τη φαραδική και γαλβανική διέγερση, εισάγοντας την έννοια της λειτουργικής ηλεκτροδιέγερσης (functional electrical stimulation- FES) για τη διάγνωση και θεραπεία νευρομυϊκών παθήσεων (Ward & Shkuratova, 2002).

Με την πρόοδο της τεχνολογίας στις αρχές του 20ού αιώνα, οι συσκευές ηλεκτρικής διέγερσης βελτιώθηκαν σημαντικά σε ακρίβεια, φορητότητα και δυνατότητα ελέγχου παραμέτρων, διευκολύνοντας τη χρήση τους τόσο σε πειραματικά όσο και σε κλινικά περιβάλλοντα. Στη δεκαετία του 1950, εμφανίζονται οι πρώτες ενδείξεις χρήσης EMS σε περιπτώσεις μυϊκής ατροφίας, παραπληγίας και αποκατάστασης μετά από εγκεφαλικά επεισόδια (Liberson et al., 1961). Κατά τη δεκαετία του 1960, με την ανάδυση της έννοιας της νευροπλαστικότητας και την κατανόηση του κινητικού φλοιού, η λειτουργική ηλεκτρική διέγερση χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την αποκατάσταση κινητικών λειτουργιών μέσω επαναληπτικής μυϊκής ενεργοποίησης (Peckham & Knutson, 2005). Οι μελέτες εκείνης της περιόδου τεκμηρίωσαν τη δυνατότητα τροποποίησης κινητικών προτύπων και τη σταδιακή βελτίωση της κινητικότητας μέσω EMS, ακόμη και σε άτομα με χρόνιες νευρολογικές βλάβες.

2.2 Ρωσικά ρεύματα

Η μετάβαση από τη γενική εφαρμογή της EMS σε πιο εξειδικευμένες μορφές, όπως τα ρεύματα συμβολής πραγματοποιήθηκε κατά τις δεκαετίες 1970–1980, όταν και αναπτύχθηκε το λεγόμενο «ρωσικό ρεύμα» από τον Yakov Kots στη Σοβιετική Ένωση. Η

τεχνική αυτή, που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά διεθνώς στο συνέδριο της Montreal Society of Sports Medicine το 1977, βασίστηκε στην εφαρμογή συνεχούς εναλλασσόμενου ρεύματος συχνότητας 2.500 Hz, το οποίο διαμορφώνεται σε παλμούς (bursts) συχνότητας 50 Hz, διάρκειας 10 δευτερολέπτων ενεργοποίησης και 50 δευτερολέπτων παύσης (Ward, 2009). Ο Kots ανέφερε ότι το ρεύμα αυτό μπορεί να προκαλέσει αύξηση της μέγιστης μυϊκής ισχύος έως και 40% εντός δέκα ημερών, χωρίς την ανάγκη για εκούσια συμμετοχή από το άτομο. Αν και τα αρχικά δεδομένα του Kots προέρχονταν από μη δημοσιευμένες μελέτες και παραμένουν σε μεγάλο βαθμό μη προσβάσιμα στην διεθνή επιστημονική κοινότητα, το ρωσικό ρεύμα ενσωματώθηκε ευρέως σε κλινικά και εργοφυσιολογικά πρωτόκολλα και αποτέλεσε αντικείμενο δεκάδων μεταγενέστερων μελετών (Ward & Shkuratova, 2002).

Οι εφαρμογές του ρωσικού ρεύματος στη φυσικοθεραπεία επικεντρώνονται κυρίως στην ενίσχυση της μυϊκής δύναμης και στην αποκατάσταση της νευρομυϊκής λειτουργίας μετά από τραυματισμούς, επεμβάσεις ή νευρολογικές βλάβες. Η υψηλή συχνότητα φορέα επιτρέπει βαθύτερη διείσδυση στο μυϊκό ιστό, μειώνοντας παράλληλα την αντίσταση του δέρματος και καθιστώντας το ρεύμα πιο ανεκτό από τους ασθενείς (Gregory & Bickel, 2005). Παράλληλα, η χρήση ριπών (bursts) επιτρέπει την προσομοίωση των φυσιολογικών ρυθμών πυροδότησης των κινητικών νευρώνων, γεγονός που διευκολύνει την ενεργοποίηση ταχέων μυϊκών ινών (τύπου II), οι οποίες είναι κρίσιμες για την ισχύ και συχνά υφίστανται εκλεκτική ατροφία μετά από ακινησία ή νευρική βλάβη (Lieber & Fridén, 2000). Αυτό θεωρητικά καθιστά τη ρωσική διέγερση ιδανική για προγράμματα αποκατάστασης μετά από επεμβάσεις όπως η αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου, οι μυϊκές ατροφίες λόγω γύψου ή ακινητοποίησης, και οι νευρολογικές παθήσεις όπως η ημιπληγία ή η σκλήρυνση κατά πλάκας.

Η ευρεία χρήση των ρωσικών ρευμάτων στην αποκατάσταση οφείλεται κυρίως στην ικανότητά τους να ενεργοποιούν μεγάλες ομάδες μυών, με υψηλή ένταση αλλά όμως και σχετικά υψηλό επίπεδο δυσφορίας. Ο συνδυασμός συχνότητας φορέα 2.500 Hz με διακοπτόμενα bursts στα 50 Hz θεωρητικά επιτρέπει την ενεργοποίηση και των ταχέων και των βραδέων κινητικών μονάδων. Η ηλεκτρική διέγερση αυτού του τύπου προτιμάται σε περιπτώσεις που απαιτείται αύξηση της μέγιστης ισομετρικής δύναμης, ειδικά σε αθλητικούς πληθυσμούς ή μετά από χειρουργικές επεμβάσεις που προκαλούν ατροφία των τετρακεφάλων ή γλουτιαίων μυών (Lake, 1992).

Κλινικές δοκιμές έχουν δείξει σημαντικά οφέλη της χρήσης ρωσικών ρευμάτων σε συνδυασμό με ενεργητικές ασκήσεις, έναντι της χρήσης τους ως μόνης μεθόδου

αποκατάστασης. Σε μια μελέτη, οι (Gondin et al., 2005) διαπίστωσαν ότι η προσθήκη ρωσικής διέγερσης σε πρόγραμμα ενδυνάμωσης τετρακεφάλων μετά από ακινητοποίηση προκάλεσε στατιστικά σημαντική αύξηση της μυϊκής ισχύος και της μυϊκής ενεργοποίησης (μετρημένο με ηλεκτρομυογράφημα), ενώ οι συμμετέχοντες ανέφεραν μεγαλύτερη ανοχή στο ερέθισμα συγκριτικά με παραδοσιακά πρωτόκολλα EMS. Αντίστοιχα, οι (Maffiuletti et al., 2011) κατέδειξαν ότι η εφαρμογή EMS σε συχνότητες 50–100 Hz, ιδιαίτερα σε μορφή bursts όπως στα ρωσικά ρεύματα, αυξάνει την ικανότητα εκούσιας ενεργοποίησης των μυών σε ασθενείς με διαταραχές του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος, όπως η σκλήρυνση κατά πλάκας.

Ωστόσο, αν και τα ρωσικά ρεύματα υπερτερούν σε ορισμένες μελέτες στην αποτελεσματικότητα όσον αφορά την αύξηση της μυϊκής ισχύος, δεν είναι απαλλαγμένα περιορισμών. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι η ενεργοποίηση των μυών μέσω ηλεκτρικής διέγερσης ακολουθεί διαφορετική σειρά προσλήψεως από τη φυσιολογική. Κανονικά, κατά τη διάρκεια εκούσιας μυϊκής συστολής, πρώτα ενεργοποιούνται οι βραδείες κινητικές μονάδες (τύπου I), και σταδιακά εμπλέκονται οι ταχείς (τύπου II), με βάση το μέγεθος των κινητικών μονάδων (Henneman's size principle). Αντιθέτως, η ηλεκτρική διέγερση προκαλεί ταυτόχρονη ή ακόμη και εκλεκτική ενεργοποίηση των ταχέων ινών πρώτα, γεγονός που αυξάνει την τάση για κόπωση, ιδίως όταν η εφαρμογή διαρκεί πάνω από 15–20 λεπτά (Binder-Macleod & Snyder-Mackler, 1993). Για τον λόγο αυτό, οι σύγχρονες κλινικές οδηγίες υποδεικνύουν τον περιορισμό της διάρκειας και την προσεκτική παρακολούθηση της αντίδρασης του ασθενούς κατά τη χρήση ρωσικών ρευμάτων.

Παράλληλα, η σύγκριση των ρωσικών ρευμάτων με άλλες μορφές EMS, όπως το ρεύμα συμβολής (interferential current -IFC), το διφασικό παλμικό ρεύμα (biphasic pulsed current -BPC), και το υψηλής τάσης παλμικό ρεύμα (high-voltage pulsed current- HVPC), έχει απασχολήσει την ερευνητική κοινότητα, με ποικίλα αποτελέσματα. Ορισμένοι ασθενείς με χαμηλό ουδό πόνου προτιμούν ηπιότερα ρεύματα, ενώ άλλοι ανέφεραν ότι η αίσθηση του burst-type ρεύματος (ρεύμα το οποίο παράγεται με παλμούς) ήταν πιο ανεκτή λόγω του «ομαλού ξεκινήματος» κάθε παλμού, συγκριτικά με τα οξύτερα κύματα των μονοφασικών ρευμάτων.

Η αποτελεσματικότητα των ρωσικών ρευμάτων εξαρτάται σημαντικά από παραμέτρους όπως η θέση ηλεκτροδίων, η ένταση, ο ρυθμός αύξησης, η διάρκεια ενεργοποίησης και η συχνότητα των συνεδριών. Ο (Ward, 2009) προτείνει τη χρήση υψηλής έντασης κοντά στο μέγιστο ανεκτό επίπεδο, μικρότερη διάρκεια on–off κύκλων (π.χ. 1/3) για αύξηση της

αντοχής και τμηματική αύξηση της έντασης σε κάθε συνεδρία ώστε να διασφαλίζεται προοδευτικό ερέθισμα. Η σωστή εφαρμογή είναι κρίσιμη για την αποτροπή ανεπιθύμητων αντιδράσεων, όπως σπασμοί, δερματικές αντιδράσεις ή υπερβολική μυϊκή κόπωση, ειδικά σε ασθενείς με υποκείμενες καρδιολογικές ή νευρομυϊκές παθήσεις.

Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα εστιάζει επίσης στη συνδυαστική χρήση των ρωσικών ρευμάτων με βιοανατροφοδότηση (biofeedback), ρομποτική υποβοήθηση και εικονική πραγματικότητα, προκειμένου να ενισχυθεί η αλληλεπίδραση του ασθενούς με το ερέθισμα και να ενισχυθεί η νευρομυϊκή επαναμάθηση. Μελέτες όπως των Daly & Ruff (Daly & Ruff, 2004) σε άτομα μετά από εγκεφαλικό, έδειξαν ότι η συνδυαστική χρήση EMS με κινησιοθεραπεία ενισχύει την κινητική επαναφορά περισσότερο από την απλή παθητική εφαρμογή της ηλεκτροδιέγερσης. Αυτή η τάση οδηγεί σε ένα νέο παράδειγμα εφαρμογών EMS, στο οποίο η διέγερση δεν αποτελεί απλώς ένα παθητικό εργαλείο ενδυνάμωσης, αλλά ένα στοιχείο που ενσωματώνεται σε πολυτροπικές παρεμβάσεις.

Επιπλέον, τα ρωσικά ρεύματα, λόγω της ικανότητάς τους να ενεργοποιούν μεγάλες μυϊκές ομάδες, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε περιπτώσεις που η μυϊκή δυσλειτουργία οδηγεί σε λειτουργικούς περιορισμούς, όπως στη χρόνια οσφυαλγία, στην οστεοαρθρίτιδα γόνατος ή στο μετεγχειρητικό στάδιο ορθοπαιδικών επεμβάσεων. Σε μια πρόσφατη συστηματική ανασκόπηση, οι (Peng et al., 2021) έδειξαν ότι τα προγράμματα ηλεκτροδιέγερσης με χρήση κυμάτων ρωσικού τύπου ήταν εξίσου ή και περισσότερο αποτελεσματικά από την παραδοσιακή θεραπευτική άσκηση στην αποκατάσταση της δύναμης του τετρακεφάλου μετά από αντικατάσταση γόνατος. Η επίδραση αυτή αποδίδεται όχι μόνο στη μηχανική ενεργοποίηση των μυών αλλά και στη βελτίωση της νευρομυϊκής συναρμογής και της φλοιικής διέγερσης, ιδίως όταν τα πρωτόκολλα εφαρμόζονται με συνέπεια και με εξατομικευμένη ρύθμιση παραμέτρων.

Παρότι η χρήση των ρωσικών ρευμάτων είναι εκτενής και σε πολλές περιπτώσεις τεκμηριωμένη, η ετερογένεια στα πρωτόκολλα εφαρμογής, η μεταβλητότητα στις παραμέτρους και η ποικιλία πληθυσμών καθιστούν αναγκαία την τυποποίηση των ερευνητικών σχεδιασμών. Πολλές από τις μελέτες που συγκρίνουν διαφορετικά ρεύματα παρουσιάζουν ασυμβατότητες στη ρύθμιση παραμέτρων, στη διάρκεια των συνεδριών, στον πληθυσμό-στόχο και στην τεχνική τοποθέτησης των ηλεκτροδίων. Ως εκ τούτου, η ανάγκη για υψηλής ποιότητας τυχαιοποιημένες κλινικές μελέτες με αυστηρά καθορισμένα πρωτόκολλα και εναρμονισμένα κριτήρια αξιολόγησης καθίσταται επιτακτική. Επιπλέον, η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει πλέον τη χρήση φορητών συσκευών EMS με έξυπνη παρακολούθηση παραμέτρων, καθιστώντας εφικτή την κατ' οίκον εφαρμογή, στοιχείο που

αναμένεται να αναβαθμίσει τη συμμόρφωση και την προσβασιμότητα των ασθενών στη θεραπεία.

Η μυϊκή ηλεκτρική διέγερση και ιδιαίτερα τα ρωσικά ρεύματα διατηρούν και σήμερα μια εξέχουσα θέση στο φάσμα των μέσων αποκατάστασης, καθώς συνδυάζουν φυσιολογική ενεργοποίηση ταχέων ινών, αυξημένη ανοχή, δυνατότητα εφαρμογής χωρίς εκούσια συμμετοχή, καθώς και δυνατότητα προσαρμογής σε ένα ευρύ φάσμα παθολογιών και πληθυσμών. Ο σωστός σχεδιασμός της θεραπείας και η ενσωμάτωσή της σε πολυπαραγοντικά προγράμματα φυσικοθεραπείας παραμένει το κλειδί για τη μεγιστοποίηση των θεραπευτικών ωφελειών.

2.3 Ρεύματα συμβολής- Σύγκριση με Ρώσικα ρεύματα

Μία σημαντική κατηγορία ρευμάτων αποτελούν τα ρεύματα συμβολής, γνωστά ως *interferential currents* (IFC), τα οποία χρησιμοποιούν συχνά μεσοσυχνές ηλεκτρικές ταλαντώσεις που τέμνονται για να παράγουν ρεύματα χαμηλότερης συχνότητας στο σημείο παρέμβασης (Rampazo É & Liebano, 2022). Τα IFC εισήχθησαν τη δεκαετία του 1950 από τον Á. Nemec, ο οποίος συνδύασε δύο ρεύματα μεσαίας συχνότητας (κλασικά ~4000 Hz και ~4100 Hz) ώστε με την αλληλεπίθεση τους να προκύψει ένα ρεύμα διαμορφωμένης χαμηλής συχνότητας (0–250 Hz) (Rampazo É & Liebano, 2022). Αυτό το διαμορφωμένο ρεύμα θεωρείται ότι δημιουργείται εντός των ιστών στο σημείο όπου διασταυρώνονται οι δύο ροές, επιτυγχάνοντας μειωμένη αντίσταση του δέρματος και βαθύτερη διείσδυση στο μυοσκελετικό σύστημα χωρίς να προκαλεί έντονο πόνο (Rampazo É & Liebano, 2022). Τα ρεύματα IFC εφαρμόζονται με ηλεκτρόδια επί του δέρματος και προκαλούν διέγερση των περιφερικών νεύρων, οδηγώντας σε μυϊκή σύσπαση μέσω ενεργοποίησης των κινητικών νευρώνων. Ο μηχανισμός αυτός βασίζεται στη δημιουργία ενός εναλλασσόμενου ρεύματος μεσοσυχνότητας (συνήθως 2–10 kHz) το οποίο, λόγω της υψηλής συχνότητας, αντιμετωπίζει μικρότερη ωμική αντίσταση στο δέρμα και τους υποκείμενους ιστούς (Rampazo É & Liebano, 2022). Η μειωμένη αντίσταση συνεπάγεται ότι απαιτείται μικρότερη ένταση ρεύματος για να διεγερθούν οι νευρικές ίνες σε βαθύτερα στρώματα, γεγονός που καθιστά το IFC σχετικά ανώδυνο και επιτρέπει στο ρεύμα να φτάσει σε μεγαλύτερο βάθος συγκριτικά με τα συμβατικά

χαμηλοσυχνά ρεύματα (Rampazo É & Liebano, 2022). Στην περίπτωση του IFC, δύο ξεχωριστά κανάλια με ελαφρώς διαφορετικές συχνότητες (π.χ. 4000 Hz και 4100 Hz) εφαρμόζονται διασταυρούμενα. Οι δύο μεσοσυχνές ροές “συμβάλλουν” μεταξύ τους και δημιουργούν εντός των ιστών ένα ρεύμα διαμορφωμένης χαμηλής συχνότητας ίσο με τη διαφορά των δύο συχνοτήτων – για παράδειγμα 100 Hz αν χρησιμοποιηθούν 4000 και 4100 Hz (Rampazo É & Liebano, 2022). Η συχνότητα αυτή (γνωστή ως amplitude-modulated frequency, AMF) είναι κατάλληλη για διέγερση των νεύρων: συχνότητες ~1–10 Hz παράγουν μεμονωμένες συσπάσεις (μυϊκά τινάγματα), ενώ υψηλότερες ~50 Hz μπορούν να προκαλέσουν τετανική σύσπαση των μυών (Khiyami et al., 2023).

Η ηλεκτρική διέγερση επιστρατεύει κινητικές μονάδες των μυών με μηχανισμό διαφορετικό από τη φυσιολογική εκούσια συστολή. Συγκεκριμένα, η διέγερση μέσω ηλεκτροδίων τείνει να ενεργοποιεί κατά προτεραιότητα τις νευρικές ίνες με τη μεγαλύτερη διάμετρο και τη χαμηλότερη αντίσταση μεμβράνης. Έτσι, συχνά τίθενται σε λειτουργία πρώτα οι κινητικές μονάδες ταχείας συστολής (τύπου II) που νευρώνουν τις ισχυρότερες μυϊκές ίνες, σε αντίθεση με τη φυσιολογική σειρά στρατολόγησης όπου αρχικά ενεργοποιούνται μικρότερες, βραδείας συστολής μονάδες (τύπου I). Αυτό εξηγεί γιατί οι μυϊκές συσπάσεις από ηλεκτροδιέγερση μπορεί να επιφέρουν ταχεία κόπωση του μυός. Ωστόσο, η χρήση μεσοσυχνών κυμάτων όπως στο IFC μειώνει την δυσφορία και επιτρέπει την εφαρμογή υψηλότερων εντάσεων ρεύματος, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση μεγαλύτερου ποσοστού μυϊκών ινών πριν επέλθει ο πόνος ή ο τραυματισμός του δέρματος (Rampazo É & Liebano, 2022). Κατά συνέπεια, επιτυγχάνεται ικανή μυϊκή σύσπαση ακόμη και σε περιπτώσεις όπου ο ασθενής δεν μπορεί να συσπάσει επαρκώς τον μυ εκούσια (π.χ. λόγω πόνου ή νευρολογικής βλάβης). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ρεύματα συμβολής δρουν πρωτίστως μέσω διέγερσης των νεύρων των κινητικών μονάδων των μυών (εξαιρουμένων περιπτώσεων πλήρους νευρικής βλάβης όπου απαιτούνται ειδικές τεχνικές για απευθείας διέγερση των μυϊκών ινών). Οι αισθητικές ίνες επίσης διεγείρονται, κάτι που συνδέεται με παράπλευρες δράσεις όπως η αναλγησία μέσω του μηχανισμού της πύλης του πόνου όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλες συχνότητες (τυπικά 80–130 Hz για αισθητική αναλγησία) (Khiyami et al., 2023).

Η αποτελεσματικότητα της μυϊκής διέγερσης εξαρτάται από τις παραμέτρους ρύθμισης του ρεύματος. Στα ρεύματα συμβολής, βασικές παράμετροι είναι η φέρουσα συχνότητα (carrier frequency), η διαμορφούμενη συχνότητα (beat frequency ή AMF), ο τρόπος σάρωσης συχνότητας (sweep pattern), η ένταση (amplitude) και η διάταξη ηλεκτροδίων. Συνήθως χρησιμοποιείται φέρουσα συχνότητα 4000 Hz, αν και μπορούν να αξιοποιηθούν

και άλλες μεσοσυχνότητες (π.χ. 2000–5000 Hz). Η συχνότητα διαμόρφωσης επιλέγεται ανάλογα με τον θεραπευτικό στόχο (Khiyami et al., 2023). Υπάρχουν λειτουργίες σάρωσης (sweep) όπου η συχνότητα διαμόρφωσης μεταβάλλεται εντός ενός εύρους (π.χ. 1–10 Hz ή 90–100 Hz) ώστε να αποφεύγεται η προσαρμογή και να επιτυγχάνονται συνδυασμένα αποτελέσματα (μυϊκή αντλία και αναλγησία, κ.ά.) (Khiyami et al., 2023). Το είδος εφαρμογής των IFC μπορεί να είναι τετραπολική τοποθέτηση (δύο κανάλια σταυρωτά) ή διπολική (προ-διαμορφωμένο ρεύμα από ένα κανάλι με δύο ηλεκτρόδια). Η τετραπολική εφαρμογή θεωρείται κλασική για διάχυτη διείσδυση και αναλγησία, ενώ η διπολική (προδιαμορφωμένο ρεύμα) προτείνεται ότι μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική για παραγωγή ροπής και ανεκτικότητα σε μυϊκή διέγερση (Khiyami et al., 2023). Πράγματι, μελέτες σύγκρισης έχουν δείξει ότι η διπολική μέθοδος μπορεί να αποδίδει μεγαλύτερη μυϊκή ροπή και να είναι πιο ανεκτή από τους ασθενείς σε σχέση με την τετραπολική διάταξη, η οποία ωστόσο υπερτερεί στην αναλγητική δράση (Khiyami et al., 2023). Η διάρκεια κάθε συνεδρίας IFC για μυϊκή διέγερση συνήθως κυμαίνεται γύρω στα 10–20 λεπτά ανά μυϊκή ομάδα, με ένταση αρκετή ώστε να προκαλεί εμφανή μυϊκή σύσπαση ή ισχυρή αισθητική διέγερση χωρίς αφόρητο πόνο (Khiyami et al., 2023). Συνιστάται το διάστημα θεραπείας να μην υπερβαίνει τα 20 λεπτά ανά περιοχή για την αποφυγή δερματικού ερεθισμού, ενώ η συχνότητα συνεδριών μπορεί να είναι 3 φορές την εβδομάδα για αρκετές εβδομάδες ανάλογα με τον στόχο (π.χ. 4–12 εβδομάδες).

Ένα κρίσιμο ερώτημα στην ηλεκτροθεραπεία είναι ποιος τύπος ρεύματος επιτυγχάνει καλύτερη ενεργοποίηση και ενδυνάμωση των μυών. Παραδοσιακά, τα ρωσικά ρεύματα θεωρήθηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά για αύξηση της μυϊκής δύναμης. Αυτό βασίστηκε αρχικά στις αναφορές του Kots, που υποστήριζε ότι η προπόνηση με ρωσικό ρεύμα μπορούσε να αποδώσει βελτιώσεις δύναμης έως και 40% σε αθλητές υψηλού επιπέδου (Ward & Shkuratova, 2002). Ωστόσο, οι ισχυρισμοί αυτοί δεν τεκμηριώθηκαν επαρκώς στη δυτική βιβλιογραφία και για πολλά χρόνια υπήρχε αβεβαιότητα σχετικά με το αν το 2,5 kHz ρεύμα και το πρωτόκολλο 10/50/10 είναι όντως ανώτερα από άλλες μορφές διέγερσης (Ward & Shkuratova, 2002). Σύγχρονες μελέτες έχουν ρίξει περισσότερο φως στο ζήτημα συγκρίνοντας άμεσα τα ρεύματα συμβολής με τα ρωσικά και άλλα ρεύματα νευρομυϊκής διέγερσης.

Αν και παλαιότερα δεδομένα υπέδειξαν ότι η παραγωγή μυϊκής ροπής με ρεύματα συμβολής υστερεί σε σχέση με το ρωσικό ρεύμα, τα συμπεράσματα αυτά δεν ήταν οριστικά, διότι οι συνθήκες δεν ήταν απόλυτα συγκρίσιμες (Bellew et al., 2012). Νεότερη έρευνα που ελέγχει αυστηρά τις παραμέτρους δείχνει ότι τα ρεύματα συμβολής μπορούν

να προκαλέσουν ίσες ή και μεγαλύτερες μυϊκές δυνάμεις σε σύγκριση με το κλασικό ρωσικό ρεύμα. Σε τυχαιοποιημένη μελέτη με νεαρούς υγιείς ενήλικες, οι ερευνητές συνέκριναν τρεις μορφές διέγερσης για τους εκτείνοντες μύες του γόνατος χρησιμοποιώντας ισοδύναμες ρυθμίσεις: (α) IFC με διαμορφωμένη συχνότητα κατάλληλη για τετανική σύσπαση, (β) ρωσικό ρεύμα 2500 Hz/50 Hz, και (γ) διφασικό παλμικό ρεύμα σε burst μορφή (Bellew et al., 2012). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ρεύμα συμβολής και το burst διφασικό ρεύμα πέτυχαν σημαντικά υψηλότερο ποσοστό μέγιστης ισομετρικής δύναμης στον τετρακέφαλο σε σύγκριση με το συμβατικό ρωσικό ρεύμα. Συγκεκριμένα, η ροπή που παραγόταν με ρεύματα συμβολής ήταν μεγαλύτερη από εκείνη με ρώσικα ρεύματα, υποδηλώνοντας ότι, υπό κατάλληλες συνθήκες, το ρεύμα συμβολής δεν υπολείπεται σε αποτελεσματικότητα – αντιθέτως μπορεί να είναι τουλάχιστον εξίσου αποδοτικό στην πρόσκληση μυϊκής σύσπασης.

Άλλη μελέτη εξέτασε άμεσα τη διαφορά μεταξύ μεσόσυχνης διέγερσης και χαμηλόσυχνης διέγερσης ως προς την ενίσχυση της μυϊκής προσπάθειας. Ο Pinfildi και συνεργάτες του συνέκριναν την ισομετρική δύναμη τετρακεφάλου σε νεαρά άτομα κατά μέγιστη σύσπαση μόνο, σύσπαση με ταυτόχρονη διέγερση με μεσοσυχνό ρεύμα (4 kHz, όπως στο ρεύμα συμβολής) και σύσπαση με διέγερση χαμηλής συχνότητας (πλατείς παλμοί) (Pinfildi et al., 2018). Βρέθηκε ότι η προσθήκη μεσοσυχνής διέγερσης (τύπου συμβολής) αύξησε σημαντικά την παραγόμενη ροπή συγκριτικά με τη χαμηλόσυχνη διέγερση, ενώ μάλιστα η απόδοση με ρεύμα τα συμβολής ήταν ανώτερη και από την μέγιστη εκούσια σύσπαση χωρίς βοήθεια (Pinfildi et al., 2018). Αντιθέτως, η χαμηλόσυχνη διέγερση δεν έδειξε σημαντική διαφορά από τη σύσπαση χωρίς ρεύμα (Pinfildi et al., 2018). Αυτά τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι τα μεσοσυχνά ρεύματα μπορούν να προσδώσουν ένα επιπλέον όφελος στην παραγόμενη μυϊκή δύναμη, πιθανώς λόγω της καλύτερης ανοχής που επιτρέπει υψηλότερη διέγερση των κινητικών μονάδων.

Συνολικά, τα διαθέσιμα στοιχεία καταδεικνύουν ότι δεν υπάρχει μία απόλυτα “ανώτερη” μορφή ρεύματος για κάθε περίπτωση. Τα ρεύματα συμβολής έχουν αποδειχθεί ικανά να ενεργοποιήσουν τους μύες σε βαθμό συγκρίσιμο ή και μεγαλύτερο από τα ρωσικά ρεύματα υπό ίσες συνθήκες, αμφισβητώντας την παλαιότερη πεποίθηση ότι το ρώσικο ρεύμα υπερέχει πάντοτε σε ενδυνάμωση (Bellew et al., 2012). Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η πραγματική κλινική αποτελεσματικότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: την επιλογή σωστών παραμέτρων (συχνότητα, ένταση, διάρκεια), την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, και την συνεργασία του ασθενούς (συνιστάται ο ασθενής να προσπαθεί να συσπάσει τον μυ παράλληλα με το ρεύμα για βέλτιστο αποτέλεσμα). Επιπλέον, σε

ορισμένες μελέτες αναφέρεται ότι η συμβολή των ρευμάτων στους ιστούς μπορεί να επηρεάζεται από το βάθος και την αγωγιμότητα του ιστού, ενώ η τετραπολική διάταξη ρευμάτων συμβολής ενδέχεται να μην εστιαστεί απόλυτα στον επιθυμητό μυ αν τα ηλεκτρόδια απέχουν πολύ. Στον αντίποδα, η διπολική εφαρμογή κατευθύνεται απ' ευθείας σε συγκεκριμένο μυ.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των ρευμάτων συμβολής (και γενικά των μεσόσυχων ρευμάτων) είναι η μεγαλύτερη άνεση για τον δέκτη συγκριτικά με τα χαμηλοσυχνά ρεύματα. Επειδή τα ρεύματα συμβολής χρησιμοποιούν φέρον ρεύμα χιλιοκυκλωτικής συχνότητας, η αντίσταση του δέρματος είναι μικρότερη και απαιτείται χαμηλότερη τάση στην επιφάνεια για να επιτευχθεί η ίδια ένταση στο νεύρο (Khiyami et al., 2023). Αυτό σημαίνει λιγότερος ερεθισμός των επιφανειακών αλγοϋποδοχέων του δέρματος και, συνεπώς, μειωμένη αίσθηση πόνου ή καψίματος για τον ασθενή. Έτσι, τα μεσόσυχνα ρεύματα δίνουν τη δυνατότητα πρόκλησης δυνατών συσπάσεων χωρίς τον έντονο πόνο που συχνά περιορίζει τη χαμηλόσυχνη ηλεκτρική διέγερση (Ward & Shkuratova, 2002).

Ένα πρακτικό πλεονέκτημα των ρευμάτων συμβολής είναι ότι πολλές φορητές ή κλινικές συσκευές διαθέτουν έτοιμα προγράμματα ρευμάτων συμβολής που είναι ασφαλή, εύχρηστα και μπορούν ακόμα και να εφαρμοστούν από τον ίδιο τον ασθενή στο σπίτι (Khiyami et al., 2023). Αντιθέτως, η εφαρμογή ρωσικών ρευμάτων απαιτεί συχνά επίβλεψη ώστε ο ασθενής να αντέξει την ισχυρή σύσπαση και να διασφαλιστεί η σωστή τοποθέτηση (π.χ. συχνά χρησιμοποιείται μάντας για να συγκρατείται το άκρο σε ισομετρική θέση κατά τη σύσπαση υψηλής έντασης). Ένα πιθανό μειονέκτημα των ρευμάτων συμβολής που αναφέρεται είναι ότι σε ορισμένες συσκευές παλαιότερης γενιάς, η μέγιστη αντοχή ρεύματος μπορεί να μην επαρκεί για να προκληθεί ισχυρή σύσπαση σε μεγάλους μυς (π.χ. τετρακέφαλος) σε σύγκριση με τα εξειδικευμένα μηχανήματα NMES. Αυτή η παρατήρηση είχε οδηγήσει παλαιότερα στην εντύπωση ότι τα ρεύματα συμβολής “υστερούν” απλώς επειδή οι συσκευές τους απέδιδαν μικρότερο ρεύμα (Ward & Shkuratova, 2002). Με τις σύγχρονες τεχνολογίες όμως, τα περισσότερα μηχανήματα μπορούν να δώσουν επαρκή ένταση τόσο σε ρεύματα συμβολής όσο και σε ρωσικά ρεύματα, οπότε αυτό το μειονέκτημα έχει πρακτικά εξαλειφθεί.

2.4 Χρήση Ηλεκτρικής διέγερσης σε προγράμματα αποκατάστασης

Πρώιμες μελέτες σε υγιείς ενήλικους έδειξαν ότι η προπόνηση με ηλεκτρική διέγερση μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη δύναμη του τετρακεφάλου ακόμη και χωρίς εκούσια συμμετοχή. Σε μια τυχαιοποιημένη μελέτη (Laughman et al., 1983), 58 υγιείς ενήλικες χωρίστηκαν σε ομάδα ελέγχου, σε ομάδα που έλαβε καθημερινή NMES στον τετρακέφαλο και σε ομάδα που εκτέλεσε ισομετρικές ασκήσεις τετρακεφάλου για αντίστοιχο διάστημα (Laughman et al., 1983). Μετά από αρκετές εβδομάδες προπόνησης, τόσο η ομάδα NMES όσο και η ομάδα εκούσιας άσκησης παρουσίασαν στατιστικά σημαντική αύξηση της παραγόμενης ισομετρικής ροπής του τετρακεφάλου συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου (Laughman et al., 1983). Τα ευρήματα αυτά υποστήριξαν ότι η ηλεκτρική διέγερση αποτελεί αποτελεσματικό μέσο ενδυνάμωσης του σκελετικού μυός χωρίς την ανάγκη εκούσιας προσπάθειας. Πολλές μεταγενέστερες μελέτες επιβεβαίωσαν ότι η NMES προκαλεί κέρδη δύναμης σε υγιείς. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά της συγκρινόμενη με την κλασική άσκηση αντίστασης είναι μικρότερη στους νέους υγιείς, υποδηλώνοντας ότι όπου είναι εφικτή η εκούσια προπόνηση υψηλής έντασης, αυτή υπερέχει. Σύμφωνα με μια πρόσφατη ανασκόπηση 37 άρθρων (Rahmati et al., 2021), η διαθέσιμη τεκμηρίωση δείχνει ότι η NMES αυξάνει σημαντικά τη δύναμη του τετρακεφάλου στους υγιείς νέους ενήλικες σε σύγκριση με μη άσκηση, αν και υπολείπεται σε αποτελεσματικότητα έναντι της προπόνησης με αντιστάσεις (Rahmati et al., 2021). Οι ίδιοι συγγραφείς ανέφεραν ότι τα δεδομένα για την επίδραση της NMES στη μυϊκή μάζα είναι αντικρουόμενα στους νέους, ενώ για τους ηλικιωμένους τα στοιχεία (μόλις 5 μελέτες) υποδηλώνουν μια πιθανή ωφέλεια ως προς την αύξηση δύναμης και ίσως μάζας, αλλά δεν επαρκούν για οριστικά συμπεράσματα (Rahmati et al., 2021). Συνολικά, οι (Rahmati et al. 2021) κατέληξαν στο ότι η NMES είναι μια αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της ισομετρικής δύναμης του τετρακεφάλου σε υγιείς νεαρούς, ενώ η επίδρασή της στη μυϊκή υπερτροφία παραμένει ασαφής και απαιτούνται περισσότερες ποιοτικές μελέτες σε μεγαλύτερες ηλικίες.

Η χρήση της NMES σε ηλικιωμένους έχει επίσης διερευνηθεί, με σκοπό την αντιστάθμιση της σχετιζόμενης με την ηλικία απώλειας μυϊκής δύναμης ή την αντιμετώπιση παθήσεων. Μια συστηματική ανασκόπηση (de Oliveira Melo et al., 2013) που εξέτασε ηλικιωμένους με οστεοαρθρίτιδα γόνατος κατέληξε ότι υπάρχουν μέτριες ενδείξεις υπέρ της NMES –είτε ως μόνης παρέμβασης είτε σε συνδυασμό με άσκηση– για την ενδυνάμωση του τετρακεφάλου σε ισομετρικές συνθήκες. Με άλλα λόγια, σε

ηλικιωμένους με οστεοαρθρίτιδα η NMES μπορεί να αυξήσει τη δύναμη του τετρακεφάλου χωρίς να επιδεινώσει τα συμπτώματα, υποβοηθώντας το θεραπευτικό αποτέλεσμα της άσκησης. Πράγματι, σε κλινικές δοκιμές κατ' οίκον προγραμμάτων NMES σε ηλικιωμένους με οστεοαρθρίτιδα διαπιστώθηκε αύξηση της μυϊκής ισχύος χωρίς παρενέργειες, ενώ οι ασθενείς ανέφεραν μείωση πόνου και βελτίωση λειτουργικότητας κατά την καθημερινή δραστηριότητα (ενδείξεις ότι η μέθοδος είναι ανεκτή και ωφέλιμη στην τρίτη ηλικία). Παρ' όλα αυτά, η αποτελεσματικότητα της NMES στους ηλικιωμένους γενικά χρειάζεται περαιτέρω τεκμηρίωση με μεγαλύτερες και αυστηρότερες μελέτες.

Η NMES έχει βρει εξέχουσα εφαρμογή στην αποκατάσταση μυϊκής δύναμης μετά από ορθοπαιδικές κακώσεις και επεμβάσεις. Μετά από ανακατασκευή προσθίου χιαστού συνδέσμου, η πρόωπη χρήση ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής έντασης μπορεί να επιταχύνει την ανάκτηση της δύναμης του τετρακεφάλου. Σε μια τυχαιοποιημένη κλινική δοκιμή (Snyder-Mackler et al., 1994), 110 ασθενείς αμέσως μετά από χειρουργική αποκατάσταση του ACL κατανεμήθηκαν σε ομάδες αποκατάστασης: (α) NMES υψηλής έντασης, (β) εκούσια ισομετρική άσκηση υψηλής προσπάθειας, (γ) NMES χαμηλής έντασης, ή (δ) συνδυασμό υψηλής και χαμηλής έντασης. Όλη η ενδυνάμωση έγινε ισομετρικά σε κάμψη γόνατος 65°. Μετά από 4 εβδομάδες, οι ομάδες που δέχθηκαν NMES υψηλής έντασης (μόνη ή σε συνδυασμό) εμφάνισαν πολύ μικρότερη απώλεια δύναμης: η μέγιστη ισομετρική ροπή του τετρακεφάλου τους έφτανε ~70% της αντίστοιχης του υγιούς σκέλους, έναντι ~57% στην ομάδα της εκούσιας άσκησης και ~51% στην ομάδα χαμηλής έντασης (Snyder-Mackler et al., 1994). Αυτή η σημαντικά ταχύτερη αποκατάσταση της δύναμης συνοδεύτηκε και από βελτιωμένες παραμέτρους βάδισης, δεδομένου ότι η δύναμη του τετρακεφάλου συσχετίστηκε άμεσα με την κινηματική του γόνατος κατά τη στάση (Snyder-Mackler et al., 1994). Είναι αξιοσημείωτο ότι όλοι οι ασθενείς ακολούθησαν και ένα εντατικό πρόγραμμα λειτουργικών ασκήσεων κλειστής κινητικής αλυσίδας, γεγονός που υπογραμμίζει πως η NMES προσφέρει επιπλέον όφελος πέραν της συνήθους αποκατάστασης. Άλλες μελέτες από την ίδια ερευνητική ομάδα ανέδειξαν ότι η χρήση φορητών διεγερτών χαμηλής ισχύος δεν επαρκεί για τη μεγιστοποίηση του οφέλους – απαιτούνται υψηλές εντάσεις διέγερσης που προσεγγίζουν το μέγιστο ανεκτό από τον ασθενή για βέλτιστη ανάκτηση της μυϊκής ισχύος. Πράγματι, οι Snyder-Mackler et al. (1994) διαπίστωσαν μια γραμμική σχέση δόσης-απόκρισης: οι ασθενείς που προπονήθηκαν με κλινικούς διεγέρτες (με δυνατότητα υψηλότερης έντασης ρεύματος) πέτυχαν μεγαλύτερη αποκατάσταση ισχύος σε σύγκριση με όσους χρησιμοποίησαν φορητές συσκευές χαμηλότερης έντασης. Συνεπώς, στις πρώτες μετεγχειρητικές

εβδομάδες μετά από ρήξη προσθίου χιαστού συνδέσμου συστήνεται η εφαρμογή όσο το δυνατόν πιο έντονης NMES, καθώς η χαμηλή ένταση ή η απουσία διέγερσης δεν προστατεύουν επαρκώς από την αρχική ατροφία και αδυναμία του τετρακεφάλου (Snyder-Mackler et al., 1994).

Παρόμοια οφέλη έχουν παρατηρηθεί στην αποκατάσταση μετά από ολική αρθροπλαστική γόνατος, όπου η μετεγχειρητική μυϊκή ατροφία του τετρακεφάλου είναι συχνή και σχετίζεται με λειτουργική ανεπάρκεια στους ηλικιωμένους. Σε μια τυχαιοποιημένη μελέτη 66 ασθενών (Stevens-Lapsley et al., 2012), η πρώιμη προσθήκη NMES (ξεκινώντας 48 ώρες μετά το χειρουργείο) στο πρόγραμμα φυσικοθεραπείας είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη διατήρηση της δύναμης του τετρακεφάλου και ταχύτερες λειτουργικές βελτιώσεις. Συγκεκριμένα, στις τρεισήμισι εβδομάδες μετεγχειρητικά, η ομάδα με NMES είχε σημαντικά υψηλότερη ισομετρική δύναμη τετρακεφάλου και οπισθίων μηριαίων, καλύτερη επίδοση σε δοκιμασίες λειτουργικότητας (π.χ. ταχύτερη έγερση-βάδιση) και μεγαλύτερο ενεργό εύρος κίνησης έκτασης γόνατος συγκριτικά με την ομάδα που έλαβε μόνο τη συνήθη θεραπεία (Stevens-Lapsley et al., 2012). Μέχρι τις 13 και 52 εβδομάδες, οι διαφορές μεταξύ των ομάδων μειώθηκαν αλλά παρέμειναν στατιστικά σημαντικές υπέρ της ομάδας NMES όσον αφορά τη δύναμη (τετρακέφαλου και δικεφάλου μηριαίου), την απόδοση σε λειτουργικά τεστ και ορισμένες υποκειμενικές αξιολογήσεις (ερωτηματολόγια). Οι ερευνητές συμπέραναν ότι η πρώιμη έναρξη NMES μπορεί να αμβλύνει αποτελεσματικά την μετεγχειρητική απώλεια μυϊκής ισχύος και να βελτιώσει την αποκατάσταση της λειτουργικότητας, με τα μεγαλύτερα οφέλη να εκδηλώνονται εντός του πρώτου μήνα και να εξακολουθούν να είναι ανιχνεύσιμα έως και ένα έτος μετά. Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνονται από μεταγενέστερη μέτα-ανάλυση (Peng et al., 2021) 9 τυχαιοποιημένων μελετών με 691 ασθενείς, η οποία έδειξε ότι η προσθήκη NMES μετά από Ολική Αρθροπλαστική Γόνατος οδηγεί σε ταχύτερη και μεγαλύτερη αποκατάσταση της ισομετρικής δύναμης του τετρακεφάλου συγκριτικά με τη συμβατική αποκατάσταση. Συγκεκριμένα, η ανάλυση έδειξε σημαντικά υψηλότερη δύναμη στην ομάδα NMES ήδη μέσα στον πρώτο μήνα, διαφορά που παρέμεινε υπέρ της NMES στους 2 μήνες, 3–4 μήνες και έως 12 μήνες μετά την επέμβαση (Peng et al., 2021). Παράλληλα, οι ασθενείς με NMES είχαν ηπιότερο μετεγχειρητικό πόνο στις 4–8 εβδομάδες (μειωμένη κλίμακα VAS κατά ~0.5 μονάδες) και καλύτερες επιδόσεις σε δείκτες λειτουργικότητας, όπως ταχύτερο χρόνο στο τεστ “Time Up and Go” τον πρώτο μήνα (κατά ~2,2 δευτερόλεπτα ταχύτεροι έναντι ελέγχου) και μεγαλύτερη απόσταση στο τεστ βάδισης 3 λεπτών στους 3–6 μήνες (κατά ~28 μέτρα περισσότερο) (Peng et al., 2021).

Αν και όχι όλα τα αποτελέσματα είχαν κλινικά σημαντική διαφορά, συνολικά η ανασκόπηση κατέληξε πως η NMES ως συμπληρωματική θεραπεία μετά από Ολική Αρθροπλαστική Γόνατος βελτιώνει βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα τη δύναμη του τετρακεφάλου, καθώς και μεσοπρόθεσμα τον πόνο και ορισμένες παραμέτρους λειτουργίας. Οι ερευνητές σημειώνουν ότι ορισμένα ευρήματα (π.χ. οριακή βελτίωση σε κλίμακες όπως το WOMAC) δεν πέτυχαν το ελάχιστο κλινικά σημαντικό όριο, αλλά παρ' όλα αυτά η NMES μπορεί να θεωρηθεί ωφέλιμη προσθήκη στα πρωτόκολλα αποκατάστασης μετά από αρθροπλαστική γόνατος.

Σε νευρολογικές παθήσεις που συνοδεύονται από μυϊκή παράλυση ή αδυναμία, η ηλεκτρική διέγερση χρησιμοποιείται τόσο για την πρόκληση μυϊκής σύσπασης όσο και για τη διευκόλυνση της λειτουργικής επανεκπαίδευσης. Εφόσον οι κατώτεροι κινητικοί νευρώνες προς τον μυ είναι ακέραιοι, η NMES μπορεί να παράγει σύσπαση παράλυτων ή παρετικών μυών· έτσι εφαρμόζεται σε καταστάσεις άνω κινητικού νευρώνα όπως αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια ή κάκωση νωτιαίου μυελού (Knutson et al., 2015). Για παράδειγμα, σε ασθενείς μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο η NMES χρησιμοποιείται θεραπευτικά για τη βελτίωση της δύναμης και του ελέγχου των παρετικών μυών του κάτω άκρου, αλλά και ως “νευροπροσθετική” για την υποβοήθηση κινήσεων κατά τη βάδιση (π.χ. διέγερση περνιαίου νεύρου για άρση του άκρου ποδός). Η NMES δύναται να μειώσει τη μακροχρόνια αναπηρία μέσω βελτίωσης της ανάκτησης εκούσιας κίνησης ή/και αντικατάστασης της χαμένης μυϊκής λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο (υποκαθιστώντας προσωρινά τον ασθενή μυ, (π.χ. σε ένα ορθοστάτη ή εργοποδήλατο) (Knutson et al., 2015). Χαρακτηριστική είναι μια μελέτη σε παιδιά με σπαστική διπληγία λόγω εγκεφαλικής παράλυσης, όπου συγκρίθηκε πρόγραμμα 12 εβδομάδων ισομετρικής προπόνησης με NMES (μέσω εμφυτεύσιμων ηλεκτροδίων στον τετρακέφαλο και γαστροκνήμιο) έναντι ισομετρικών εκούσιων ασκήσεων αντίστασης. Η ομάδα NMES πέτυχε μεγαλύτερη αύξηση στη μέγιστη ισομετρική δύναμη του τετρακεφάλου και του γαστροκνημίου συγκριτικά με την ομάδα εκούσιας άσκησης, καθώς και αξιοσημείωτη βελτίωση στην ταχύτητα βάδισης, ενώ η ομάδα της ισομετρικής άσκησης δεν παρουσίασε αλλαγή στην ταχύτητα βάδισης (Stackhouse et al., 2007). Επιπλέον, μόνο στην ομάδα NMES παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της μυϊκής μάζας στη διατομή του τετρακεφάλου (μυϊκή υπερτροφία μετρημένη με μαγνητικό τομογράφο) και η βελτίωση της μέγιστης δύναμης συσχετίστηκε με αύξηση της εκούσιας νευρικής ενεργοποίησης του μυός: ~67% της αύξησης στη μέγιστη ροπή του τετρακεφάλου στην ομάδα NMES αποδόθηκε σε βελτίωση της ενεργοποίησης από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, έναντι

~37% στην ομάδα εκούσιας άσκησης (Stackhouse et al., 2007). Συνεπώς, η NMES μπορεί να προκαλέσει ουσιαστικά μυικά οφέλη ακόμη και σε παιδιά με εγκεφαλική παράλυση, κάτι που παλαιότερα θεωρούνταν δύσκολο λόγω του νευρολογικού ελλείμματος (Stackhouse et al., 2007). Σε πλήρη παράλυση μετά από κάκωση νωτιαίου μυελού, η NMES αποτελεί τη μοναδική μέθοδο για την ενεργοποίηση των μυών κάτω από το επίπεδο της βλάβης και χρησιμοποιείται για την πρόκληση περιοδικών συσπάσεων (π.χ. σε κυκλική εργομετρία/ποδηλασία με ηλεκτρική διέγερση) με σκοπό τη μείωση της μυϊκής ατροφίας και τη βελτίωση της κυκλοφορίας. Συνολικά, η ηλεκτρική διέγερση στις νευρολογικές διαταραχές μπορεί να βελτιώσει τη μυϊκή ισχύ και να συμβάλει στην αποκατάσταση της λειτουργικότητας, είτε μέσω άμεσης ενδυνάμωσης των εξασθενημένων μυών είτε διευκολύνοντας την επανεκπαίδευση του νευρομυϊκού ελέγχου.

2.5 Σκοπός Ερευνητικής Μελέτης

Ο στόχος της παρούσας έρευνας είναι να εξεταστεί η επίδραση της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας στην ικανότητα παραγωγής μέγιστης εθελούσιας ισομετρικής σύσπασης σε υγιή νεαρά άτομα. Ειδικότερα, η μελέτη αποσκοπεί να αξιολογήσει εάν η εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης μπορεί να ενισχύσει τη μυϊκή δύναμη που ασκεί το άτομο κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης ισομετρικής σύσπασης και να παραθέσει υποθέσεις ως προς τους υποκείμενους μηχανισμούς που συμβάλλουν στη βελτίωση αυτής της δύναμης. Η παρούσα έρευνα έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς τα ευρήματά της μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην ηλεκτρική διέγερση και τους φυσιολογικούς μηχανισμούς παραγωγής δύναμης. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές εφαρμογές της τεχνικής σε προγράμματα αποκατάστασης και μυϊκής ενδυνάμωσης. Παράλληλα, η μελέτη αναμένεται να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την πιθανή χρήση της ηλεκτρικής διέγερσης για τη βελτίωση της μυϊκής απόδοσης σε ειδικούς πληθυσμούς, όπως άτομα με κινητικά προβλήματα, ηλικιωμένους αλλά και αθλητές.

2.6 Ερευνητικές Υποθέσεις

H_0 (Μηδενική Υπόθεση):

Η εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας δεν προκαλεί στατιστικά σημαντική διαφορά στην παραγόμενη μυϊκή ροπή κατά τη διάρκεια μέγιστης ισομετρικής σύσπασης του τετρακέφαλου σε υγιή άτομα νεαρής ηλικίας, σε σύγκριση με την εθελούσια σύσπαση χωρίς διέγερση.

H_1 (Εναλλακτική Υπόθεση):

Η εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας προκαλεί στατιστικά σημαντική αύξηση της παραγόμενης μυϊκής ροπής κατά τη διάρκεια μέγιστης ισομετρικής σύσπασης του τετρακέφαλου σε υγιή άτομα νεαρής ηλικίας, σε σύγκριση με την εθελούσια σύσπαση χωρίς διέγερση.

Κεφάλαιο 3- Μεθοδολογία

3.1 Ερευνητικός Σχεδιασμός

Η μελέτη υιοθέτησε έναν σχεδόν πειραματικό (quasi-experimental) σχεδιασμό, κατά τον οποίο κάθε συμμετέχων αποτέλεσε το δικό του σημείο αναφοράς (within subject design). Η επιλογή αυτού του σχεδιασμού κρίθηκε σκόπιμη καθώς επέτρεψε τη σύγκριση της μέγιστης ισομετρικής συστολής του τετρακέφαλου με και χωρίς την εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης στο ίδιο άτομο, ελαχιστοποιώντας την επίδραση ενδο-ομαδικών διαφορών και αυξάνοντας την εσωτερική εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός αυτός εξουδετερώνει το σφάλμα που μπορεί να προκύψει από διαφορές μεταξύ διαφορετικών υποκειμένων, καθώς κάθε συμμετέχων υποβάλλεται και στις δύο συνθήκες.

Η ερευνητική διαδικασία οργανώθηκε σε δύο φάσεις μέτρησης για κάθε συμμετέχοντα. Στην μία φάση καταγράφηκε η μέγιστη ισομετρική ροπή (peak torque) του τετρακέφαλου μύος κατά την εκούσια συστολή χωρίς ηλεκτρική διέγερση. Στην άλλη φάση, πραγματοποιήθηκε η ίδια δοκιμασία αλλά με ταυτόχρονη εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης, μέσω της οποίας επιδιώχθηκε η μέγιστη ενεργοποίηση των μυϊκών ινών κατά τη διάρκεια της σύσπασης. Οι δύο συνθήκες (χωρίς και με διέγερση) εφαρμόστηκαν με επαρκές διάστημα ανάπαυσης μεταξύ τους ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της κόπωσης και να διατηρηθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων.

Η σειρά εφαρμογής των συνθηκών καθοριζόταν με συστηματική εναλλαγή, με στόχο τη μείωση της πιθανής επίδρασης της σειράς εκτέλεσης (order effect). Για κάθε ημέρα μετρήσεων, οι αρχικές συνθήκες του πρώτου συμμετέχοντα επιλεγόταν τυχαία, ενώ στη συνέχεια οι υπόλοιπες συνθήκες των συμμετεχόντων εναλλάσσονταν βάσει του προκαθορισμένου σχεδιασμού.

Ο ημipeιραματικός χαρακτήρας της μελέτης οφείλεται στο γεγονός ότι η στρατολόγηση των συμμετεχόντων δεν έγινε με αυστηρά τυχαίο τρόπο, αλλά με δειγματοληψία ευκολίας (convenience sampling), από τη φοιτητική και την τοπική κοινότητα. Παρά τον περιορισμό αυτό, η ομοιογένεια του δείγματος, όπως διασφαλίστηκε μέσω των κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού, ενίσχυσε τη δυνατότητα συγκρίσεων με στατιστική ισχύ.

Συνολικά, ο συγκεκριμένος σχεδιασμός εξυπηρέτησε τον βασικό σκοπό της έρευνας, δηλαδή την ενδελεχή αξιολόγηση της επίδρασης της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας στη μέγιστη ισομετρική σύσπαση του τετρακέφαλου, προσφέροντας αυξημένο

έλεγχο των παραμέτρων, υψηλή εσωτερική εγκυρότητα και αξιόπιστη ποσοτικοποίηση της μυϊκής ανταπόκρισης σε συνθήκες αποκατάστασης.



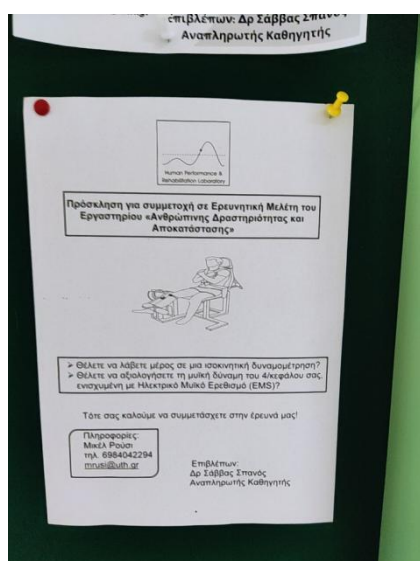
Εικόνα 3.1 - Ισομετρική Δυναμομέτρηση χωρίς ηλεκτρική διέγερση



Εικόνα 3.2 - Ισομετρική Δυναμομέτρηση με ταυτόχρονη ηλεκτρική διέγερση

3.2 Δείγμα

Το δείγμα της παρούσας μελέτης προήλθε από τον γενικό πληθυσμό της τοπικής κοινότητας και συγκεκριμένα από τη φοιτητική κοινότητα του ακαδημαϊκού ιδρύματος, μέσω στρατηγικών προσεγγίσεων εθελοντών. Η στρατολόγηση των συμμετεχόντων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ευκολίας, αξιοποιώντας τόσο φυσική παρουσία όσο και ψηφιακά μέσα. Πιο συγκεκριμένα, αναρτήθηκαν αφίσες ενημερωτικού περιεχομένου σε κοινόχρηστους πανεπιστημιακούς χώρους με στόχο την προώθηση της έρευνας και την ενίσχυση της συμμετοχής (εικόνα 1). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικές πλατφόρμες ανακοινώσεων της σχολής, προκειμένου να αυξηθεί η εμβέλεια της ενημέρωσης και να προσκληθούν υποψήφιοι εθελοντές από ευρύτερες ομάδες.



Εικόνα 3.3- Αναρτημένη αφίσα σε κοινόχρηστο πανεπιστημιακό χώρο

Οι υποψήφιοι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν αναλυτικά για τον σκοπό, τη φύση και τη διάρκεια της μελέτης, και στη συνέχεια εξετάστηκαν ως προς την καταλληλότητά τους βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων ένταξης και αποκλεισμού. Τα κριτήρια ένταξης περιελάμβαναν: υγιή άτομα νεαρής ηλικίας, χωρίς καταγεγραμμένο ιατρικό ιστορικό, με φυσιολογικό δείκτη μάζας σώματος (BMI), χωρίς πρόσφατο ιστορικό μυοσκελετικού τραυματισμού, και με ικανότητα να κατανοήσουν και να ακολουθήσουν τις οδηγίες της διαδικασίας. Έμφαση δόθηκε στην εξασφάλιση της ομοιογένειας του δείγματος, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι παράγοντες και να διατηρηθεί η εγκυρότητα των μετρήσεων.

Αντιστοίχως, τα κριτήρια αποκλεισμού τέθηκαν με σκοπό να αποτραπεί η συμμετοχή ατόμων που θα μπορούσαν να διατρέχουν κίνδυνο ή να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα της έρευνας. Τα κριτήρια αποκλεισμού περιλάμβαναν: οποιαδήποτε γνωστή νευρολογική, μυοσκελετική ή καρδιοαναπνευστική παθολογία που θα μπορούσε να επηρεάσει την ικανότητα για μέγιστη εθελούσια μυϊκή συστολή ή να καταστήσει την ηλεκτροθεραπεία μη ασφαλή, ιστορικό υπερευαισθησίας σε μορφές ηλεκτρικής διέγερσης ή παρουσία μεταλλικών εμφυτευμάτων στην υπό μελέτη περιοχή. Επιπλέον, αποκλείστηκαν άτομα που λάμβαναν φαρμακευτική αγωγή, ιδίως σκευάσματα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη νευρομυϊκή λειτουργία, όπως μυοχαλαρωτικά, αντιεπιληπτικά ή αντιφλεγμονώδη.

Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης της καταλληλότητας των συμμετεχόντων, διεξήχθη λεπτομερές ιστορικό υγείας και συμπληρώθηκαν ερωτηματολόγια σχετικά με το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας, την πρόσφατη προπονητική κατάσταση και την απουσία

τραυματισμών. Με αυτόν τον τρόπο, επιδιώχθηκε η δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού και ταυτόχρονα ομοιογενούς δείγματος, ικανό να αποδώσει αξιόπιστα και γενικεύσιμα ερευνητικά αποτελέσματα.

3.3 Περιγραφή Οργάνων Μέτρησης

Ως εργαλείο αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε το ισοκινητικό δυναμόμετρο Biodex System 3 Pro (Drouin et al., 2004), το οποίο αποτελεί χρυσό πρότυπο στη μέτρηση της μυϊκής απόδοσης, τόσο στην κλινική πράξη όσο και στην ερευνητική δραστηριότητα. Η μεταβλητή που διερευνήθηκε ήταν η μέγιστη ροπή (peak torque) του τετρακέφαλου μυός, δηλαδή έμμεσα η μέγιστη δύναμη που μπορεί να ασκηθεί κατά τη διάρκεια ισομετρικής συστολής. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεταβλητής βασίστηκε στο γεγονός ότι η μέγιστη ροπή αποτελεί έναν αντικειμενικό και άμεσα συγκρίσιμο δείκτη της μυϊκής δύναμης και χρησιμοποιείται εκτενώς στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αποκατάστασης.

Το Biodex System 3 Pro παρέχει δυνατότητα ρύθμισης πολλαπλών παραμέτρων, όπως η γωνία άρθρωσης και η σταθεροποίηση του σώματος του συμμετέχοντος, επιτρέποντας μετρήσεις με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας, ακρίβειας και επαναληψιμότητας. Επιπλέον, η δυνατότητα του συστήματος να καταγράφει σε πραγματικό χρόνο τις παραγόμενες τιμές ροπής προσφέρει πολύτιμη πληροφόρηση για την πορεία της μυϊκής απόδοσης σε διάφορες χρονικές στιγμές της παρέμβασης.

Η χρήση ισοκινητικού δυναμομέτρου (όπως το Biodex System 3 Pro) για την αξιολόγηση της ισομετρικής δύναμης του τετρακέφαλου σε υγιή άτομα αντί για δυναμόμετρο χειρός δικαιολογείται πλήρως από τα επιστημονικά δεδομένα. Προσφέρει ανώτερη ακρίβεια και εγκυρότητα μέτρησης, εξαιρετική επαναληψιμότητα, καθώς και μεγαλύτερη ευαισθησία σε πραγματικές αλλαγές της μυϊκής απόδοσης. Επιπλέον, μέσω της σταθεροποίησης του εξεταζόμενου μέλους και της τυποποίησης της γωνίας/θέσης, διασφαλίζει ότι κάθε δοκιμασία είναι αξιόπιστη και συγκρίσιμη. Ιδιαίτερα για μεγάλους μυς όπως ο τετρακέφαλος, το ισοκινητικό δυναμόμετρο υπερνικά τους περιορισμούς του δυναμόμετρου χειρός, το οποίο μπορεί να υποεκτιμήσει τη δύναμη λόγω ορίων του εξεταστή. Παρά το υψηλότερο κόστος και την ανάγκη για εξειδικευμένο εξοπλισμό, τα πλεονεκτήματα αυτά καθιστούν το ισοκινητικό δυναμόμετρο πολύτιμο εργαλείο όταν απαιτείται ακριβής και αξιόπιστη αξιολόγηση της μυϊκής δύναμης. Οι μελέτες συμφωνούν

ότι αποτελεί την κατάλληλη επιλογή ως μέθοδος αναφοράς στη μυϊκή αξιολόγηση ισχύος του τετρακέφαλου(Sahu, Goodstadt, Ramakrishnan, & Silfies, 2024).



Εικόνα 3.4- Αναπαράσταση της μυϊκής ροπής όπως καταγράφηκε από το ισοκινητικό δυναμόμετρο Biodex System 3

Για την εφαρμογή της ηλεκτρικής διέγερσης, χρησιμοποιήθηκε η εξειδικευμένη συσκευή Enraf Nonius Myomed 932, διαθέσιμη στο Εργαστήριο Κλινικής Ηλεκτροθεραπείας. Η συγκεκριμένη συσκευή επιτρέπει την παροχή ποικίλων μορφών ηλεκτρικών ρευμάτων, με δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης των παραμέτρων διέγερσης (συχνότητα, πλάτος παλμού, ένταση, διάρκεια συνεδρίας), προσφέροντας εξατομικευμένες παρεμβάσεις προσαρμοσμένες στις ανάγκες του κάθε συμμετέχοντα. Η επιλογή της συσκευής αυτής έγινε με κριτήριο την κλινική αξιοπιστία της, την πιστοποιημένη ασφάλεια στη χρήση της και τη συμβατότητά της με πρωτόκολλα μυϊκής ενδυνάμωσης μέσω ηλεκτροδιέγερσης.

Η συνδυαστική χρήση του ισοκινητικού δυναμόμετρου Biodex και της συσκευής ηλεκτροδιέγερσης Enraf Nonius Myomed 932 επέτρεψε την αξιόπιστη ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων και την ακριβή αποτίμηση της συμβολής της ηλεκτρικής διέγερσης στην παραγωγή ισομετρικής δύναμης.



Εικόνα 3.5- Συσκευή Ηλεκτροθεραπείας Enraf Nonius Myomed 932 η οποία χρησιμοποιήθηκε

3.4 Διαδικασία Συλλογής Δεδομένων

Όλες οι μετρήσεις διεξήχθησαν κατά τις πρωινές ώρες της ημέρας, προκειμένου να διασφαλιστεί η ομοιογένεια των συνθηκών αξιολόγησης (Wyse et al., 1994). Αρχικά στους δοκιμαζόμενους χορηγήθηκε το Short International Physical Activity Questionnaire (SIPAQ) (Parathanasiou et al., 2009) το οποίο και συμπλήρωσαν. Η χρήση του εργαλείου κρίθηκε απαραίτητη ώστε να εξασφαλιστεί η ομοιογένεια του δείγματος και να αποκλειστούν πιθανές διαφοροποιήσεις στη μυϊκή δύναμη που θα μπορούσαν να αποδοθούν σε διαφορετικά επίπεδα σωματικής άσκησης. Το SIPAQ αποτελεί διεθνώς αναγνωρισμένο και αξιόπιστο μέσο καταγραφής φυσικής δραστηριότητας, το οποίο έχει επικυρωθεί σε πολλαπλά πληθυσμιακά δείγματα (Craig et al., 2003). Η καταγραφή αυτή επέτρεψε τόσο την τεκμηρίωση του προφίλ του δείγματος όσο και τον έλεγχο πιθανών συγχυτικών παραγόντων που σχετίζονται με τη μυϊκή απόδοση. Ο δοκιμαζόμενος έπειτα αξιολογήθηκε πριν από την διεξαγωγή του πειράματος για τυχόν νοσηρότητες οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν την έρευνα σύμφωνα με τα κριτήρια ένταξης/αποκλεισμού

καθώς και καταγράφηκαν τα ανθρωπομετρικά τους χαρακτηριστικά (φύλο, ύψος, βάρος, ηλικία, κυρίαρχο άκρο). Το κυρίαρχο κάτω άκρο καθορίστηκε ρωτώντας τους δοκιμαζόμενους την ερώτηση “με ποιο πόδι θα κλοτσούσατε μια μπάλα?”. Οι δοκιμαζόμενοι έπειτα πραγματοποιούσαν ένα πεντάλεπτο “ζέσταμα” εκτελώντας καθίσματα (squats) με το βάρος του σώματος και εκτάσεις γόνατος από καθιστή θέση χωρίς εξωτερική αντίσταση, με στόχο την ήπια ενεργοποίηση του τετρακέφαλου και τη σταδιακή αύξηση της τοπικής αιματικής ροής. Το πρωτόκολλο προθέρμανσης σχεδιάστηκε ώστε να εξασφαλίσει την ελαχιστοποίηση του κινδύνου τραυματισμού και την αποτροπή αιφνιδίου καταπονισμού κατά την κύρια φάση των δοκιμασιών. Επιπλέον, η ήπια άσκηση πριν τη μέτρηση συνέβαλε στη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του μυϊκού ιστού και στη μείωση της ενδομυϊκής αντίστασης, δημιουργώντας ευνοϊκές φυσιολογικές συνθήκες για την καταγραφή της μέγιστης ροπής. Αμέσως μετά την ολοκλήρωση του ζεστάματος, δόθηκαν στους συμμετέχοντες σαφείς οδηγίες ως προς τη διαδικασία των μετρήσεων, συμπεριλαμβανομένης της σωστής τοποθέτησης στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και της αναμενόμενης μέγιστης προσπάθειας κατά τις συστολές. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές προσπάθειες για εξοικείωση με τον εξοπλισμό και τη διαδικασία, εξασφαλίζοντας έτσι την ελαχιστοποίηση του φαινομένου μάθησης και τη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια οι δοκιμαζόμενοι καθόντουσαν στο ισοκινητικό δυναμόμετρο Biodex System 3 Pro με το κορμό καλά σταθεροποιημένο και το ισχίο σε 110 μοίρες. Το γόνατό τοποθετούνταν στις 60 μοίρες (Scott et al., 2021) και εκτελούσαν δυο δοκιμαστικές υπομέγιστες συσπάσεις έτσι ώστε να εξοικειωθούν με τη διαδικασία.

Η γωνία των 60° κάμψης του γόνατος επιλέγεται συχνά για τη μέτρηση της μέγιστης ισομετρικής ροπής (peak torque) του τετρακέφαλου λόγω εμπειρικών ευρημάτων που δείχνουν ότι είναι η πιο αξιόπιστη και αποτελεσματική θέση για σταθερή ενεργοποίηση του μυός (Scott et al., 2021). Επίσης στις 60° κάμψης του γόνατος, ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος (ΠΧΣ) βρίσκεται σε μία ανατομικά ευνοϊκή θέση, όπου η τάση που δέχεται από τον τετρακέφαλο είναι λιγότερη σε σύγκριση με πιο εκτεταμένες θέσεις (π.χ. 30° ή 0°), και άρα θεωρείται ασφαλής γωνία για αξιολόγηση και προπόνηση — ειδικά κατά τη μετεγχειρητική αποκατάσταση μετά από ρήξη ή ανακατασκευή του. Έρευνες με *in vivo* καταγραφές έδειξαν ότι η μέγιστη φόρτιση του ΠΧΣ συμβαίνει κοντά στις 15°–30°, ενώ μειώνεται σημαντικά στις 60°–90° (Markolf et al., 1995) (Beynnon et al., 1997).

Στη μία φάση μετά από λεκτική εντολή και παρότρυνση πραγματοποιούσαν μέγιστη εκούσια συστολή για 6 δευτερόλεπτα. Ακολουθούσε ένα διάλειμμα 60 δευτερολέπτων και

επαναλαμβανόταν αυτή η διαδικασία μέχρι να υπάρξουν συνολικά τρεις μετρήσεις μέγιστης ροπής τετρακεφάλου οι οποίες και καταγραφόντουσαν .

Στην άλλη φάση εφαρμοζόντουσαν στο τετρακέφαλο των δοκιμαζομένων δύο πλατιά ηλεκτρόδια συνδεδεμένα σε μηχανήμα ηλεκτροθεραπείας Enraf Nonius Myomed 932 το οποίο έχει τη δυνατότητα εφαρμογής ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας. Τα πλατιά ηλεκτρόδια εφαρμοζόντουσαν κάθετα στο τετρακέφαλο έτσι ώστε να κάλυπταν και τον έσω αλλά και έξω τον πλατύ μυ. Υπήρχε μια περίοδος τριάντα δευτερολέπτων όπου οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώνονταν με το μηχανήμα και την ένταση της ηλεκτρικής διέγερσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου γινόντουσαν δοκιμές ως προς τη μέγιστη ένταση η οποία ήταν ανεκτή από τους δοκιμαζομένους καθώς και ποια ένταση παρήγαγε την εντονότερη σύσπαση. Η ανοχή στην ηλεκτρική αίσθηση αξιολογούνταν χρησιμοποιώντας ένα έντυπο το οποίο παρουσιάζοταν μπροστά στους δοκιμαζομένους και αυτοί διάλεγαν το νούμερο το οποίο αντιπροσώπευε το βαθμό δυσαρέσκειας στην ηλεκτρική αίσθηση (εικόνα 2).

77

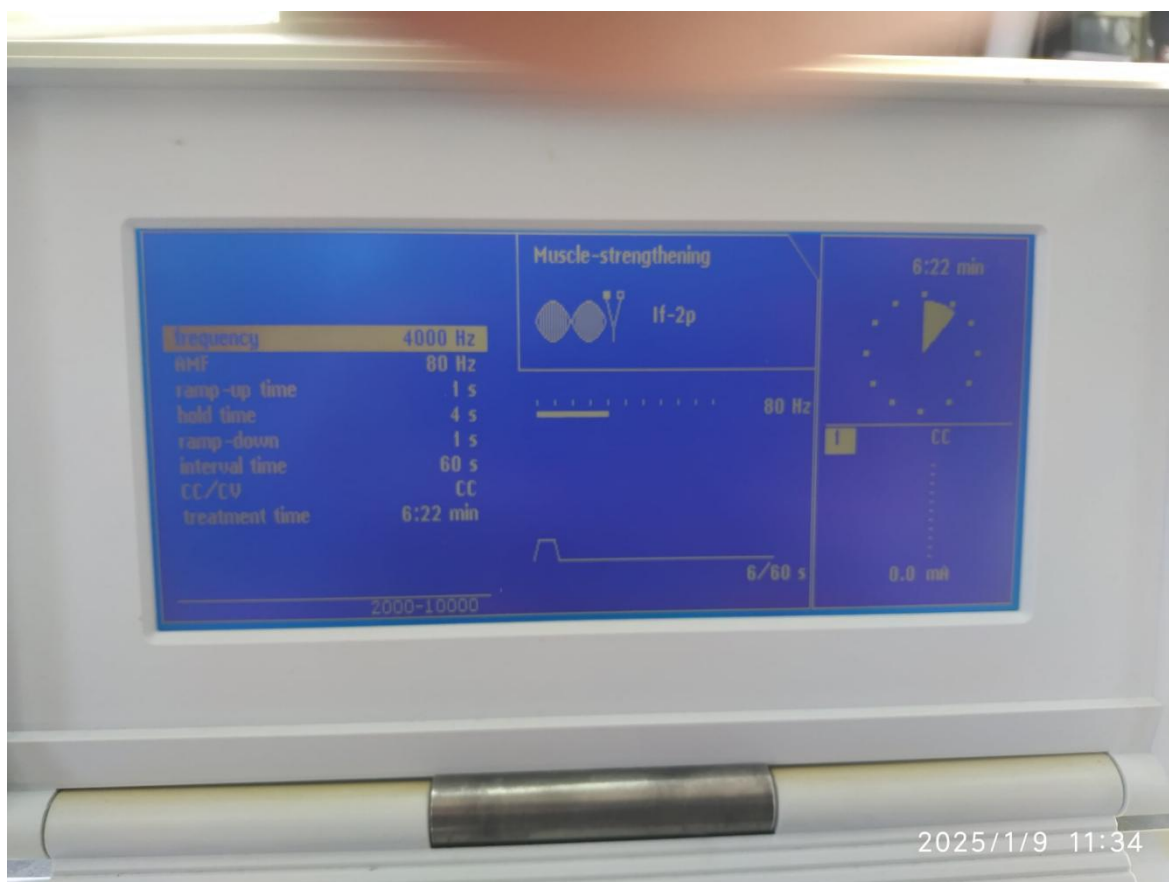
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

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

Εικόνα 3.6 - Έντυπο αξιολόγησης της ανοχής στο ρεύμα

Για τη διαδικασία ηλεκτρικής διέγερσης εφαρμόστηκε ένα πρότυπο πρωτόκολλο ρευμάτων συμβολής, όπως φαίνεται και στην (εικόνα 3), με χρήση διπολικής εφαρμογής μέσω της συσκευής Enraf Nonius Myomed 932. Οι βασικές παράμετροι του πρωτοκόλλου περιλάμβαναν εναλλασσόμενη φορέα συχνότητα (carrier frequency) στα 4000 Hz, η οποία

είναι τυπική για εφαρμογές ρευμάτων συμβολής, και διαμορφωμένο πλάτος συχνότητας (Amplitude Modulated Frequency – AMF) ρυθμισμένο στα 80 Hz. Η επιλογή αυτών των τιμών έγινε βάσει της βιβλιογραφικά υποστηριζόμενης καταλληλότητας της συγκεκριμένης συχνότητας για μυϊκή ενδυνάμωση. Η διάρκεια κάθε κύκλου διέγερσης ήταν 6 δευτερόλεπτα, από τα οποία τα πρώτα και τα τελευταία ένα δευτερόλεπτο αντιστοιχούσαν σε φάσεις σταδιακής αύξησης (ramp-up) και σταδιακής μείωσης (ramp-down) της έντασης αντιστοίχως. Αυτές οι μεταβατικές φάσεις ρυθμίστηκαν για να αποτραπούν οι απότομες μεταβολές στο ερέθισμα, που ενδέχεται να προκαλέσουν αιφνίδιο μυϊκό σπασμό ή αίσθημα δυσφορίας στους συμμετέχοντες. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται σημαντική για την αποδοχή της διαδικασίας από τους συμμετέχοντες, καθώς η σταδιακή έναρξη και λήξη της διέγερσης μειώνει την πιθανότητα απότομου ανατακλαστικού ‘τσαντάγματος’ και προσφέρει ένα αίσθημα ελέγχου επί του ερεθίσματος.



Εικόνα 3.7- Πρωτόκολλο της ηλεκτροθεραπείας που ακολουθήθηκε

Ο δοκιμαζόμενος εκτελούσε όπως και πριν τρεις μέγιστες εκούσιες συστολές τετρακέφαλου μετά από λεκτική εντολή και παρότρυνσή (διάρκειας 6 δευτερολέπτων και με 60 δευτερόλεπτα διάλειμμα) ενώ παράλληλα χορηγούνταν ηλεκτρική διέγερση. Οι μέγιστες τιμές ροπής καταγράφηκαν και, για την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η καλύτερη επίδοση από τις τρεις προσπάθειες. Σε κάθε ημέρα μετρήσεων η αρχική συνθήκη του πρώτου συμμετέχοντα οριζόταν τυχαία, ενώ οι υπόλοιπες συνθήκες ακολουθούσαν μια προκαθορισμένη σειρά εναλλαγής, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη μεθοδολογική ακρίβεια.

3.5 Ηθικοί Παράμετροι

Η προτεινόμενη έρευνα πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις θεμελιώδεις αρχές της ερευνητικής ηθικής και δεοντολογίας, με στόχο τη διασφάλιση της ασφάλειας, της αξιοπρέπειας και των δικαιωμάτων των συμμετεχόντων. Πριν από την έναρξη της μελέτης, το ερευνητικό πρωτόκολλο εγκρίθηκε από την αρμόδια Επιτροπή Ηθικής και Δεοντολογίας του τμήματος Φυσικοθεραπείας, η οποία αξιολόγησε τόσο την επιστημονική εγκυρότητα του σχεδιασμού όσο και τη συμμόρφωση με τα ηθικά πρότυπα που διέπουν την έρευνα σε ανθρώπινους πληθυσμούς. Όλοι οι εθελοντές ενημερώθηκαν επαρκώς και με κατανοητό τρόπο για τον σκοπό της έρευνας, τη μεθοδολογία, τις ενδεχόμενες παρεμβάσεις, τους δυνητικούς κινδύνους και τα αναμενόμενα οφέλη. Μετά την ενημέρωση, υπέγραψαν έντυπο συναίνεσης, επιβεβαιώνοντας ότι συμμετείχαν οικειοθελώς και ότι μπορούσαν να αποσυρθούν από τη μελέτη οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς συνέπειες ή πίεση. Η ανωνυμία των συμμετεχόντων διασφαλίστηκε μέσω της χρήσης κωδικών ταυτοποίησης χωρίς καμία δυνατότητα σύνδεσης με προσωπικά δεδομένα. Όλα τα δεδομένα συλλέχθηκαν, καταχωρήθηκαν και αναλύθηκαν με αυστηρή τήρηση του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων, ενώ η πρόσβαση στο αρχείο περιορίστηκε αποκλειστικά στα μέλη της ερευνητικής ομάδας. Δεν τηρήθηκε κανένα αρχείο που να περιλαμβάνει τα πλήρη προσωπικά στοιχεία των συμμετεχόντων, ενώ η δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων έγινε με τρόπο που δεν επιτρέπει την άμεση ή έμμεση ταυτοποίηση τους.

3.6 Στατιστική Ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού IBM SPSS Statistics, το οποίο αποτελεί ευρέως αναγνωρισμένο εργαλείο για την επεξεργασία και ερμηνεία ποσοτικών ερευνητικών δεδομένων. Αρχικά, εφαρμόστηκε ο έλεγχος κανονικότητας Shapiro-Wilk, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν οι μεταβλητές που εξετάστηκαν ακολουθούσαν κανονική κατανομή, γεγονός κρίσιμο για την επιλογή της κατάλληλης στατιστικής μεθόδου. Ο συγκεκριμένος έλεγχος προτιμήθηκε έναντι άλλων (όπως Kolmogorov-Smirnov), καθώς είναι πιο ευαίσθητος σε μικρά και μεσαία δείγματα (<50), ενισχύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου Shapiro-Wilk έδειξαν ότι οι προς ανάλυση μεταβλητές παρουσίαζαν κανονική κατανομή, γεγονός που επέτρεψε την εφαρμογή παραμετρικών μεθόδων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο στατιστικός έλεγχος Paired Samples T-Test (έλεγχος για συσχετισμένα δείγματα), ο οποίος είναι κατάλληλος όταν συγκρίνονται δύο συνεχείς μεταβλητές που προέρχονται από το ίδιο δείγμα ατόμων, πριν και μετά από μια παρέμβαση. Η χρήση του Paired T-Test ενδείκνυται ιδιαίτερα σε μελέτες όπου αξιολογείται η αποτελεσματικότητα μιας θεραπευτικής ή πειραματικής διαδικασίας, όπως στην παρούσα περίπτωση η επίδραση της ηλεκτρικής διέγερσης στην παραγωγή ισομετρικής μυϊκής τάσης.

Επιπλέον, έγινε ανάλυση των μέσων τιμών, των τυπικών αποκλίσεων και των διαφορών μεταξύ των συνθηκών μέτρησης, ενώ υπολογίστηκε το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας (p -value), με τιμή αποκοπής το 0,05. Σε περιπτώσεις όπου η τιμή του p ήταν μικρότερη από το όριο αυτό, η διαφορά θεωρήθηκε στατιστικά σημαντική, υποδηλώνοντας ότι η μεταβολή που παρατηρήθηκε δεν μπορεί να αποδοθεί σε τυχαία διακύμανση. Τέλος, τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε γραφήματα, με πλήρη αναφορά των στατιστικών δεικτών, ώστε να εξασφαλίζεται η διαφάνεια, η αναπαραγωγικότητα και η αξιοπιστία της ερμηνείας των ευρημάτων.

3.7 Χρονοδιάγραμμα μελέτης

Το χρονοδιάγραμμα της μελέτης οργανώθηκε σε διακριτές και λογικά διαδοχόμενες φάσεις, προκειμένου να διασφαλιστεί η επιστημονική εγκυρότητα της έρευνας, η

αποτελεσματική διαχείριση του χρόνου και η ομαλή εξέλιξη όλων των επιμέρους σταδίων. Η έναρξη της διαδικασίας σηματοδοτήθηκε από την κατάθεση της αίτησης στην Επιτροπή Δεοντολογίας του Ιδρύματος τον Ιούλιο του 2024. Η έγκριση της επιτροπής αποτέλεσε απαραίτητη προϋπόθεση για την έναρξη της ερευνητικής δραστηριότητας, διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση της μελέτης με τα προβλεπόμενα ηθικά πρότυπα και τη διαφύλαξη των δικαιωμάτων και της ασφάλειας των συμμετεχόντων. Ακολούθησε η φάση των πιλοτικών μετρήσεων τον Οκτώβριο του 2024. Στο πλαίσιο αυτής της φάσης πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικές δοκιμές σε περιορισμένο αριθμό συμμετεχόντων, με στόχο τον έλεγχο της αξιοπιστίας του εξοπλισμού, την επαλήθευση της ακρίβειας του πρωτοκόλλου παρέμβασης και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας λήψης μετρήσεων. Οι παρατηρήσεις από τις πιλοτικές μετρήσεις συνέβαλαν καθοριστικά στην ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και την αναβάθμιση της ποιότητας των τελικών δεδομένων. Η κύρια φάση συλλογής δεδομένων διεξήχθη μεταξύ Νοεμβρίου 2024 και Ιανουαρίου 2025. Κατά το διάστημα αυτό, οι εθελοντές συμμετείχαν στις προγραμματισμένες μετρήσεις σύμφωνα με το προκαθορισμένο πρωτόκολλο, τηρώντας αυστηρά τα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού. Η διαδικασία περιλάμβανε τη λήψη ισομετρικών μετρήσεων ροπής του τετρακέφαλου μυός, τόσο υπό συνθήκες εθελούσιας σύσπασης όσο και με την υποβοήθηση ρευμάτων συμβολής. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στη διάρκεια των μηνών Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου του 2025, με χρήση του στατιστικού πακέτου IBM SPSS Statistics. Στη φάση αυτή εφαρμόστηκαν οι κατάλληλες στατιστικές δοκιμές βάσει της φύσης των μεταβλητών και της κατανομής τους, με στόχο την εξαγωγή ασφαλών και έγκυρων συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση της ηλεκτρικής διέγερσης στη μυϊκή ροπή. Ακολούθως, η συγγραφή της διπλωματικής διατριβής ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2025 και διήρκεσε έως τον Αύγουστο του ίδιου έτους. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης συντάχθηκαν όλα τα κεφάλαια της εργασίας, συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής, της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, της περιγραφής της μεθοδολογίας, της παρουσίασης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων, της συζήτησης και των τελικών συμπερασμάτων. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην τεκμηρίωση των ευρημάτων βάσει της σύγχρονης επιστημονικής βιβλιογραφίας και στην ενσωμάτωση προτάσεων για μελλοντική έρευνα. Η παράδοση της ολοκληρωμένης διατριβής προς την επιτροπή αξιολόγησης πραγματοποιήθηκε εντός του Αυγούστου 2025, σηματοδοτώντας την επίσημη ολοκλήρωση της ερευνητικής και συγγραφικής διαδικασίας.

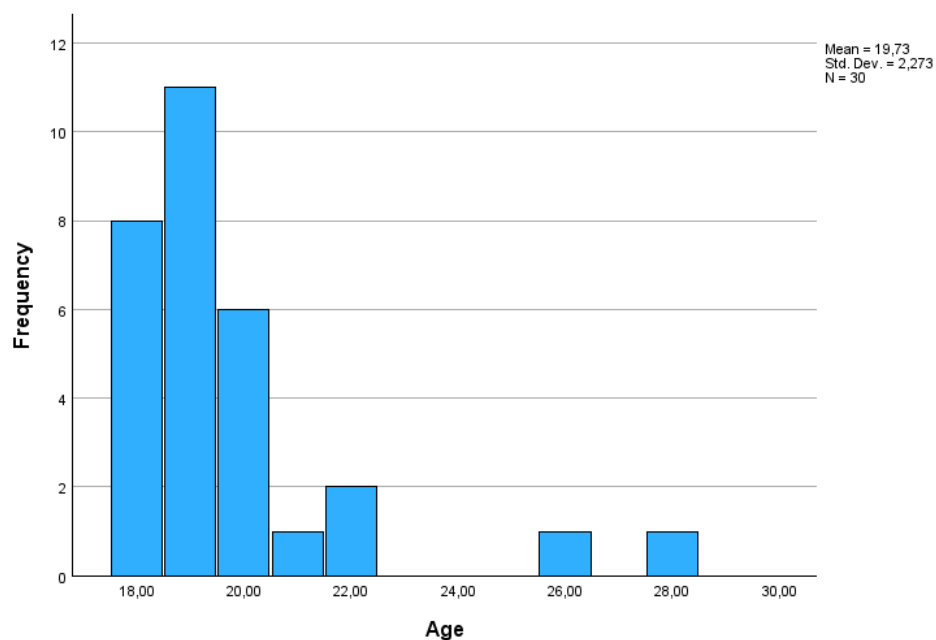
Κεφάλαιο 4 -Αποτελέσματα

Στην έρευνα συμμετείχαν 30 δοκιμαζόμενοι, επιλεγμένοι με κριτήρια που εξασφάλιζαν τη συμπερίληψη υγιών νεαρών ατόμων χωρίς προϋπάρχοντα νευρομυϊκά ή άλλου τύπου προβλήματα που θα επηρέαζαν την έρευνα. Η επιλογή αυτή εξασφάλισε ότι τα αποτελέσματα της μελέτης θα αντικατοπτρίζουν τις επιδράσεις της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας σε έναν πληθυσμό χωρίς επιπλοκές, δίνοντας έτσι μεγαλύτερη εγκυρότητα στα ευρήματα. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν στις ηλικίες 18 έως 28 ετών με μέσο όρο 19,73 έτη (γράφημα 4.1). Η κατανομή του βάρους φαίνεται στο γράφημα 4.5 με το μέσο δοκιμαζόμενο να ζυγίζει 74,1 κιλά. Όσον αφορά το ύψος σύμφωνα με το γράφημα 4.6 οι δοκιμαζόμενοι είχαν ύψος κατά μέσο όρο στα 1,75 μέτρα. Στους δοκιμαζόμενους εφαρμόστηκε ηλεκτρική διέγερση της οποίας η ένταση κατά μέσο όρο ήταν στα 50,74 mA (γράφημα 4.2). Σε κάθε συμμετέχοντα εφαρμόστηκε μια εξατομικευμένη ένταση ηλεκτρικής διέγερσης, η οποία διαμορφώθηκε ανάλογα με την ανοχή του κάθε ατόμου.

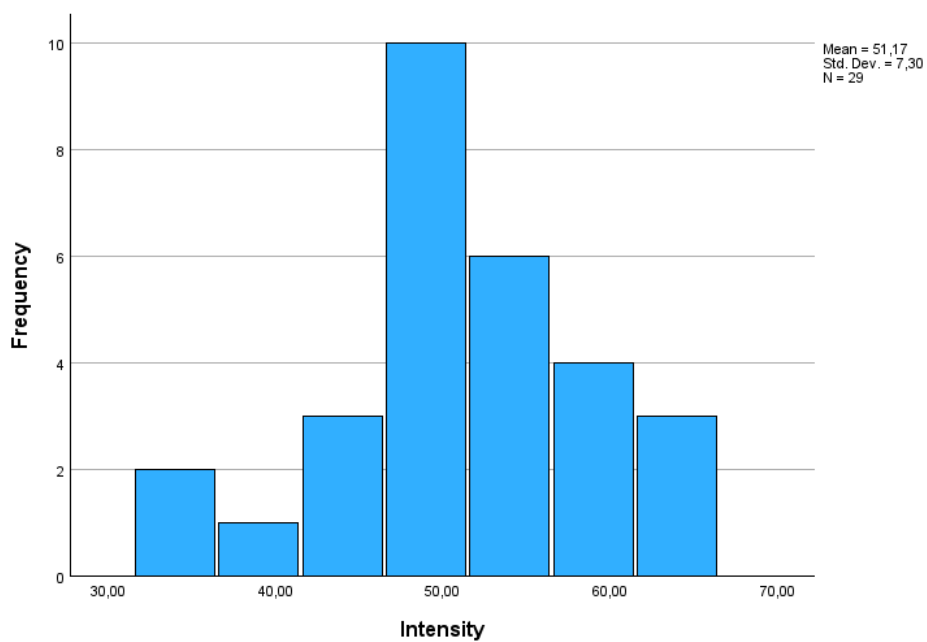
Κατά μέσο όρο, οι εθελοντές ανέφεραν δυσφορία της τάξεως 3,71 στην κλίμακα BORG (γράφημα 4.3), γεγονός που υποδηλώνει ότι τα ρεύματα συμβολής είναι περισσότερο υποφερτά σε σύγκριση με άλλες μορφές ηλεκτρικής διέγερσης, όπως τα ρωσικά ρεύματα. Αυτό το εύρημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς δείχνει ότι η χρήση διασταυρούμενων ρευμάτων μπορεί να προσφέρει μια πιο ανεκτή εμπειρία στους ασθενείς ή τους ασκούμενους, χωρίς να θυσιάζεται η αποτελεσματικότητα της διέγερσης. Η μειωμένη δυσφορία συμβάλλει στη βελτίωση της συμμόρφωσης των συμμετεχόντων και ενδεχομένως επιτρέπει την παρατεταμένη εφαρμογή της θεραπείας, κάτι που είναι κρίσιμο για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων στην αποκατάσταση και την ενδυνάμωση των μυών.

Όσον αφορά το ερωτηματολόγιο IPAQ το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει τη φυσική κατάσταση των ατόμων, το 53,65% είχε μέτρια φυσική κατάσταση, το 42,9% υψηλή ενώ χαμηλή είχε το 3,6% (γράφημα 4.4). Αυτά τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι η πλειονότητα των ατόμων που συμμετείχαν στη μελέτη διαθέτει ικανούς βαθμούς φυσικής δραστηριότητας, με σημαντικό ποσοστό να χαρακτηρίζεται ως ενεργό. Η συγκέντρωση της πλειονότητας του δείγματος σε κατηγορίες μέτριας και υψηλής φυσικής κατάστασης εξασφαλίζει επίσης ότι οι μετρήσεις της μέγιστης ισομετρικής σύσπασης δεν επηρεάζονται αρνητικά από αδυναμία ή έλλειψη δραστηριότητας. Η εγκυρότητα της έρευνας ενισχύεται επιπρόσθετα από το γεγονός ότι το 93,3% των συμμετεχόντων είχε το δεξί πόδι ως

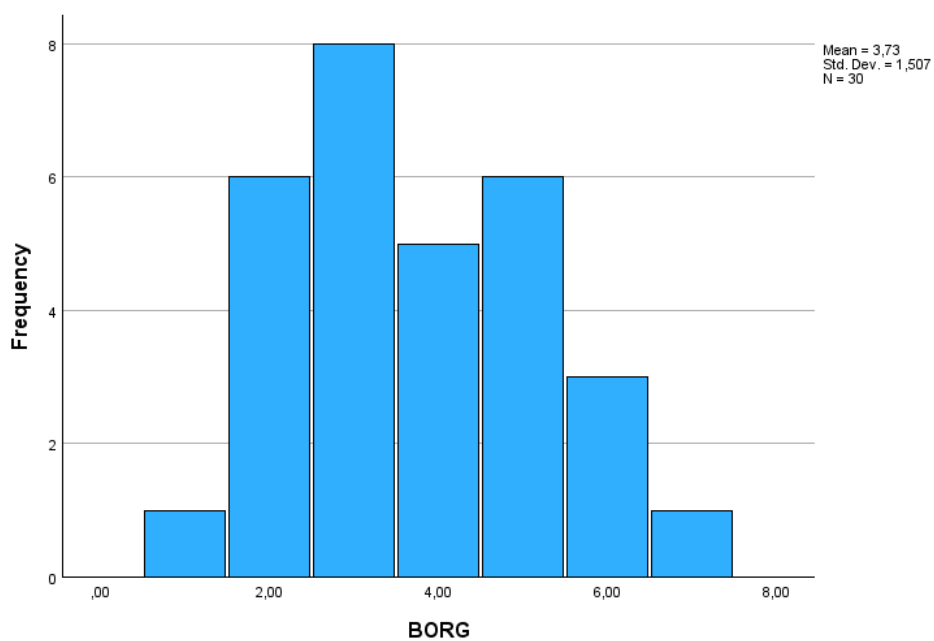
κυρίαρχο (γράφημα 4.7). Αυτό το χαρακτηριστικό δημιουργεί μια ομοιογένεια στο δείγμα όσον αφορά την κυριαρχία του ποδιού, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει θετικά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Την ομοιογένεια του δείγματος επίσης ενισχύει το γεγονός ότι η αναλογία ανδρών-γυναικών ήταν 53,3% και 46,7% αντίστοιχα (γράφημα 4.8).



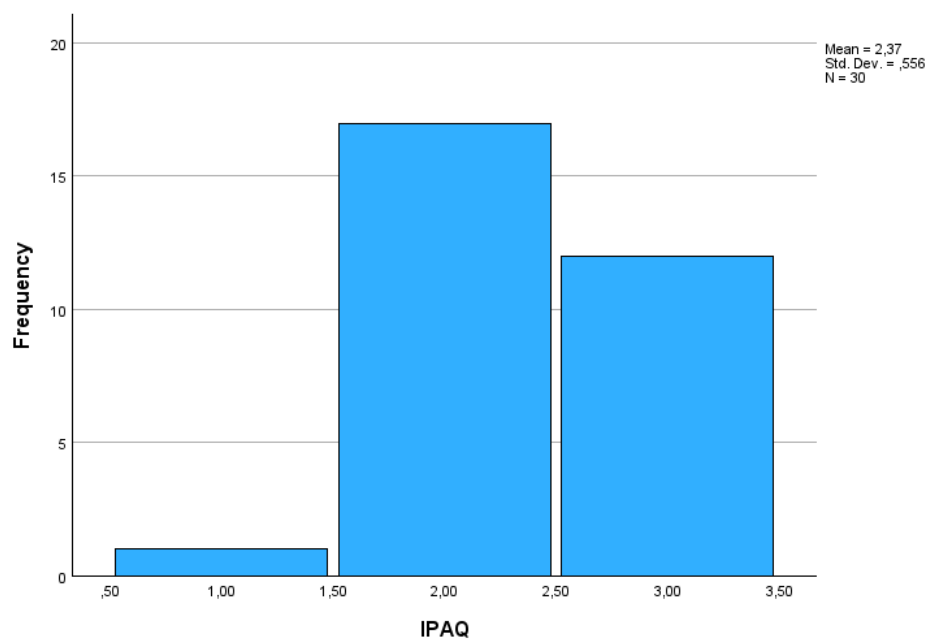
Γράφημα 4.1- Ηλικιακή κατανομή των δοκιμαζομένων



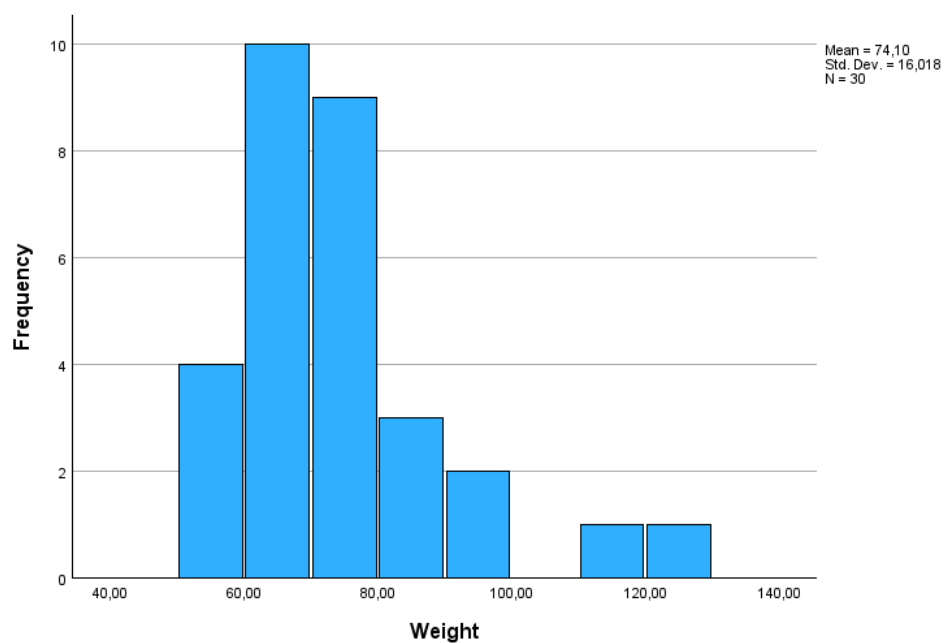
Γράφημα 4.2- Αναπαράσταση της έντασης της ηλεκτρικής διέγερσης



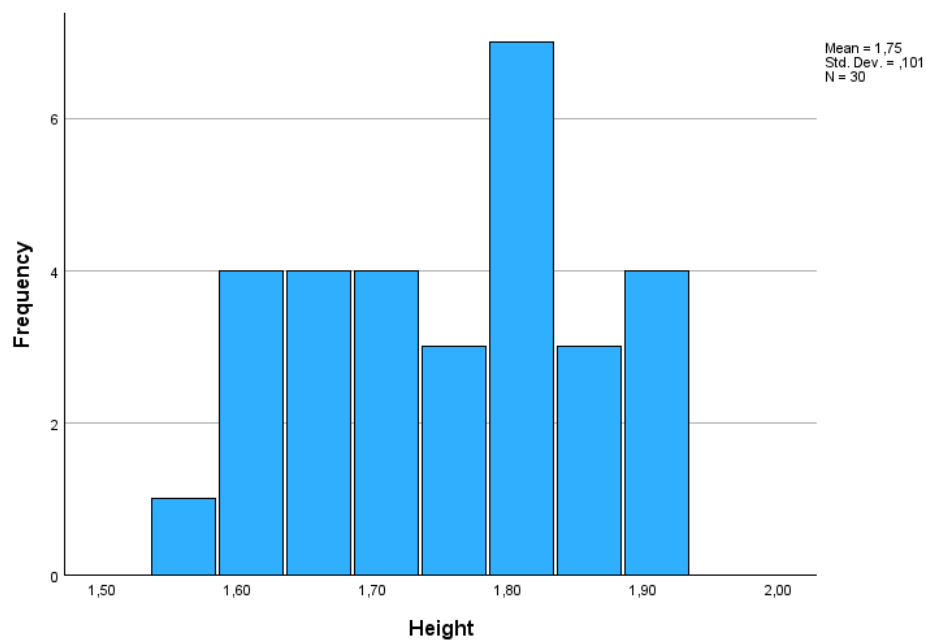
Γράφημα 4.3- Αναπαράσταση των τιμών στη κλίμακα BORG



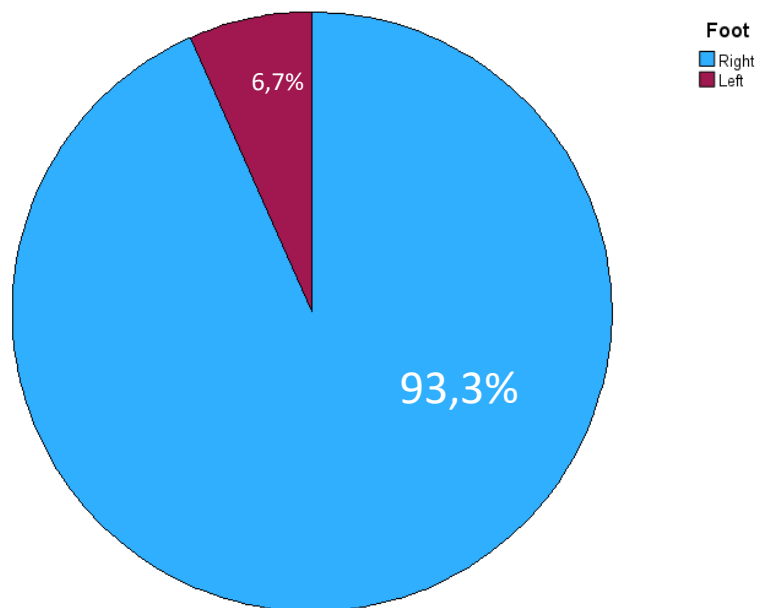
Γράφημα 4.4- Αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του *International Physical Activity Questionnaire*



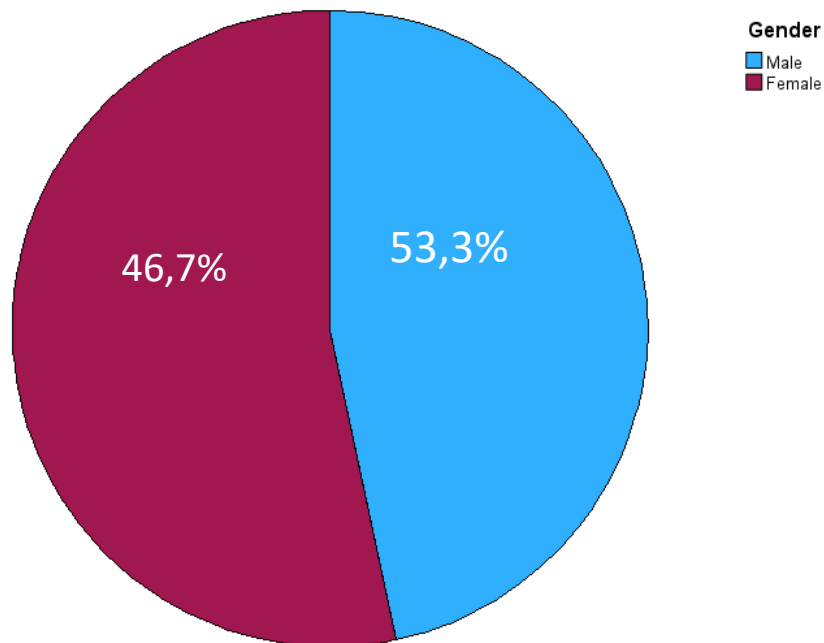
Γράφημα 4.5 - Αναπαράσταση της κατανομής του βάρους των δοκιμαζομένων



Γράφημα 4.6- Αναπαράσταση της κατανομής του ύψους των δοκιμαζομένων



Γράφημα 4.7- Αναπαράσταση της κατανομής του κυρίαρχου κάτω άκρου των δοκιμαζομένων



Γράφημα 4.8- Κατανομή φύλου των εθελοντών

Σύμφωνα με το πίνακα 4.1, το δείγμα είναι παραμετρικό. Καθώς το δείγμα είναι σχετικά μικρό (<50) θα κρατήσουμε τις τιμές του Shapiro-Wilk test στο σχήμα. Αυτό υποδηλώνει ότι τα δεδομένα ακολουθούν τις βασικές παραδοχές της κανονικότητας και της ομοιογένειας διακυμάνσεων, επιτρέποντας τη χρήση παραμετρικών στατιστικών μεθόδων για την ανάλυση.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
MAX	,169	30	,029	,934	30	,064
MAXEMS	,138	30	,147	,965	30	,402

a. Lilliefors Significance Correction

Πίνακας 4.1 - Έλεγχος κανονικότητας δείγματος

Σύμφωνα με το πίνακα 4.2, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των υπό μελέτη δοκιμασιών. Η διαφορά αυτή υποδηλώνει ότι οι παρατηρούμενες μεταβολές δεν οφείλονται σε τυχαία διακύμανση, αλλά είναι αποτέλεσμα συγκεκριμένων παραγόντων που εξετάστηκαν στη μελέτη. Η στατιστική σημαντικότητα επιβεβαιώνεται από την τιμή p , η οποία είναι μικρότερη από το προκαθορισμένο επίπεδο σημαντικότητας ($p < 0.05$). Αυτό οδηγεί στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης (H_0), υποδεικνύοντας ότι υπάρχει ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στις ομάδες. Συνεπώς, τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν την υπόθεση ότι η ηλεκτρική διέγερση υψηλής συχνότητας που εξετάστηκε έχει πραγματική επίδραση. Ο πίνακας 4.3 παρουσιάζει με σαφήνεια τη διαφορά που προκύπτει στην παραγόμενη ροπή με την εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η χρήση της μεθόδου οδήγησε σε μέση αύξηση της μέγιστης παραγόμενης ροπής κατά περίπου 4,55%, ποσοστό που, είναι κλινικά σημαντικό. Χωρίς την εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης, οι μέγιστες τιμές ροπής των συμμετεχόντων κυμάνθηκαν σε εύρος από 135,4Nm έως 400,6 Nm, με μέσο όρο 228,8133 Nm. Αντίθετα, όταν εφαρμόστηκε ηλεκτρική διέγερση, οι αντίστοιχες τιμές κυμάνθηκαν από 118Nm έως 413,4 Nm, με μέσο όρο 239,23 Nm.

Paired Samples Test									
		Paired Differences						Significance	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	
					Lower	Upper			
Pair 1	MAX - MAXEMS	-10,41667	16,51344	3,01493	-16,58289	-4,25045	-3,455	29	<,001
									,002

Πίνακας 4.2- Paired Samples T Test

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	MAX	228,8133	30	70,87486	12,93992
	MAXEMS	239,2300	30	72,89943	13,30955

Πίνακας 4.3 - Στατιστική ανάλυση δείγματος

Κεφάλαιο 5- Συζήτηση

Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι επιτυγχάνεται σημαντική ενίσχυση της παραγόμενης ροπής, ενώ η αντίληψη δυσφορίας των συμμετεχόντων στην κλίμακα BORG, επιβεβαιώνει ότι τα ρεύματα συμβολής παρουσιάζουν υψηλή ανεκτικότητα ακόμα και σε υψηλές εντάσεις σε σύγκριση με άλλες μεθόδους διέγερσης, όπως τα ρωσικά ρεύματα (Vaz et al., 2012). Αυτό το ευνοϊκό προφίλ ανεκτικότητας είναι ιδιαίτερα υποσχόμενο για την ενσωμάτωση της ηλεκτρικής διέγερσης σε προγράμματα αποκατάστασης, καθώς μειώνει τον κίνδυνο αποχής ή δυσφορίας που θα μπορούσαν να προκύψουν από άλλες, πιο «ενοχλητικές» μεθόδους. Παράλληλα, η αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης με το ερωτηματολόγιο IPAQ αποκάλυψε ότι το 53,65% των συμμετεχόντων διαθέτει μέτρια φυσική κατάσταση, το 42,9% υψηλή, και μόλις το 3,6% χαρακτηρίζεται ως χαμηλή, γεγονός που διασφαλίζει την ομοιογένεια του δείγματος και ενισχύει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Η ομοιογένεια αυτή επιτρέπει την αξιόπιστη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των συμμετεχόντων, εξαλείφοντας πιθανές παραμορφώσεις που θα μπορούσαν να προκύψουν από διαφορές στη γενική φυσική κατάσταση. Συγκεκριμένα, διασφαλίζεται ότι οι παρατηρούμενες επιδράσεις στην μυϊκή δύναμη και στην ανταπόκριση στην ηλεκτρική διέγερση δεν επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από εξωτερικές μεταβλητές, όπως οι διαφορές στην καθημερινή δραστηριότητα ή στις ατομικές προπονητικές συνήθειες. Αυτή η ομοιογένεια του δείγματος ενισχύει επίσης τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων που μπορούν να γενικευθούν σε παρόμοιους πληθυσμούς, καθιστώντας τα ευρήματα πιο αξιόπιστα για εφαρμογή σε κλινικά και προγράμματα αποκατάστασης. Επιπρόσθετα, ο περιορισμένος αριθμός συμμετεχόντων με χαμηλή φυσική κατάσταση επιτρέπει τη συγκέντρωση δεδομένων που αντανακλούν κυρίως τις επιδράσεις της ηλεκτρικής διέγερσης σε άτομα που ήδη παρουσιάζουν ένα λειτουργικά επαρκές επίπεδο φυσικής δραστηριότητας. Τέλος, η λεπτομερής αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης μέσω του IPAQ προσφέρει ένα πρόσθετο επίπεδο ελέγχου και ερμηνείας των αποτελεσμάτων, επιτρέποντας την ταυτοποίηση πιθανών συσχετίσεων μεταξύ του επιπέδου φυσικής δραστηριότητας και της απόκρισης στην εφαρμογή της ηλεκτρικής διέγερσης. Αυτό όχι μόνο συμβάλλει στη διευκρίνιση των μηχανισμών δράσης της διέγερσης, αλλά παρέχει και χρήσιμες πληροφορίες για την προσαρμογή μελλοντικών θεραπευτικών πρωτοκόλλων, ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες συγκεκριμένων ομάδων ασθενών. Επιπρόσθετα, το 96,4% των συμμετεχόντων είχε το δεξί πόδι ως

κυρίαρχο, μειώνοντας έτσι τις πιθανές μεταβλητές που θα μπορούσαν να προκύψουν από ασυμμετρίες στο μυοσκελετικό σύστημα.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που παρατέθηκαν και τη στατιστική ανάλυση τους, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στη παραγωγή ροπής και άρα και μυϊκής δύναμης όταν αυτή παραγόταν εκούσια σε σύγκριση με τον συνδυασμό με ηλεκτρική διέγερση. Συνεχίζοντας την ανάλυση, αυτά τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι ο συνδυασμός της ηλεκτρικής διέγερσης με την εθελούσια μυϊκή προσπάθεια ενισχύει την ενεργοποίηση των μυϊκών ινών πέραν των επιπέδων που επιτυγχάνονται με αποκλειστική εκούσια σύσπαση. Συγκεκριμένα, η προσθήκη της ηλεκτρικής διέγερσης φαίνεται να συμβάλλει στην πρόσθετη ενεργοποίηση επιπλέον κινητικών μονάδων, οι οποίες υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν θα ενεργοποιούνταν πλήρως κατά τη διάρκεια της εθελούσιας προσπάθειας. Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει την επίτευξη αυξημένης μυϊκής δύναμης, γεγονός που μεταφράζεται σε επίτευξη υψηλότερης συνολικής ροπής (torque). Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνονται από τις έρευνες των (Strojnik, 1995) και των (Strojnik, 1998). Τα δεδομένα αυτά όμως έρχονται σε σύγκρουση με προηγούμενες έρευνες που διεξήχθησαν με παρόμοιες παραμέτρους. Οι (Kramer et al., 1984) και (Kramer, 1987) με τις έρευνες τους κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει διαφορά στη παραγωγή μυϊκής δύναμης ισομετρικά όταν σε έναν μυ ασκείται ηλεκτρική διέγερση. Οι παράμετροι της ηλεκτρικής διέγερσης (όπως η ένταση, η συχνότητα, η διάρκεια των παλμών και ο τρόπος εφαρμογής) έχουν ρυθμιστεί διαφορετικά σε κάθε μελέτη, επηρεάζοντας έτσι την ενεργοποίηση των μυϊκών ινών. Μικρές διαφοροποιήσεις σε αυτές τις παραμέτρους μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικές αποκρίσεις των μυών, καθιστώντας δύσκολη τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ μελετών.

Σε μια παρόμοια έρευνα οι (Valli et al., 2002) σύγκριναν την ισομετρική μυϊκή δύναμη τετρακεφάλου δυο γκρουπ εθελοντών μετά από ένα προπονητικό πρόγραμμα 11 ημερών. Στο ένα γκρουπ οι δοκιμαζόμενοι χρησιμοποίησαν μόνο εκούσιες συσπάσεις ενώ στο άλλο έγινε παράλληλη ηλεκτρική διέγερση. Το δεύτερο γκρουπ είχε μεγαλύτερη αύξηση της ισομετρικής μυϊκής δύναμης μετά το πέρας του προπονητικού προγράμματος. Αντιθέτως, με τις μελέτες τους οι (Currier et al., 1979) και οι (Currier & Mann, 1983), σε παρόμοιες έρευνες με τους Valli et al. δεν βρήκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αύξηση της δύναμης ανάμεσα στα δυο γκρουπ σε παρόμοια προπονητικά προγράμματα.

Για την περαιτέρω κατανόηση και βελτιστοποίηση της εφαρμογής της ηλεκτρικής διέγερσης στην ενίσχυση της μυϊκής δύναμης, είναι σημαντικό να διεξαχθούν μελλοντικές μελέτες που επικεντρώνονται στην εξατομίκευση των παραμέτρων διέγερσης. Μία

προσέγγιση θα μπορούσε να είναι η διερεύνηση της επίδρασης παραμέτρων όπως η ένταση, η συχνότητα και η διάρκεια των παλμών στην ενεργοποίηση των μυϊκών ινών, ώστε να προσδιοριστούν οι βέλτιστες ρυθμίσεις για διάφορους πληθυσμούς και κλινικές περιστάσεις. Επιπρόσθετα, η χρήση ηλεκτρομυογραφίας, μπορεί να συμβάλει στην αποκωδικοποίηση των μηχανισμών που διέπουν την αύξηση της μυϊκής δύναμης και να παρέχει βαθύτερες γνώσεις για τις νευρομυϊκές διεργασίες που λαμβάνουν μέρος. Παράλληλα, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν μελέτες με μεγαλύτερα και πιο ομοιογενή δείγματα, ώστε να εξασφαλιστεί ότι τα ευρήματα μπορούν να γενικευθούν. Η λήψη υπόψη παραγόντων όπως το φύλο, η ηλικία και το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας θα βοηθήσει στον καθορισμό των ατομικών διαφορών στην ανταπόκριση στη θεραπεία. Επίσης, η μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των αποτελεσμάτων θα προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τη διατήρηση των βελτιώσεων στη μυϊκή δύναμη και για την πρόληψη της μυϊκής ατροφίας. Επιπρόσθετα, συγκριτικές μελέτες που εξετάζουν την αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης σε σύγκριση με άλλες μεθόδους θα μπορούσαν να εντοπίσουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε προσέγγισης.

Η διεύρυνση του πληθυσμού, διαφορετικές ηλικιακές ομάδες, αθλητές, άτομα με καθιστική ζωή, αλλά και κλινικούς πληθυσμούς όπως ασθενείς μετά από χειρουργική αποκατάσταση πρόσθιου χιαστού, ολική αρθροπλαστική γόνατος, οστεοαρθρίτιδα ή νευρολογικές παθήσεις, θα ενισχύσει τη γενικευσιμότητα των ευρημάτων. Η χρήση τεχνικών όπως το twitch interpolation, το οποίο χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο βαθμός ενεργοποίησης ενός μυός από το νευρικό σύστημα (Herbert & Gandevia, 1999), θα προσέφερε βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που ενισχύουν την παραγωγή δύναμης υπό ηλεκτρική διέγερση. Τεχνικές όπως ο διακρανιακός μαγνητικός ερεθισμός θα μπορούσαν να βοηθήσουν για να εκτιμηθεί η κεντρική ενεργοποίηση και η συμβολή του κεντρικού νευρικού συστήματος στην παραγωγή μυϊκής δύναμης. Με αυτόν το τρόπο θα μπορούσε να εκτιμηθεί αν η αύξηση της ροπής οφείλεται αποκλειστικά σε περιφερική ενεργοποίηση των μυϊκών ινών μέσω της ηλεκτρικής διέγερσης ή αν υπάρχει και προσαρμογή στο επίπεδο του εγκεφαλικού φλοιού. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε και η σύγκριση διπολικής και τετραπολικής εφαρμογής των ηλεκτροδίων.

Μέσω αυτών των προσεγγίσεων, οι μελλοντικές έρευνες θα ενισχύσουν την κατανόηση των μηχανισμών δράσης της ηλεκτρικής διέγερσης και θα βελτιώσουν την αποδοτικότητα των θεραπευτικών παρεμβάσεων, οδηγώντας τελικά σε καλύτερα αποτελέσματα για τους ασθενείς και βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας.

Κεφάλαιο 6- Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας μέσω ρευμάτων συμβολής συνεισφέρει στη σημαντική ενίσχυση της παραγόμενης μυϊκής δύναμης, όταν αυτή συνοδεύει την εθελούσια ισομετρική σύσπαση του τετρακεφάλου μυός. Συγκεκριμένα, η χρήση ρευμάτων συμβολής φαίνεται να ενισχύει τη συνολική ενεργοποίηση των μυϊκών ινών, επιτρέποντας την επίτευξη υψηλότερων τιμών ισομετρικής ροπής σε σύγκριση με τη μόνη εκούσια σύσπαση. Τα ευρήματα αυτά συνάδουν με τη διεθνή βιβλιογραφία που αναγνωρίζει την προσθετική λειτουργία της ηλεκτρικής διέγερσης στη μυϊκή ενεργοποίηση, ιδίως σε πληθυσμούς όπου η νευρομυϊκή απόδοση μπορεί να βελτιωθεί μέσω εξωτερικής ενεργοποίησης κινητικών μονάδων.

Η επιλογή των ρευμάτων συμβολής προσέφερε υψηλό επίπεδο ανεκτικότητας στους συμμετέχοντες, γεγονός που ενισχύει τη χρησιμότητά τους σε κλινικά περιβάλλοντα αποκατάστασης, όπου η συμμόρφωση και η άνεση του ασθενή είναι κρίσιμες. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από τη σχετικά χαμηλή υποκειμενική αναφορά δυσφορίας στην παρούσα μελέτη, η οποία αποδίδεται στη διεισδυτική αλλά καλά ανεκτή φύση των ρευμάτων συμβολής, όπως έχει τεκμηριωθεί σε προγενέστερες κλινικές δοκιμές.

Ωστόσο, η μελέτη αντιμετώπισε ορισμένες αντικειμενικές δυσκολίες που πρέπει να επισημανθούν. Η πρόσβαση σε επαρκές δείγμα με ομοιογενή χαρακτηριστικά αποτέλεσε πρόκληση, ενώ η ανάγκη για εξοικείωση των συμμετεχόντων με το πρωτόκολλο της ηλεκτρικής διέγερσης αύξησε τον χρόνο της διαδικασίας συλλογής δεδομένων. Επιπρόσθετα, η υποκειμενική ρύθμιση της έντασης του ρεύματος βάσει της ανεκτικότητας ενδέχεται να εισάγει διαφοροποιήσεις στην ενεργοποίηση των μυών μεταξύ των συμμετεχόντων, περιορίζοντας την απόλυτη συγκρισιμότητα. Προτείνεται στο μέλλον η εκπόνηση μελετών με μεγαλύτερα δείγματα και πληθυσμούς διαφορετικών ηλικιών και επιπέδων φυσικής κατάστασης, ώστε να ενισχυθεί η γενικευσιμότητα των ευρημάτων. Παράλληλα, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η σύγκριση της ίδιας τεχνικής με άλλες μορφές ηλεκτρικής διέγερσης, όπως τα ρωσικά ρεύματα ή τα παλμικά ρεύματα, ώστε να αναδειχθεί η σχετική αποτελεσματικότητα κάθε μορφής ηλεκτροθεραπείας στην αποκατάσταση της μυϊκής λειτουργίας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση νευροφυσιολογικών δεικτών, όπως η ηλεκτρομυογραφία, θα μπορούσε να προσφέρει βαθύτερη κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών ενίσχυσης της μυϊκής ενεργοποίησης.

Σε προσωπικό επίπεδο, η εκπόνηση αυτής της εργασίας αποτέλεσε μια διαδικασία εντατικής μάθησης, όχι μόνο αναφορικά με τη μεθοδολογία της πειραματικής έρευνας, αλλά και με τις πρακτικές προκλήσεις της εφαρμογής ηλεκτροθεραπευτικών παρεμβάσεων σε ανθρώπινα υποκείμενα. Η ανάγκη για ακριβή τήρηση του πρωτοκόλλου, για δεοντολογική διασφάλιση των συμμετεχόντων και για ερμηνεία των ευρημάτων βάσει επιστημονικών τεκμηρίων, συνέβαλε ουσιαστικά στην ανάπτυξη μιας πιο ώριμης ερευνητικής και κριτικής σκέψης. Συνολικά, η έρευνα αυτή ανέδειξε τη δυνατότητα των ρευμάτων συμβολής να συνεισφέρουν ουσιαστικά στην ενίσχυση της μυϊκής απόδοσης και θέτει τη βάση για περαιτέρω κλινική και πειραματική διερεύνηση στον χώρο της αποκατάστασης.

Αναφορές

- Botter, A., Oprandi, G., Lanfranco, F., Allasia, S., Maffiuletti, N. A., & Minetto, M. A. (2011). Atlas of the muscle motor points for the lower limb: implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2461-2471. doi:10.1007/s00421-011-2093-y [doi]
- Currier, D. P., Lehman, J., & Lightfoot, P. (1979). Electrical stimulation in exercise of the quadriceps femoris muscle. *Phys Ther*, 59(12), 1508-1512. doi:10.1093/ptj/59.12.1508 [doi]
- Currier, D. P., & Mann, R. (1983). Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther*, 63(6), 915-921. doi:10.1093/ptj/63.6.915 [doi]
- Davies, G. J. (1987). A Compendium of Isokinetics in Clinical Usage. In.
- Drouin, J. M., Valovich-mcLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol*, 91(1), 22-29. doi:10.1007/s00421-003-0933-0
- Gobbo, M., Lazzarini, S., Vacchi, L., Gaffurini, P., Bissolotti, L., Padovani, A., & Filosto, M. (2019). Exercise Combined with Electrotherapy Enhances Motor Function in an Adolescent with Spinal Muscular Atrophy Type III. *Case Rep Neurol Med*, 2019, 4839793. doi:10.1155/2019/4839793
- Hasan, A., Moustafa, I., & Shousha, T. (2024). Effect of Russian current expert modes on quadriceps muscle torque in healthy adults: A single-blinded randomized controlled trial. *PLoS One*, 19(1), e0297136. doi:10.1371/journal.pone.0297136
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther*, 47(2), 114-117.
- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(2), 113-119. doi:CPF786 [pii] 10.1111/j.1475-097X.2007.00786.x [doi]
- Kramer, J. F. (1987). Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque. *Phys Ther*, 67(1), 31-38. doi:10.1093/ptj/67.1.31 [doi]
- Kramer, J. F., Lindsay, D. M., Magee, D., Wall, T., & Mendryk, S. W. (1984). Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torques*. *J Orthop Sports Phys Ther*, 5(6), 324-331. doi:10.2519/jospt.1984.5.6.324
- Moritani, T. (2021). Electrical muscle stimulation: Application and potential role in aging society. *J Electromyogr Kinesiol*, 61, 102598. doi:10.1016/j.jelekin.2021.102598
- Mukherjee, S., Fok, J. R., & van Mechelen, W. (2023). Electrical Stimulation and Muscle Strength Gains in Healthy Adults: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 37(4), 938-950. doi:10.1519/JSC.0000000000004359
- Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P., & Dupui, P. (2005). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med*, 35(11), 951-966. doi:10.2165/00007256-200535110-00003
- Papathanasiou, G., Georgoudis, G., Papandreou, M., Spyropoulos, P., Georgakopoulos, D., Kalfakakou, V., & Evangelou, A. (2009). Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic J Cardiol*, 50(4), 283-294.
- Pereira, K. E., Pereira, K. L., Stachelski, R. A., Buzanello Azevedo, M. R., Carvalho, A. R., & Flor Bertolini, G. R. (2022). KiloHertz currents on aspects of muscle function: A scoping review. *J Bodyw Mov Ther*, 32, 110-119. doi:10.1016/j.jbmt.2022.05.015
- Rampazo É, P., & Liebano, R. E. (2022). Analgesic Effects of Interferential Current Therapy: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)*, 58(1). doi:medicina58010141 [pii] medicina-58-00141 [pii] 10.3390/medicina58010141 [doi]
- Sapega, A. A., Nicholas, J. A., Sokolow, D., & Saraniti, A. The nature of torque "overshoot" in Cybex isokinetic dynamometry.
- Scott, W., Adams, C., Fisher, J., Fisher, S., Jones, K., & Mathieu, B. (2021). Electrically elicited quadriceps muscle torque: Comparison at three knee angles. *Physiother Theory Pract*, 37(6), 729-735. doi:10.1080/09593985.2019.1639867
- Strojnik, V. (1995). Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 144-149. doi:10.1007/BF00964129 [doi]

- Strojnik, V. (1998). The effects of superimposed electrical stimulation of the quadriceps muscles on performance in different motor tasks. *J Sports Med Phys Fitness*, 38(3), 194-200.
- Valli, P., Boldrini, L., Bianchedi, D., Brizzi, G., & Miserocchi, G. (2002). Effect of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *J Sports Med Phys Fitness*, 42(4), 425-430.
- Vaz, M. A., Aragão, F. A., Boschi É, S., Fortuna, R., & Melo Mde, O. (2012). Effects of Russian current and low-frequency pulsed current on discomfort level and current amplitude at 10% maximal knee extensor torque. *Physiother Theory Pract*, 28(8), 617-623. doi:10.3109/09593985.2012.665984 [doi]
- Wyse, J. P., Mercer, T. H., & Gleeson, N. P. (1994). Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br J Sports Med*, 28(3), 167-170. doi:10.1136/bjsm.28.3.167 [doi]
- Baltzopoulos, V., & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports Med*, 8(2), 101-116. doi:10.2165/00007256-198908020-00003 [doi]
- Bellew, J. W., Beiswanger, Z., Freeman, E., Gaerte, C., & Trafton, J. (2012). Interferential and burst-modulated biphasic pulsed currents yield greater muscular force than Russian current. *Physiother Theory Pract*, 28(5), 384-390. doi:10.3109/09593985.2011.637286 [doi]
- Binder-Macleod, S. A., & Snyder-Mackler, L. (1993). Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*, 73(12), 902-910. doi:10.1093/ptj/73.12.902
- Croisier, J. L., Malnati, M., Reichard, L. B., Peretz, C., & Dvir, Z. (2007). Quadriceps and hamstring isokinetic strength and electromyographic activity measured at different ranges of motion: a reproducibility study. *J Electromyogr Kinesiol*, 17(4), 484-492. doi:10.1016/j.jelekin.2006.04.003 [doi]
- Daly, J. J., & Ruff, R. L. (2004). Feasibility of combining multi-channel functional neuromuscular stimulation with weight-supported treadmill training. *J Neurol Sci*, 225(1-2), 105-115. doi:10.1016/j.jns.2004.07.006
- Gondin, J., Guette, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2005). Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc*, 37(8), 1291-1299. doi:10.1249/01.mss.0000175090.49048.41
- Gregory, C. M., & Bickel, C. S. (2005). Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther*, 85(4), 358-364.
- Huang, L., Liu, Y., Lin, T., Hou, L., Song, Q., Ge, N., & Yue, J. (2022). Reliability and validity of two hand dynamometers when used by community-dwelling adults aged over 50 years. *BMC Geriatr*, 22(1), 580. doi:10.1186/s12877-022-03270-6 [pii]
- 10.1186/s12877-022-03270-6 [doi]
- Hébert, L. J., Remec, J. F., Saulnier, J., Vial, C., & Puymirat, J. (2010). The use of muscle strength assessed with handheld dynamometers as a non-invasive biological marker in myotonic dystrophy type 1 patients: a multicenter study. *BMC Musculoskelet Disord*, 11, 72. doi:1471-2474-11-72 [pii]
- 10.1186/1471-2474-11-72 [doi]
- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(2), 113-119. doi:CPF786 [pii]
- 10.1111/j.1475-097X.2007.00786.x [doi]
- Johnston, R. B., 3rd, Howard, M. E., Cawley, P. W., & Losse, G. M. (1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc*, 30(12), 1703-1707. doi:10.1097/00005768-199812000-00008 [doi]
- KHIYAMI, A., ALMALKI, R. S., & KHAYAME, N. (2023). A review of interferential therapy application in sport physical therapy. In (Jan–Apr 2023 ed., Vol. 23(1), pp. 10-16): Saudi Journal of Sports Medicine.
- Lake, D. A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports Med*, 13(5), 320-336. doi:10.2165/00007256-199213050-00003
- LIBERSON, W. T., HOLMQUEST, H. J., SCOT, D., & DOW, M. (1961). Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 42, 101-105.
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11), 1647-1666. doi:10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m

- Maffiuletti, N. A., Minetto, M. A., Farina, D., & Bottinelli, R. (2011). Electrical stimulation for neuromuscular testing and training: state-of-the art and unresolved issues. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2391-2397. doi:10.1007/s00421-011-2133-7
- Mafi, P., Mafi, R., Hindocha, S., Griffin, M., & Khan, W. (2012). A systematic review of dynamometry and its role in hand trauma assessment. *Open Orthop J*, 6, 95-102. doi:TOORTHJ-6-95 [pii] 10.2174/1874325001206010095 [doi]
- Moritani, T. (2021). Electrical muscle stimulation: Application and potential role in aging society. *J Electromyogr Kinesiol*, 61, 102598. doi:10.1016/j.jelekin.2021.102598
- Mukherjee, S., Fok, J. R., & van Mechelen, W. (2023). Electrical Stimulation and Muscle Strength Gains in Healthy Adults: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 37(4), 938-950. doi:10.1519/JSC.0000000000004359
- Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P., & Dupui, P. (2005). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med*, 35(11), 951-966. doi:10.2165/00007256-200535110-00003
- Papathanasiou, G., Georgoudis, G., Papandreou, M., Spyropoulos, P., Georgakopoulos, D., Kalfakakou, V., & Evangelou, A. (2009). Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic J Cardiol*, 50(4), 283-294.
- Peckham, P. H., & Knutson, J. S. (2005). Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu Rev Biomed Eng*, 7, 327-360. doi:10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140103
- Peng, L., Wang, K., Zeng, Y., Wu, Y., Si, H., & Shen, B. (2021). Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Front Med (Lausanne)*, 8, 779019. doi:10.3389/fmed.2021.779019
- Pereira, K. E., Pereira, K. L., Stachelski, R. A., Buzanello Azevedo, M. R., Carvalho, A. R., & Flor Bertolini, G. R. (2022). KiloHertz currents on aspects of muscle function: A scoping review. *J Bodyw Mov Ther*, 32, 110-119. doi:10.1016/j.jbmt.2022.05.015
- Portilla-Cueto, K., Medina-Pérez, C., Romero-Pérez, E. M., Hernández-Murúa, J. A., Vila-Chã, C., & de Paz, J. A. (2022). Reliability of Isometric Muscle Strength Measurement and Its Accuracy Prediction of Maximal Dynamic Force in People with Multiple Sclerosis. *Medicina (Kaunas)*, 58(7). doi:medicina58070948 [pii] medicina-58-00948 [pii] 10.3390/medicina58070948 [doi]
- Rampazo É, P., & Liebano, R. E. (2022). Analgesic Effects of Interferential Current Therapy: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)*, 58(1). doi:medicina58010141 [pii] medicina-58-00141 [pii] 10.3390/medicina58010141 [doi]
- Sapega, A. A., Nicholas, J. A., Sokolow, D., & Saraniti, A. The nature of torque "overshoot" in Cybex isokinetic dynamometry.
- Scott, W., Adams, C., Fisher, J., Fisher, S., Jones, K., & Mathieu, B. (2021). Electrically elicited quadriceps muscle torque: Comparison at three knee angles. *Physiother Theory Pract*, 37(6), 729-735. doi:10.1080/09593985.2019.1639867
- Strojnik, V. (1995). Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 144-149. doi:10.1007/BF00964129 [doi]
- Strojnik, V. (1998). The effects of superimposed electrical stimulation of the quadriceps muscles on performance in different motor tasks. *J Sports Med Phys Fitness*, 38(3), 194-200.
- Valli, P., Boldrini, L., Bianchedi, D., Brizzi, G., & Misericocchi, G. (2002). Effect of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *J Sports Med Phys Fitness*, 42(4), 425-430.
- Vaz, M. A., Aragão, F. A., Boschi É, S., Fortuna, R., & Melo Mde, O. (2012). Effects of Russian current and low-frequency pulsed current on discomfort level and current amplitude at 10% maximal knee extensor torque. *Physiother Theory Pract*, 28(8), 617-623. doi:10.3109/09593985.2012.665984 [doi]
- Ward, A. R. (2009). Electrical stimulation using kilohertz-frequency alternating current. *Phys Ther*, 89(2), 181-190. doi:10.2522/ptj.20080060
- Ward, A. R., & Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: the early experiments. *Phys Ther*, 82(10), 1019-1030.
- Wyse, J. P., Mercer, T. H., & Gleeson, N. P. (1994). Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br J Sports Med*, 28(3), 167-170. doi:10.1136/bjbm.28.3.167 [doi]
- Baltzopoulos, V., & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports Med*, 8(2), 101-116. doi:10.2165/00007256-198908020-00003 [doi]

- Bellew, J. W., Beiswanger, Z., Freeman, E., Gaerte, C., & Trafton, J. (2012). Interferential and burst-modulated biphasic pulsed currents yield greater muscular force than Russian current. *Physiother Theory Pract*, 28(5), 384-390. doi:10.3109/09593985.2011.637286 [doi]
- Binder-Macleod, S. A., & Snyder-Mackler, L. (1993). Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*, 73(12), 902-910. doi:10.1093/ptj/73.12.902
- Botter, A., Oprandi, G., Lanfranco, F., Allasia, S., Maffiuletti, N. A., & Minetto, M. A. (2011). Atlas of the muscle motor points for the lower limb: implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2461-2471. doi:10.1007/s00421-011-2093-y [doi]
- Croisier, J. L., Malnati, M., Reichard, L. B., Peretz, C., & Dvir, Z. (2007). Quadriceps and hamstring isokinetic strength and electromyographic activity measured at different ranges of motion: a reproducibility study. *J Electromyogr Kinesiol*, 17(4), 484-492. doi:S1050-6411(06)00043-5 [pii] 10.1016/j.jelekin.2006.04.003 [doi]
- Currier, D. P., Lehman, J., & Lightfoot, P. (1979). Electrical stimulation in exercise of the quadriceps femoris muscle. *Phys Ther*, 59(12), 1508-1512. doi:10.1093/ptj/59.12.1508 [doi]
- Currier, D. P., & Mann, R. (1983). Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther*, 63(6), 915-921. doi:10.1093/ptj/63.6.915 [doi]
- Daly, J. J., & Ruff, R. L. (2004). Feasibility of combining multi-channel functional neuromuscular stimulation with weight-supported treadmill training. *J Neurol Sci*, 225(1-2), 105-115. doi:10.1016/j.jns.2004.07.006
- Davies, G. J. (1987). A Compendium of Isokinetics in Clinical Usage. In.
- Drouin, J. M., Valovich-mcLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol*, 91(1), 22-29. doi:10.1007/s00421-003-0933-0
- Gobbo, M., Lazzarini, S., Vacchi, L., Gaffurini, P., Bissolotti, L., Padovani, A., & Filosto, M. (2019). Exercise Combined with Electrotherapy Enhances Motor Function in an Adolescent with Spinal Muscular Atrophy Type III. *Case Rep Neurol Med*, 2019, 4839793. doi:10.1155/2019/4839793
- Gondin, J., Gnette, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2005). Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc*, 37(8), 1291-1299. doi:10.1249/01.mss.0000175090.49048.41
- Gregory, C. M., & Bickel, C. S. (2005). Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther*, 85(4), 358-364.
- Hasan, A., Moustafa, I., & Shousha, T. (2024). Effect of Russian current expert modes on quadriceps muscle torque in healthy adults: A single-blinded randomized controlled trial. *PLoS One*, 19(1), e0297136. doi:10.1371/journal.pone.0297136
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther*, 47(2), 114-117.
- Huang, L., Liu, Y., Lin, T., Hou, L., Song, Q., Ge, N., & Yue, J. (2022). Reliability and validity of two hand dynamometers when used by community-dwelling adults aged over 50 years. *BMC Geriatr*, 22(1), 580. doi:10.1186/s12877-022-03270-6 [pii] 3270 [pii] 10.1186/s12877-022-03270-6 [doi]
- Hébert, L. J., Remec, J. F., Saulnier, J., Vial, C., & Puymirat, J. (2010). The use of muscle strength assessed with handheld dynamometers as a non-invasive biological marker in myotonic dystrophy type 1 patients: a multicenter study. *BMC Musculoskelet Disord*, 11, 72. doi:1471-2474-11-72 [pii] 10.1186/1471-2474-11-72 [doi]
- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(2), 113-119. doi:CPF786 [pii] 10.1111/j.1475-097X.2007.00786.x [doi]
- Johnston, R. B., 3rd, Howard, M. E., Cawley, P. W., & Losse, G. M. (1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc*, 30(12), 1703-1707. doi:10.1097/00005768-199812000-00008 [doi]
- KHIYAMI, A., ALMALKI, R. S., & KHAYAME, N. (2023). A review of interferential therapy application in sport physical therapy. In (Jan–Apr 2023 ed., Vol. 23(1), pp. 10-16): Saudi Journal of Sports Medicine.
- Kramer, J. F. (1987). Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque. *Phys Ther*, 67(1), 31-38. doi:10.1093/ptj/67.1.31 [doi]

- Kramer, J. F., Lindsay, D. M., Magee, D., Wall, T., & Mendryk, S. W. (1984). Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torques*. *J Orthop Sports Phys Ther*, 5(6), 324-331. doi:10.2519/jospt.1984.5.6.324
- Lake, D. A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports Med*, 13(5), 320-336. doi:10.2165/00007256-199213050-00003
- Laughman, R. K., Youdas, J. W., Garrett, T. R., & Chao, E. Y. (1983). Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys Ther*, 63(4), 494-499. doi:10.1093/ptj/63.4.494 [doi]
- LIBERSON, W. T., HOLMQUEST, H. J., SCOT, D., & DOW, M. (1961). Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 42, 101-105.
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11), 1647-1666. doi:10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m
- Maffiuletti, N. A., Minetto, M. A., Farina, D., & Bottinelli, R. (2011). Electrical stimulation for neuromuscular testing and training: state-of-the art and unresolved issues. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2391-2397. doi:10.1007/s00421-011-2133-7
- Mafi, P., Mafi, R., Hindocha, S., Griffin, M., & Khan, W. (2012). A systematic review of dynamometry and its role in hand trauma assessment. *Open Orthop J*, 6, 95-102. doi:TOORTHJ-6-95 [pii] 10.2174/1874325001206010095 [doi]
- Moritani, T. (2021). Electrical muscle stimulation: Application and potential role in aging society. *J Electromyogr Kinesiol*, 61, 102598. doi:10.1016/j.jelekin.2021.102598
- Mukherjee, S., Fok, J. R., & van Mechelen, W. (2023). Electrical Stimulation and Muscle Strength Gains in Healthy Adults: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 37(4), 938-950. doi:10.1519/JSC.0000000000004359
- Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P., & Dupui, P. (2005). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med*, 35(11), 951-966. doi:10.2165/00007256-200535110-00003
- Papathanasiou, G., Georgoudis, G., Papandreou, M., Spyropoulos, P., Georgakopoulos, D., Kalfakakou, V., & Evangelou, A. (2009). Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic J Cardiol*, 50(4), 283-294.
- Peckham, P. H., & Knutson, J. S. (2005). Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu Rev Biomed Eng*, 7, 327-360. doi:10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140103
- Peng, L., Wang, K., Zeng, Y., Wu, Y., Si, H., & Shen, B. (2021). Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Front Med (Lausanne)*, 8, 779019. doi:10.3389/fmed.2021.779019
- Pereira, K. E., Pereira, K. L., Stachelski, R. A., Buzanello Azevedo, M. R., Carvalho, A. R., & Flor Bertolini, G. R. (2022). KiloHertz currents on aspects of muscle function: A scoping review. *J Bodyw Mov Ther*, 32, 110-119. doi:10.1016/j.jbmt.2022.05.015
- Pinfildi, C. E., Andraus, R. A. C., Iida, L. M., & Prado, R. P. (2018). NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION OF MEDIUM AND LOW FREQUENCY ON THE QUADRICEPS FEMORIS. *Acta Ortop Bras*, 26(5), 346-349. doi:1413-785220182605178164 [pii] 10.1590/1413-785220182605178164 [doi]
- Portilla-Cueto, K., Medina-Pérez, C., Romero-Pérez, E. M., Hernández-Murúa, J. A., Vila-Chã, C., & de Paz, J. A. (2022). Reliability of Isometric Muscle Strength Measurement and Its Accuracy Prediction of Maximal Dynamic Force in People with Multiple Sclerosis. *Medicina (Kaunas)*, 58(7). doi:medicina58070948 [pii] medicina-58-00948 [pii] 10.3390/medicina58070948 [doi]
- Rampazo É, P., & Liebano, R. E. (2022). Analgesic Effects of Interferential Current Therapy: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)*, 58(1). doi:medicina58010141 [pii] medicina-58-00141 [pii] 10.3390/medicina58010141 [doi]
- Sapega, A. A., Nicholas, J. A., Sokolow, D., & Saraniti, A. The nature of torque "overshoot" in Cybex isokinetic dynamometry.
- Scott, W., Adams, C., Fisher, J., Fisher, S., Jones, K., & Mathieu, B. (2021). Electrically elicited quadriceps muscle torque: Comparison at three knee angles. *Physiother Theory Pract*, 37(6), 729-735. doi:10.1080/09593985.2019.1639867

- Strojnik, V. (1995). Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 144-149. doi:10.1007/BF00964129 [doi]
- Strojnik, V. (1998). The effects of superimposed electrical stimulation of the quadriceps muscles on performance in different motor tasks. *J Sports Med Phys Fitness*, 38(3), 194-200.
- Valli, P., Boldrini, L., Bianchedi, D., Brizzi, G., & Miserocchi, G. (2002). Effect of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *J Sports Med Phys Fitness*, 42(4), 425-430.
- Vaz, M. A., Aragão, F. A., Boschi É, S., Fortuna, R., & Melo Mde, O. (2012). Effects of Russian current and low-frequency pulsed current on discomfort level and current amplitude at 10% maximal knee extensor torque. *Physiother Theory Pract*, 28(8), 617-623. doi:10.3109/09593985.2012.665984 [doi]
- Ward, A. R. (2009). Electrical stimulation using kilohertz-frequency alternating current. *Phys Ther*, 89(2), 181-190. doi:10.2522/ptj.20080060
- Ward, A. R., & Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: the early experiments. *Phys Ther*, 82(10), 1019-1030.
- Wyse, J. P., Mercer, T. H., & Gleeson, N. P. (1994). Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br J Sports Med*, 28(3), 167-170. doi:10.1136/bjsm.28.3.167 [doi]
- Baltzopoulos, V., & Brodie, D. A. (1989). Isokinetic dynamometry. Applications and limitations. *Sports Med*, 8(2), 101-116. <https://doi.org/10.2165/00007256-198908020-00003> [doi]
- Bellew, J. W., Beiswanger, Z., Freeman, E., Gaerte, C., & Trafton, J. (2012). Interferential and burst-modulated biphasic pulsed currents yield greater muscular force than Russian current. *Physiother Theory Pract*, 28(5), 384-390. <https://doi.org/10.3109/09593985.2011.637286> [doi]
- Beynnon, B. D., Johnson, R. J., Fleming, B. C., Peura, G. D., Renstrom, P. A., Nichols, C. E., & Pope, M. H. (1997). The effect of functional knee bracing on the anterior cruciate ligament in the weightbearing and nonweightbearing knee. *Am J Sports Med*, 25(3), 353-359. <https://doi.org/10.1177/036354659702500314> [doi]
- Binder-Macleod, S. A., & Snyder-Mackler, L. (1993). Muscle fatigue: clinical implications for fatigue assessment and neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*, 73(12), 902-910. <https://doi.org/10.1093/ptj/73.12.902>
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E.,...Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*, 35(8), 1381-1395. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB> [doi]
- Croisier, J. L., Malnati, M., Reichard, L. B., Peretz, C., & Dvir, Z. (2007). Quadriceps and hamstring isokinetic strength and electromyographic activity measured at different ranges of motion: a reproducibility study. *J Electromyogr Kinesiol*, 17(4), 484-492. [https://doi.org/S1050-6411\(06\)00043-5](https://doi.org/S1050-6411(06)00043-5) [pii] 10.1016/j.jelekin.2006.04.003 [doi]
- Currier, D. P., Lehman, J., & Lightfoot, P. (1979). Electrical stimulation in exercise of the quadriceps femoris muscle. *Phys Ther*, 59(12), 1508-1512. <https://doi.org/10.1093/ptj/59.12.1508> [doi]
- Currier, D. P., & Mann, R. (1983). Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Phys Ther*, 63(6), 915-921. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.6.915> [doi]
- Daly, J. J., & Ruff, R. L. (2004). Feasibility of combining multi-channel functional neuromuscular stimulation with weight-supported treadmill training. *J Neurol Sci*, 225(1-2), 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2004.07.006>
- Davies, G. J. (1987). A Compendium of Isokinetics in Clinical Usage. In.
- de Oliveira Melo, M., Aragão, F. A., & Vaz, M. A. (2013). Neuromuscular electrical stimulation for muscle strengthening in elderly with knee osteoarthritis - a systematic review. *Complement Ther Clin Pract*, 19(1), 27-31. [https://doi.org/S1744-3881\(12\)00068-0](https://doi.org/S1744-3881(12)00068-0) [pii] 10.1016/j.ctcp.2012.09.002 [doi]
- Drouin, J. M., Valovich-mcLeod, T. C., Shultz, S. J., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2004). Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol*, 91(1), 22-29. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0933-0>
- Gobbo, M., Lazzarini, S., Vacchi, L., Gaffurini, P., Bissolotti, L., Padovani, A., & Filosto, M. (2019). Exercise Combined with Electrotherapy Enhances Motor Function in an Adolescent with Spinal Muscular Atrophy Type III. *Case Rep Neurol Med*, 2019, 4839793. <https://doi.org/10.1155/2019/4839793>
- Gondin, J., Guede, M., Ballay, Y., & Martin, A. (2005). Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc*, 37(8), 1291-1299. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000175090.49048.41>

- Gregory, C. M., & Bickel, C. S. (2005). Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther*, 85(4), 358-364.
- Herbert, R. D., & Gandevia, S. C. (1999). Twitch interpolation in human muscles: mechanisms and implications for measurement of voluntary activation. *J Neurophysiol*, 82(5), 2271-2283. <https://doi.org/10.1152/jn.1999.82.5.2271> [doi]
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther*, 47(2), 114-117.
- Huang, L., Liu, Y., Lin, T., Hou, L., Song, Q., Ge, N., & Yue, J. (2022). Reliability and validity of two hand dynamometers when used by community-dwelling adults aged over 50 years. *BMC Geriatr*, 22(1), 580. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03270-6> [pii] 3270 [pii] 10.1186/s12877-022-03270-6 [doi]
- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(2), 113-119. <https://doi.org/CPF786> [pii] 10.1111/j.1475-097X.2007.00786.x [doi]
- Johnston, R. B., 3rd, Howard, M. E., Cawley, P. W., & Losse, G. M. (1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc*, 30(12), 1703-1707. <https://doi.org/10.1097/00005768-199812000-00008> [doi]
- Khiyami, A., ALMALKI, R. S., & KHAYAME, N. (2023). A review of interferential therapy application in sport physical therapy. In (Jan–Apr 2023 ed., Vol. 23(1), pp. 10-16): Saudi Journal of Sports Medicine.
- Knutson, J. S., Fu, M. J., Sheffler, L. R., & Chae, J. (2015). Neuromuscular Electrical Stimulation for Motor Restoration in Hemiplegia. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 26(4), 729-745. [https://doi.org/S1047-9651\(15\)00049-2](https://doi.org/S1047-9651(15)00049-2) [pii] 10.1016/j.pmr.2015.06.002 [doi]
- Kramer, J. F. (1987). Effect of electrical stimulation current frequencies on isometric knee extension torque. *Phys Ther*, 67(1), 31-38. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.1.31> [doi]
- Kramer, J. F., Lindsay, D. M., Magee, D., Wall, T., & Mendryk, S. W. (1984). Comparison of voluntary and electrical stimulation contraction torques*. *J Orthop Sports Phys Ther*, 5(6), 324-331. <https://doi.org/10.2519/jospt.1984.5.6.324>
- Lake, D. A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports Med*, 13(5), 320-336. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213050-00003>
- Laughman, R. K., Youdas, J. W., Garrett, T. R., & Chao, E. Y. (1983). Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys Ther*, 63(4), 494-499. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.4.494> [doi]
- Liberson, W. T., HOLMQUEST, H. J., SCOT, D., & DOW, M. (1961). Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 42, 101-105.
- Lieber, R. L., & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle Nerve*, 23(11), 1647-1666. [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200011\)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m)
- Maffiuletti, N. A., Minetto, M. A., Farina, D., & Bottinelli, R. (2011). Electrical stimulation for neuromuscular testing and training: state-of-the art and unresolved issues. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2391-2397. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2133-7>
- Mafi, P., Mafi, R., Hindocha, S., Griffin, M., & Khan, W. (2012). A systematic review of dynamometry and its role in hand trauma assessment. *Open Orthop J*, 6, 95-102. <https://doi.org/TOORTHJ-6-95> [pii] 10.2174/1874325001206010095 [doi]
- Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A., & Slauterbeck, J. L. (1995). Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res*, 13(6), 930-935. <https://doi.org/10.1002/jor.1100130618> [doi]
- Moritani, T. (2021). Electrical muscle stimulation: Application and potential role in aging society. *J Electromyogr Kinesiol*, 61, 102598. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102598>
- Mukherjee, S., Fok, J. R., & van Mechelen, W. (2023). Electrical Stimulation and Muscle Strength Gains in Healthy Adults: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 37(4), 938-950. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004359>
- Paillard, T., Noé, F., Passelergue, P., & Dupui, P. (2005). Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med*, 35(11), 951-966. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535110-00003>

- Papathanasiou, G., Georgoudis, G., Papandreou, M., Spyropoulos, P., Georgakopoulos, D., Kalfakakou, V., & Evangelou, A. (2009). Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic J Cardiol*, 50(4), 283-294.
- Pearn, J. (1978). Two early dynamometers. An historical account of the earliest measurements to study human muscular strength. *J Neurol Sci*, 37(1-2), 127-134. [https://doi.org/0022-510X\(78\)90233-2](https://doi.org/0022-510X(78)90233-2) [pii]
10.1016/0022-510X(78)90233-2 [doi]
- Peckham, P. H., & Knutson, J. S. (2005). Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu Rev Biomed Eng*, 7, 327-360. <https://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140103>
- Peng, L., Wang, K., Zeng, Y., Wu, Y., Si, H., & Shen, B. (2021). Effect of Neuromuscular Electrical Stimulation After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Front Med (Lausanne)*, 8, 779019. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.779019>
- Pinfildi, C. E., Andraus, R. A. C., Iida, L. M., & Prado, R. P. (2018). NEUROMUSCULAR ELECTRICAL STIMULATION OF MEDIUM AND LOW FREQUENCY ON THE QUADRICEPS FEMORIS. *Acta Ortop Bras*, 26(5), 346-349. <https://doi.org/1413-785220182605178164> [pii]
10.1590/1413-785220182605178164 [doi]
- Portilla-Cueto, K., Medina-Pérez, C., Romero-Pérez, E. M., Hernández-Murúa, J. A., Vila-Chã, C., & de Paz, J. A. (2022). Reliability of Isometric Muscle Strength Measurement and Its Accuracy Prediction of Maximal Dynamic Force in People with Multiple Sclerosis. *Medicina (Kaunas)*, 58(7). <https://doi.org/medicina58070948> [pii]
medicina-58-00948 [pii]
10.3390/medicina58070948 [doi]
- Rahmati, M., Gondin, J., & Malakoutinia, F. (2021). Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation on Quadriceps Muscle Strength and Mass in Healthy Young and Older Adults: A Scoping Review. *Phys Ther*, 101(9). <https://doi.org/6294526> [pii]
10.1093/ptj/pzab144 [doi]
- Rampazo, É. P., & Liebano, R. E. (2022). Analgesic Effects of Interferential Current Therapy: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)*, 58(1). <https://doi.org/medicina58010141> [pii]
medicina-58-00141 [pii]
10.3390/medicina58010141 [doi]
- Sahu, P. K., Goodstadt, N., Ramakrishnan, A., & Silfies, S. P. (2024). Test-retest reliability and concurrent validity of knee extensor strength measured by a novel device incorporated into a weight stack machine vs. handheld and isokinetic dynamometry. *PLoS One*, 19(5), e0301872. <https://doi.org/PONE-D-23-43830> [pii]
10.1371/journal.pone.0301872 [doi]
- Sapega, A. A., Nicholas, J. A., Sokolow, D., & Saraniti, A. The nature of torque "overshoot" in Cybex isokinetic dynamometry.
- Scott, W., Adams, C., Fisher, J., Fisher, S., Jones, K., & Mathieu, B. (2021). Electrically elicited quadriceps muscle torque: Comparison at three knee angles. *Physiother Theory Pract*, 37(6), 729-735. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1639867>
- Snyder-Mackler, L., Delitto, A., Stralka, S. W., & Bailey, S. L. (1994). Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther*, 74(10), 901-907. <https://doi.org/10.1093/ptj/74.10.901> [doi]
- Stackhouse, S. K., Binder-Macleod, S. A., Stackhouse, C. A., McCarthy, J. J., Prosser, L. A., & Lee, S. C. (2007). Neuromuscular electrical stimulation versus volitional isometric strength training in children with spastic diplegic cerebral palsy: a preliminary study. *Neurorehabil Neural Repair*, 21(6), 475-485. <https://doi.org/1545968306298932> [pii]
10.1177/1545968306298932 [doi]
- Stevens-Lapsley, J. E., Balter, J. E., Wolfe, P., Eckhoff, D. G., & Kohrt, W. M. (2012). Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Phys Ther*, 92(2), 210-226. <https://doi.org/ptj.20110124> [pii]
2011-0124 [pii]
10.2522/ptj.20110124 [doi]
- Strojnik, V. (1995). Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 144-149. <https://doi.org/10.1007/BF00964129> [doi]
- Strojnik, V. (1998). The effects of superimposed electrical stimulation of the quadriceps muscles on performance in different motor tasks. *J Sports Med Phys Fitness*, 38(3), 194-200.

- Valli, P., Boldrini, L., Bianchedi, D., Brizzi, G., & Miserocchi, G. (2002). Effect of low intensity electrical stimulation on quadriceps muscle voluntary maximal strength. *J Sports Med Phys Fitness*, 42(4), 425-430.
- Vaz, M. A., Aragão, F. A., Boschi É, S., Fortuna, R., & Melo Mde, O. (2012). Effects of Russian current and low-frequency pulsed current on discomfort level and current amplitude at 10% maximal knee extensor torque. *Physiother Theory Pract*, 28(8), 617-623. <https://doi.org/10.3109/09593985.2012.665984> [doi]
- Ward, A. R. (2009). Electrical stimulation using kilohertz-frequency alternating current. *Phys Ther*, 89(2), 181-190. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080060>
- Ward, A. R., & Shkuratova, N. (2002). Russian electrical stimulation: the early experiments. *Phys Ther*, 82(10), 1019-1030.
- Wyse, J. P., Mercer, T. H., & Gleeson, N. P. (1994). Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *Br J Sports Med*, 28(3), 167-170. <https://doi.org/10.1136/bjism.28.3.167> [doi]

Παραρτήματα

Παράρτημα Α

Αρ. Πρωτ. ΠΘ: 28503/24/ΤΦΣΚΘ - 19/11/24

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Επιστημών Υγείας
Τμήμα Φυσικοθεραπείας

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ

Σήμερα, στις 14-11-2024, στην αίθουσα συνεδριάσεων του Τμήματος Φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, συνεδρίασε η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικοθεραπείας.

Σύμφωνα, με απόφαση της Γενικής Συνέλευσης του Τμήματος Φυσικοθεραπείας η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας απαρτίζεται από τους:

Δρ. Ζαχαρίας Δημητριάδης, Επίκουρος Καθηγητής (πρόεδρος)

Δρ. Γεώργιος Παράς, Επίκουρος Καθηγητής (μέλος)

Δρ. Αριστείδης Βασιλόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής (μέλος)

Μετά από μελέτη της αίτησης για διεξαγωγή έρευνας του Μικέλ Ρούσι, με αριθμό πρωτοκόλλου 27792/24/ΤΦΣΚΘ 13/11/24 και τίτλο:

«Διερεύνηση της επίδρασης της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας, στην Παραγωγή μέγιστης εθελούσιας ισομετρικής σύσπασης, σε υγιείς άνδρες νεαρής ηλικίας»

και βάσει των πληροφοριών που περιλαμβάνονταν στην αίτηση η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας αποφάσισε ομόφωνα **την έγκριση** της μελέτης:

Οι ερευνητές θα πρέπει να είναι ενήμεροι ότι η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας θα πρέπει να ενημερώνεται για οτιδήποτε από τα παρακάτω:

- για οποιοδήποτε ατύχημα ή ανεπιθύμητο γεγονός που σχετίζεται με την μελέτη
- οποιοδήποτε αλλαγές γίνονται σε σχέση με το εγκεκριμένο πρωτόκολλο
- σε περίπτωση διακοπής της ερευνητικής μελέτης (με αιτιολόγηση)

Τα μέλη της Εσωτερικής Επιτροπής δεοντολογίας

1. Δρ. Ζαχαρίας Δημητριάδης (πρόεδρος)
2. Δρ. Γεώργιος Παράς (μέλος)
3. Δρ. Αριστείδης Βασιλόπουλος (μέλος)

Παράρτημα Β- Έντυπο ενημέρωσης υποψήφιου εθελοντή



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ - ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

3Ο χλμ ΠΕΟ Λαμίας-Αθηνών, Λαμία 35132

Τηλ.: 2231060176-177, email: g-
physio@uth.gr

Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας

Έντυπο Ενημέρωσης Υποψήφιου Εθελοντή

/γενικές πληροφορίες/

Σκοπός και λόγος ύπαρξης του εντύπου Ενημέρωση Υποψήφιου Εθελοντή:

Ασθενείς ή υγιείς εθελοντές οι οποίοι πιθανόν θα συμμετάσχουν σε μία έρευνα, πρέπει να έχουν επαρκή πληροφόρηση η οποία θα τους επιτρέψει να αποφασίσουν αν θέλουν να συμμετάσχουν ή όχι. Αυτή την πληροφόρηση θα την λάβουν από το Έντυπο Ενημέρωσης Υποψήφιου Εθελοντή που έχει συντάξει ο φοιτητής. Ο σκοπός του παρόντος εντύπου είναι να δώσει τη σωστή κατεύθυνση και βοήθεια στους φοιτητές που θέλουν να συντάξουν το Έντυπο Ενημέρωσης Υποψήφιου Εθελοντή. Απευθύνεται σε φοιτητές που η μελέτη/έρευνά τους περιλαμβάνει καθ' οιονδήποτε τρόπο εθελοντές ή στοιχεία-πληροφορίες από εθελοντές που θα μπορούσαν να θεωρηθούν προσωπικά.

Γενικά:

Είναι σημαντικό το Έντυπο Ενημέρωσης Υποψήφιου Εθελοντή να μπορεί να παρέχει τις πληροφορίες με απλό τρόπο, αποφεύγοντας τη χρήση τεχνικών όρων ώστε ακόμα και ένας αδαής να μπορεί να κατανοήσει την μελέτη/έρευνα. Οι προτάσεις και οι παράγραφοι πρέπει να είναι σύντομες. Αν η έρευνα διεξάγεται σε κάποιο Νοσοκομείο ή Ερευνητικό

Κέντρο είναι καλό να χρησιμοποιείται και το logo του Νοσοκομείου/Ερευνητικού Κέντρου. Το έντυπο ενημέρωσης πρέπει να περιέχει πληροφορίες στη σειρά που καθορίζει το παρόν έντυπο. Αν κάποια από τις παρακάτω πληροφορίες δεν ανταποκρίνεται στο είδος της μελέτης/έρευνας του φοιτητή, απλά δεν τις συμπεριλαμβάνει.

Τίτλος της ερευνητικής εργασίας:

Διερεύνηση της επίδρασης της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας, στην παραγωγή μέγιστης εθελούσιας ισομετρικής σύσπασης, σε υγιή άτομα νεαρής ηλικίας.

Παράγραφος πρόσκλησης του ατόμου στην έρευνα:

Σας προσκαλούμε να συμμετάσχετε σε μια σημαντική έρευνα που διεξάγουμε στον τομέα της Φυσικοθεραπείας. Η συμμετοχή σας θα μας βοηθήσει να αποκτήσουμε πολύτιμες πληροφορίες και να προχωρήσουμε στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών υγείας.

Ποιος είναι ο σκοπός της έρευνας?

Σκοπός της έρευνας είναι η μελέτη της ηλεκτροδιέγερσης στην παραγωγή μυικής δύναμης. Θα καθίσετε στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και θα σας ζητηθεί η μέγιστη σύσπαση του τετρακέφαλου στο γόνατο, με και χωρίς ηλεκτρική διέγερση.

Γιατί επιλέχθηκα?

Επιλεχθήκατε ως εθελοντής επειδή είστε υγιή άτομο με μέτρια αθλητική δραστηριότητα και μπορείτε να εκτελέσετε όλες τις κινήσεις του γονάτου χωρίς να υπάρχει κάποια παθολογία.

Είναι υποχρεωτικό να λάβω μέρος?

Η συμμετοχή σας δεν είναι υποχρεωτική και δεν θα υπάρξει κάποια αρνητική συνέπεια σε περίπτωση άρνησης. Μπορείτε επίσης να αποχωρήσετε από την έρευνα οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς να χρειάζεται να δώσετε εξηγήσεις και χωρίς καμία αρνητική συνέπεια. Η συναίνεσή σας πρέπει να είναι πλήρως ενημερωμένη, κάτι που σημαίνει ότι θα σας

παρέχονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τη φύση της έρευνας, τους στόχους, τις διαδικασίες και τους πιθανούς κινδύνους ή ωφέλειες εάν αυτές προκύψουν.

Τι θα γίνει από τη στιγμή που θα αποφασίσω να πάρω μέρος στη μελέτη/έρευνα?

Η έρευνα θα διαρκέσει από τον Οκτώβριο 2024 μέχρι τον Ιανουάριο 2025. Για τις ανάγκες της έρευνας θα χρειαστεί να παρευρεθείτε στο χώρο του εργαστηρίου για περίπου 20 λεπτά. Θα καθίσετε στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και θα πραγματοποιήσετε 3 ισομετρικές συσπάσεις τετρακεφάλου χωρίς ηλεκτροδιέγερση. Έπειτα, θα πραγματοποιήσετε 3 συσπάσεις τετρακεφάλου ενώ παράλληλα θα δέχεστε ηλεκτρική διέγερση.

Τι περιορισμοί υπάρχουν;

Δεν υπάρχουν περιορισμοί στην συγκεκριμένη έρευνα.

Υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις;

Η διαδικασία δεν περιλαμβάνει θεραπευτική παρέμβαση κατά συνέπεια, δεν θα χρησιμοποιηθούν εναλλακτικές θεραπείες στους εθελοντές που θα συμμετέχουν.

Υπάρχουν παρενέργειες;

Δεν υπάρχει καμία απολύτως παρενέργεια.

Πιθανοί κίνδυνοι ή μειονεκτήματα:

Δεν υπάρχουν γνωστοί κίνδυνοι από τη συμμετοχή σας στην έρευνα. Η διαδικασία έχει σχεδιαστεί με τρόπο που να διασφαλίζει την ασφάλειά σας, και όλα τα μέτρα που λαμβάνονται αποσκοπούν στην προστασία της υγείας και της ευημερίας των συμμετεχόντων. Σε κάθε περίπτωση, αν κατά τη διάρκεια της έρευνας αισθανθείτε οποιαδήποτε ενόχληση ή έχετε ανησυχίες, θα μπορείτε να αποχωρήσετε χωρίς καμία απολύτως συνέπεια.

Ποιο είναι το όφελος του εθελοντή-ασθενή;

Η συμμετοχή σας στην έρευνα πιθανότατα δεν θα έχει άμεσο προσωπικό όφελος. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της έρευνας μπορεί να συμβάλουν στη βελτίωση της επιστημονικής γνώσης ή στην ανάπτυξη νέων μεθόδων, θεραπειών, που θα μπορούσαν να ωφελήσουν άλλους στο μέλλον. Ορισμένες φορές, οι εθελοντές αισθάνονται ικανοποίηση από τη συμβολή τους στην πρόοδο της επιστήμης και τη βοήθεια προς την κοινωνία.

Νέες πληροφορίες έρχονται στο φως από την έρευνα:

Η έρευνα αφορά την μελέτη της αποτελεσματικότητας ενός φυσικοθεραπευτικού εργαλείου και δεν εμπεριέχει θεραπεία ή παρέμβαση. Ωστόσο για νέες πληροφορίες, θα ενημερωθείτε από τον ερευνητή και θα σας δοθεί νέο έντυπο εάν επιθυμείτε να συμμετέχετε.

Τι γίνεται όταν τελειώσει η έρευνα;

Με το πέρας της έρευνας θα ενημερωθείτε για τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα ή που κάτι θα πάει λάθος:

Τα αποτελέσματα της έρευνας δεν θα σας επηρεάσουν καθώς δεν υπάρξει κάποια φυσιοθεραπευτική παρέμβαση. Αν προκύψει κάποιο απρόβλεπτο πρόβλημα κατά τη διάρκεια της έρευνας, η ερευνητική ομάδα θα αξιολογήσει την κατάσταση και θα λάβει τα κατάλληλα μέτρα. Αν εντοπιστεί κάποιο λάθος ή κάποιο ζήτημα που μπορεί να επηρεάσει τους συμμετέχοντες, θα ενημερωθείτε άμεσα. Η έρευνα θα διακοπεί εάν κριθεί απαραίτητο για τη διασφάλιση της ασφάλειας των συμμετεχόντων και της επιστημονικής εγκυρότητας της μελέτης.

Θα γίνει γνωστή η συμμετοχή μου στην έρευνα ή θα παραμείνει απόρρητη?

Η συμμετοχή σας στην έρευνα θα παραμείνει εμπιστευτική. Τα προσωπικά σας δεδομένα δεν θα δημοσιοποιηθούν και θα τηρηθεί κάθε δυνατή προφύλαξη για την προστασία της ανωνυμίας σας. Μόνο τα μέλη της ερευνητικής ομάδας θα έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες σας, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για τους σκοπούς της έρευνας. Σε καμία περίπτωση η ταυτότητά σας δεν θα γίνει γνωστή χωρίς τη ρητή

συναίνεσή σας, και τα αποτελέσματα της έρευνας θα παρουσιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μη γίνεται αναγνώριση των ατόμων που συμμετείχαν.

Τι θα γίνει με τα αποτελέσματα της μελέτης/έρευνας;

Σε περίπτωση δημοσίευσης της έρευνας τα προσωπικά σας στοιχεία θα μείνουν απόρρητα.

Περισσότερες πληροφορίες;

Για περισσότερες πληροφορίες θα μπορείτε να επικοινωνήσετε είτε με τον ερευνητή στο κινητό τηλέφωνο ή στο προσωπικό email, είτε με τον επιβλέποντα καθηγητή της έρευνας.

Ευχαριστούμε εκ των προτέρων για τον χρόνο που αφιερώσατε και την συμμετοχή σας σε αυτή την έρευνα. Ο κάθε συμμετέχων θα κρατήσει ένα αντίγραφο του εντύπου Ενημέρωσης Υποψήφιου Εθελοντή και του εντύπου Συναίνεση μετά από Πληροφόρηση.

Πολιτική Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων - GDPR

Το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας αποδίδει μεγάλη σημασία στην σύννομη και ασφαλή επεξεργασία των προσωπικών σας δεδομένων, η οποία διενεργείται με σεβασμό προς τις βασικές αρχές προστασίας προσωπικών δεδομένων, σύμφωνα με τον Γενικό Κανονισμό για την Προστασία Προσωπικών Δεδομένων (ΕΕ) 2016/679 και τον Ν. 4624/2019, ήτοι της νομιμότητας, αντικειμενικότητας και διαφάνειας της επεξεργασίας, του περιορισμού του σκοπού της επεξεργασίας, της ελαχιστοποίησης των δεδομένων, της ακρίβειας αυτών, του περιορισμού της περιόδου αποθήκευσης, της ακεραιότητας και εμπιστευτικότητας και, τέλος, της λογοδοσίας.

Υπεύθυνος επεξεργασίας:

Το Πανεπιστήμιο είναι Υπεύθυνος Επεξεργασίας των δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα που υπόκεινται σε επεξεργασία κατά τη συμμετοχή σας στην έρευνα και παραμένει στη

διάθεσή σας για οποιαδήποτε διευκρίνιση. Η διεύθυνση του Πανεπιστημίου είναι Αργοναυτών & Φιλελλήνων, Βόλος, Τ.Κ. 382 21, τηλ. επικ: 30 2421074000, ενώ μπορείτε να επικοινωνείτε και με τον Υπεύθυνο Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων του Πανεπιστημίου στην ηλεκτρονική διεύθυνση: dpo@uth.gr

Τι είδους προσωπικά δεδομένα επεξεργαζόμαστε και για ποιους σκοπούς:

Προβαίνουμε στην συλλογή και επεξεργασία δεδομένων που είναι απολύτως απαραίτητα για τους σκοπούς της έρευνας.

Νομική βάση της επεξεργασίας:

Ως προς τα προσωπικά δεδομένα που επεξεργάζεται το Πανεπιστήμιο στα πλαίσια του σκοπού της έρευνας, η νομική βάση της επεξεργασίας τους είναι πως η επεξεργασία είναι απαραίτητη για την εκπλήρωση καθήκοντος που εκτελείται προς το δημόσιο συμφέρον ή την άσκηση δημόσιας εξουσίας που έχει ανατεθεί στο Πανεπιστήμιο. Ως προς τα δεδομένα ειδικών κατηγοριών η νομική βάση της επεξεργασίας των εν λόγω δεδομένων είναι πως η επεξεργασία τους είναι απαραίτητη για την εκπλήρωση του σκοπού της επιστημονικής έρευνας ή για στατιστικούς σκοπούς αλλά και του σκοπού της αρχειοθέτησης προς το δημόσιο συμφέρον που επιδιώκει το Πανεπιστήμιο.

Η Ασφάλεια των δεδομένων σας:

Δεσμευόμαστε ότι έχουμε λάβει κατάλληλα οργανωτικά και τεχνικά μέτρα για την ασφάλεια και την προστασία των δεδομένων σας από κάθε μορφής τυχαία ή αθέμιτη επεξεργασία. Σημειώνεται ότι το ειδικά εξουσιοδοτημένο προσωπικό μας, το οποίο επεξεργάζεται τα προσωπικά σας δεδομένα, έχει λάβει την κατάλληλη εκπαίδευση, καθοδήγηση και ενημέρωση.

Ποιοι έχουν πρόσβαση στα προσωπικά σας δεδομένα:

Πρόσβαση στα προσωπικά σας δεδομένα έχει το απολύτως απαραίτητο ερευνητικό προσωπικό του Πανεπιστημίου, το οποίο έχει δεσμευτεί με τήρηση της εχεμύθειας, της εμπιστευτικότητας και του απορρήτου. Πρόσβαση στα προσωπικά σας δεδομένα έχουν και τα συνεργαζόμενα με το Πανεπιστήμιο φυσικά ή νομικά πρόσωπα, τα οποία επεξεργάζονται τα δεδομένα σας ως Εκτελούντες την Επεξεργασία υπό τις ρητές εντολές

του Πανεπιστημίου και υπό την εγγύηση λήψης όλων των κατάλληλων τεχνικών και οργανωτικών μέτρων για την προστασία των δεδομένων σας.

Η περίοδος αποθήκευσης των προσωπικών σας δεδομένων:

Τα προσωπικά σας δεδομένα διατηρούνται μόνο για το εύλογο χρονικό διάστημα που απαιτείται από τη φύση της επεξεργασίας των δεδομένων και μόνο για όσο απαιτείται προς επίτευξη του σκοπού αυτής, εκτός αν υφίσταται αντίθετη έννομη υποχρέωση προς περαιτέρω τήρησή τους.

Ως υποκείμενο των δεδομένων έχετε τα ακόλουθα δικαιώματα:

Δικαίωμα πρόσβασης στα προσωπικά σας δεδομένα

Δικαίωμα διόρθωσης ανακριβών δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα

Δικαίωμα διαγραφής/ δικαίωμα στη λήθη

Δικαίωμα φορητότητας των Δεδομένων σας

Δικαίωμα περιορισμού της επεξεργασίας

Δικαίωμα εναντίωσης στην επεξεργασία των δεδομένων σας

Πώς μπορείτε να ασκήσετε τα δικαιώματά σας:

Για να ελέγξετε ότι η έρευνά σας συμμορφώνεται με τις αρχές της Ηθικής, επισκεφθείτε τους ακόλουθους ιστότοπους αναφορικά στα παγκόσμια διεθνή πρότυπα:

Declaration of Helsinki of the World Medical Association (2013) and the Council for International Organizations of Medical Sciences' (CIOMS) International Ethical Guidelines for Biomedical Research Involving Human Subjects published in collaboration with the World Health Organization (2106). CIOMS and International Council for Laboratory Animal Science (2012) International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals.

Εάν επιθυμείτε να λάβετε περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με την επεξεργασία των προσωπικών σας δεδομένων ή να ασκήσετε οποιοδήποτε εκ των ανωτέρω δικαιωμάτων, μπορείτε να επικοινωνήσετε με τον Υπεύθυνο Προστασίας Προσωπικών Δεδομένων του Πανεπιστημίου στην ηλεκτρονική διεύθυνση: dpo@uth.gr Στην περίπτωση που: α) θεωρείτε πως δεν ικανοποιήθηκε επαρκώς και νομίμως κάποιο αίτημά σας ή β) θεωρείτε πως το δικαίωμα στην προστασία των προσωπικών σας δεδομένων προσβάλλεται από κάποια επεξεργασία που πραγματοποιούμε, έχετε δικαίωμα να υποβάλλετε καταγγελία

στην Αρχή Προστασίας Δεδομένων Προσωπικού Χαρακτήρα (ταχυδρομική δ/ση Κηφισίας 1-3, Τ.Κ. 115 23, Αθήνα, τηλ. 210 6475600, <https://www.dpa.gr/>, δ/ση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου contact@dpa.gr).

Παράρτημα Γ- Έντυπο συναίνεσης μετά από ενημέρωση

ΕΝΤΥΠΟ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗ

Ονοματεπώνυμο εθελοντή: _____

Ημερομηνία γέννησης: ____/____/____

Ιδιαιτερότητες εθελοντή – άλλες πληροφορίες:

Τίτλος Ερευνητικής Εργασίας: Διερεύνηση της επίδρασης της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας, στην παραγωγή μέγιστης εθελούσιας ισομετρικής σύσπασης, σε υγιή άτομα νεαρής ηλικίας

Προϊστάμενος ερευνητής - εισηγητής: Δρ Σάββας Σπανός

Φοιτητής - ερευνητής: Μικέλ Ρούσι

Επιβεβαιώνω ότι διάβασα και κατανόησα το “Έντυπο Ενημέρωσης Εθελοντή” στο οποίο αναφέρονται όλες οι λεπτομέρειες της μελέτης σήμερα την ____/____/202__ και ότι είχα την δυνατότητα να κάνω ερωτήσεις. ☐

Καταλαβαίνω ότι η συμμετοχή μου είναι εθελοντική και ότι είμαι ελεύθερος(-η) να αποσυρθώ από την έρευνα οποιαδήποτε στιγμή, ακόμη και μετά από την υπογραφή της παρούσας δήλωσης, χωρίς να δώσω εξηγήσεις για το λόγο της απόσυρσής μου και χωρίς αυτό να επηρεάζει το επίπεδο των υπηρεσιών από τον πάροχο υγείας. ☐

Συμφωνώ να συμμετάσχω εθελοντικά στην παρούσα ερευνητική εργασία. ☐

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

Δηλώνω υπεύθυνα ότι ασκώ την επιμέλεια του ανήλικου τέκνου μου και έχω τη συναίνεση κάθε τυχόν συνασκούντος την επιμέλεια αυτή και επιθυμώ τον παραπάνω προγραμματισμό συνεδριών φυσικοθεραπείας του τέκνου μου ☐ (αναφέρεται στην περίπτωση που ο συμμετέχων είναι ανήλικος).

Ονοματεπώνυμο & Υπογραφή (του γονέα αν πρόκειται για ανήλικο)

Ημερομηνία:

___/___/202___

Η ερευνητική εργασία είναι εγκεκριμένη από την Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας του Τμήματος Φυσικοθεραπείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (αριθμ. πρωτ. XXX, XX/XX.X.202X1).

Το παρόν περιέχει εμπιστευτικές πληροφορίες και φυλάσσεται στο αρχείο των ερευνητών.

¹ Ο αριθμός πρωτοκόλλου σημειώνεται μετά την έγκριση από την Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας.

Δήλωση και υποχρεώσεις του υπεύθυνου ερευνητή - μεταπτυχιακού φοιτητή:

Έχω εξηγήσει τη διαδικασία της έρευνας στον συμμετέχοντα (ασθενή). Έχω πληροφορήσει τον συμμετέχοντα 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 η μελέτη, 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 της έρευνας μπορεί να επικοινωνήσει με τον υπεύθυνο ερευνητή στο τηλέφωνο: 6984042294

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 ερευνητή – φοιτητή:

___/___/202___

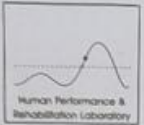
Ημερομηνία:

Ονοματεπώνυμο - Ιδιότητα

Το παρόν δόθηκε στον συμμετέχοντα; ☐ Ναι ☐ Όχι

Παράρτημα 'Δ- Αφίσα για την αναζήτηση εθελοντών όπως αναρτήθηκε σε κοινόχρηστους χώρους στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επιβλέπων: Δρ Σάββας Σπανός
Αναπληρωτής Καθηγητής



**Πρόσκληση για συμμετοχή σε Ερευνητική Μελέτη του
Εργαστηρίου «Ανθρώπινης Δραστηριότητας και
Αποκατάστασης»**



> Θέλετε να λάβετε μέρος σε μια ισοκινητική δυναμομέτρηση?
 > Θέλετε να αξιολογήσετε τη μυϊκή δύναμη του 4/κεφάλου σας,
 ενισχυμένη με Ηλεκτρικό Μυϊκό Ερεθισμό (EMS)?

Τότε σας καλούμε να συμμετάσχετε στην έρευνά μας!

Πληροφορίες:
Μικέλ Ρούσι
τηλ. 6984042294
mrusi@uth.gr

Επιβλέπων:
Δρ Σάββας Σπανός
Αναπληρωτής Καθηγητής

Παράρτημα Έ- Ερωτηματολόγιο Short International Physical Activity Questionnaire

- 1 -

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.

- 2 -

3. Κατά τις τελευταίες 7 ημέρες, πόσες ημέρες κάνατε κάποια μέτρια σωματική δραστηριότητα, όπως το να σηκώσετε και να μεταφέρετε ελαφρά βάρη (λιγότερο από 10 κιλά), συνολική καθαριότητα του σπιτιού, ήπιες ρυθμικές ασκήσεις σώματος, ποδηλασία αναψυχής με χαμηλή ταχύτητα, χαλαρή 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.

Παράρτημα Ή- Κλίμακα BORG αξιολόγησης της ανοχής στο ρεύμα

77

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