

Οι επιπτώσεις της προπόνησης με νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση στην ισοκινητική ροπή κατά την έκταση του γόνατος και στην αλτική ικανότητα

Θ. Καννάς, Ι. Γ. Αμοιρίδης, Χ. Μάμμος, Ε. Γιανναδάκης

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Σερρών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα

Αλληλογραφία: Ιωάννης Γ. Αμοιρίδης, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Άγιος Ιωάννης, 62110 Σέρρες, Ελλάδα • τηλ: 23210 67612, 2310 991058 • Fax: 23210 64806 • E-mail: jamoirid@phed.auth.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα μέσα του 18ου αιώνα η μυϊκή λειτουργία εξαιτίας εξωτερικού ηλεκτρικού ερεθισμού ή όπως ονομάστηκε, η ΝευροΜυϊκή Ηλεκτρική Διέγερση (ΝΜΗΔ) χρησιμοποιήθηκε για φυσιοθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ κατά το 19ο αιώνα χρησιμοποιήθηκε για γρήγορη αποκατάσταση μετά από τραυματισμό καθώς και για τη μείωση της ατροφίας. Η έρευνα του Kotz (1971) ήταν η πρώτη που ασχολήθηκε με την εφαρμογή της ΝΜΗΔ σε αθλητές και είχε ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Πραγματοποιήθηκε στη Σοβιετική Ένωση και αναφέρει ότι ένα πρόγραμμα προπόνησης (19 συνεδρίες, 10 μέγιστες εκούσιες συστολές με ΝΜΗΔ, διάρκειας 10 sec και διάλειμμα 50 sec) με υψηλής συχνότητας ρεύματα προκάλεσε αξιοσημείωτη αύξηση (38%) στη δύναμη του δικέφαλου βραχιονίου. Η ιδέα εφαρμογής ηλεκτρικής διέγερσης σε υγιείς μυς, ως συμπληρωματικό μέσο προπόνησης, αντιμετωπίστηκε με σκεπτικισμό αφού μεταγενέστερες έρευνες έδειξαν

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθούν οι επιπτώσεις της ΝευροΜυϊκής Ηλεκτρικής Διέγερσης (ΝΜΗΔ) στη ροπή και την ηλεκτρομυογραφική (ΗΜΓ) δραστηριότητα των εκτεινόντων του γόνατος κατά την ισοκίνηση καθώς και την αλτική ικανότητα. Τριανταέξι φοιτητρίες του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Σερρών χωρίστηκαν σε πειραματική ομάδα (n= 18, 19.5+1.5έτη, 60.84+6.12kg, 165.05+6.25cm) και την ομάδα ελέγχου (n= 18, 20.5+2έτη, 62.46+5.28kg, 168.45+3.54cm). Η πειραματική ομάδα προπονήθηκε 4 εβδομάδες (14 συνεδρίες, 3-4 συνεδρίες/εβδ.) με ΝΜΗΔ στους Έσω (ΕσΠ) και Έξω Πλάτυ (ΕΞΠ). Πριν και μετά την προπόνηση οι δύο ομάδες υποβλήθηκαν σε ισοκινητική αξιολόγηση κατά την έκταση του γόνατος καθώς και σε αξιολόγηση της αλτικής ικανότητας σε δυναμοδάπεδο (Kistler, 9281C). Η ισοκινητική μέτρηση περιελάμβανε 6 σύγκεντρες και 4 έκκεντρες ταχύτητες. Η μέτρηση της αλτικής ικανότητας περιελάμβανε 3 μέγιστα άλματα από ημικάθισμα (squat jump), με αντίθετη κίνηση (counter movement jump) και άλματα βάθους (drop jump) από 20, 40 και 60 cm. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, μετά την προπόνηση, η παραγόμενη ροπή και η ΗΜΓ δραστηριότητα των ΕσΠ και ΕΞΠ κατά την έκταση του γόνατος αυξήθηκαν σημαντικά (p<0.05) σε όλες τις έκκεντρες γωνιακές ταχύτητες. Το ύψος του άλματος από ημικάθισμα βελτιώθηκε σημαντικά (p<0.05) μετά την προπόνηση. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι η ηλεκτροδιέγερση βραχυπρόθεσμα μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της μέγιστης δύναμης, της δραστηριοποίησης των εκτεινόντων του γόνατος καθώς και ορισμένες μορφές αλτικής ικανότητας.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτροδιέγερση, τετρακέφαλος, ισοκίνηση, αλτική ικανότητα, ηλεκτρομυογράφημα.

Key words: Electrical Muscle Stimulation, Quadriceps, isokinetics, electromyography

ότι τα αποτελέσματα δεν ήταν πάντα τα αναμενόμενα ή θετικά. Ο Selkowitz (1985) κατέγραψε σημαντική αύξηση (44%) στη δύναμη των τετρακέφαλων, εφαρμόζοντας 10 εκούσιες συστολές με ΝΜΗΔ διάρκειας 10 sec και διάλειμμα 100 sec για 19 συνεδρίες.

Πιο πρόσφατα, οι Pichon et al. (1995), κατέδειξαν ότι οι αυξήσεις της ισοκινητικής δύναμης (24% στην έκκεντρη ταχύτητα των 60° sec⁻¹ και 27% στις γρήγορες σύγκεντρες) του πλατύ ραχιαίου συνοδεύονται από βελτιώσεις της αλτικής επίδοσης (σημαντική μεί-

ωση του χρόνου στα 25m ελεύθερο χωρίς πόδια, μείωση του χρόνου στα 50m ελεύθερο καθώς και αύξηση στο μήκος χειριάς κατά 0.05m).

Στην αντίθετη κατεύθυνση κινούνται τα αποτελέσματα που παρουσιάζουν στην έρευνα τους οι Davies et al. (1985). Σαράντα συνεδρίες (80 εκούσιες συστολές των 10 sec ανά συνεδρία, με διάλειμμα 20 sec, συχνότητα ρεύματος 60 Hz,) οδήγησαν σε μείωση της δύναμης των τετρακέφαλων κατά 11%. Οι διαφορετικές συνθήκες (μυϊκές ομάδες, τύπος παλμού, συχνότητα ρεύματος, διάρκεια και ένταση διέγερσης, διάρκεια προπονητικής διαδικασίας) υπό τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μελέτες, μπορούν εν μέρει να δικαιολογήσουν κάποια από τα αντιφατικά αποτελέσματα. Η διχογνωμία που υπάρχει ανάμεσα στους ερευνητές, καθώς και οι ενδείξεις ότι η NMHD μπορεί να ενεργοποιήσει τις Κινητικές Μονάδες (ΚΜ) με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που γίνεται κατά την εκούσια συστολή, καθιστά την ενασχόληση με αυτήν πολύ ενδιαφέρουσα. Κατά τη διάρκεια μιας εκούσιας συστολής, όσο γρήγορη και αν είναι αυτή, οι αργές ΚΜ στρατολογούνται πριν από τις γρήγορες, σύμφωνα με την αρχή του μεγέθους (Henneman 1965). Κατά τη NMHD, ο τρόπος με τον οποίο διεγείρονται οι ΚΜ φαίνεται να προκαλεί αντιστροφή στην στρατολόγησή τους (Hainaut and Duchateau 1992, Enoka 1988).

Σε μια πρόσφατη έρευνα των Maffiuletti et al. (2000), αθλητές καλαθοσφαίρισης αύξησαν σημαντικά την ισοκινητική δύναμη στις έκκεντρες (33%) και στις γρήγο-

ρες σύγκεντρες (36%) ταχύτητες. Η αλκική ικανότητα των αθλητών βελτιώθηκε μόνο στο άλμα από ημικάθισμα. Η επίδοση στο άλμα με αντίθετη κίνηση δεν παρουσίασε καμία μεταβολή αμέσως μετά το τέλος της προπόνησης ενώ μεταγενέστερες μετρήσεις έδειξαν ότι βελτιώθηκε σημαντικά 4 εβδομάδες μετά το τέλος της ηλεκτροδιέγερσης. Στην παραπάνω έρευνα δεν ελέγχθηκαν οι επιπτώσεις της προπόνησης με NMHD στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των εκτεινόντων του γόνατος καθώς και η συμπεριφορά των ανταγωνιστών τους.

Ο σκοπός της έρευνας μας ήταν να καθορίσουμε τις επιδράσεις που έχει η προπόνηση με NMHD στην παραγόμενη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων του γόνατος καθώς και στην ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητά τους. Επιπλέον εξετάστηκε αν η συγκεκριμένη προπόνηση επιφέρει μεταβολές στην αλκική ικανότητα.

Υλικό και Μέθοδος

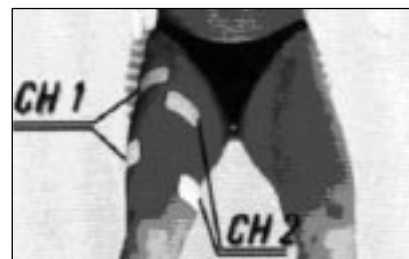
Συμμετέχοντες

Τριαντάξι φοιτήτριες του ΤΕΦΑΑ Σεργίων χωρίστηκαν τυχαία σε 2 ομάδες των 18, την πειραματική ομάδα (ηλικία: 19.5+1.5 έτη, μάζα: 60.8+6.1kg, ύψος: 165.1+6.3cm) και την ομάδα ελέγχου (ηλικία: 20.5+2έτη, μάζα: 62.5+5.3kg, ύψος: 168.4+3.6cm).

Καμία από τις φοιτήτριες δε συμμετείχε σε συστηματική προπονητική διαδικασία τους τελευταίους 12 μήνες πριν την έναρξη του πειραματικού πρωτοκόλλου. Κανένα ιστορικό τραυματισμού στο γόνατο και την ποδοκνημική δεν αναφέρθηκε.

Προπόνηση NMHD

Μία εβδομάδα πριν την έναρξη της προπόνησης η πειραματική ομάδα συμμετείχε σε δύο συνεδρίες με σκοπό να εξοικειωθεί με την εκτέλεση μέγιστων ισομετρικών συστολών με NMHD (Myo 4, Cefar, Sweden). Η προπόνηση (προθέρμανση: 5 min, κύριο μέρος: 15 min, αποθεραπεία: 5 min) πραγματοποιούνταν σε μηχάνημα έκτασης τετρακέφαλου με την άρθρωση του γόνατος σταθεροποιημένη σε γωνία 65° (0° αντιστοιχούν στην πλήρη έκταση) και το ισχίο σε γωνία 110°. Για τη μέγιστη διέγερση του Έσω (Εσω) και Έξω Πλατύ



Εικόνα 1: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων κατά την προπόνηση με NMHD (CH1: Έξω πλατύς μυς, CH2: Έσω πλατύς μυς)

(ΕξΠ) του κάθε κάτω άκρου χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα ηλεκτρόδια (50x90mm) εκ των οποίων το θετικό τοποθετήθηκε στη γαστέρα του μυός και το αρνητικό όσο πιο κοντά στον εκφυτικό τένοντα της κάθε κεφαλής (Εικόνα 1).

Κατά τη διάρκεια της προπόνησης χρησιμοποιήθηκαν συμμετρικοί, ορθογώνιοι, διφασικοί παλμοί διάρκειας 350-450μs και συχνότητας 60-80Hz. Η ένταση της διέγερσης (mA) προσδιοριζόταν πάντα από την ίδια τη συμμετέχουσα και κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης και αποθεραπείας δεν ξεπέρασε τα 30mA, ενώ στο κύριο μέρος κυμάνθηκε

από 40 μέχρι 90mA ανάλογα με την αγωγιμότητα της καθεμιάς. Η προπονητική διαδικασία διήρκεσε 4 εβδομάδες (3 συνεδρίες/εβδ). Προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί το προπονητικό ερέθισμα, ελέγχθηκε επανειλημμένα σε ειδικό δυναμόμετρο η παραγόμενη ισομετρική δύναμη κατά τη ΝΜΗΔ, η οποία και αντιστοιχούσε στο 75% της Μέγιστης Εκούσιας Ισομετρικής Δύναμης.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Ισοκινητική δυναμομετρία

Η δύναμη αξιολογήθηκε με ισοκινητικό δυναμόμετρο (Cybex Norm, NY, USA). Οι συμμετέχουσες εξοικειώθηκαν με την πειραματική διαδικασία μια εβδομάδα πριν την έναρξη του πειράματος. Η διαδικασία αποτελούνταν από 8 min ζέσταμα (10χλμ/ώρα σε διάδρομο), 10 min διατάσεις κυρίως των καμπτήρων και εκτεινόντων του γόνατος καθώς και 3 υπομέγιστες προσπάθειες σε κάθε γωνιακή ταχύτητα. Η δοκιμασία περιελάμβανε 3 μέγιστες εκτάσεις του γόνατος σε 6 σύγκεντρες (30, 60, 120, 180, 240, 300°. sec⁻¹) και 4 έκκεντρες (30, 60, 120, 180°.sec⁻¹) ταχύτητες. Το διάλειμμα μεταξύ των προσπαθειών ήταν 3 min και η σειρά εκτέλεσης ήταν τυχαία. Η τοποθέτηση της κάθε συμμετέχουσας στο ισοκινητικό δυναμόμετρο έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης του Cybex Norm (Cybex Multi-Joint System Manual). Σύμφωνα με αυτές κατά την ισοκινητική αξιολόγηση τα χέρια τοποθετήθηκαν σταυρωτά μπροστά στο στήθος για να ελαχιστοποιηθεί η συνεισφορά επιπρόσθετων μυϊκών

ομάδων στη παραγόμενη ροπή και η θέση του καθίσματος τοποθετήθηκε σε τέτοια θέση ώστε η γωνία του ισχίου να είναι 110°. Όλες οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν την ίδια ώρα της ημέρας και κάτω από τις ίδιες συνθήκες πριν και μετά την προπόνηση.

Ηλεκτρομυογραφία (ΗΜΓ)

Η ΗΜΓ δραστηριότητα των μυών καταγράφηκε κατά την ισοκινητική αξιολόγηση. Για την καταγραφή και αξιολόγηση της ενεργοποίησης των αγωνιστών και ανταγωνιστών χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρομυογράφος Biopac MP 100 (Biopac Systems, Inc., Goleta, CA, USA). Χρησιμοποιήθηκαν 3 διπολικά ηλεκτρόδια επιφανείας (3cm απόσταση κέντρο με κέντρο) από χλωριούχο άργυρο (Motion Control, IOMED-Inc, USA) που τοποθετήθηκαν στους μύες ΕοΠ και ΕξΠ καθώς και το Δικέφαλο Μηριαίο (ΔΜ). Τα σημεία που τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρόδια πάνω στους μύες σημειώθηκαν με ανεξίτηλο μελάνι για να τοποθετηθούν στο ίδιο ακριβώς σημείο στη 2η μέτρηση. Το δέρμα προετοιμάστηκε και καθαρίστηκε με αλκοόλ και αιθέρα ώστε να αυξηθεί η αγωγιμότητα (αντίσταση <1000Ω). Το σήμα του ΗΜΓ καταγραφόταν και αποθηκευόταν ταυτόχρονα με τη παραγόμενη ροπή, σε υπολογιστή που περιείχε κάρτα μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (12-bit A/D card), με συχνότητα δειγματοληψίας 1 kHz. Το σήμα του ΗΜΓ ενισχύθηκε επί 1000 και τέθηκε όριο καταγραφής συχνότητων από 10 - 500Hz (καλύπτοντας τις συχνότητες που αντιστοιχούν

σε αυτές του ανθρώπινου σώματος, Winter 1990), όπου με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή έγινε η ανόρθωση (απόλυτη τιμή) του σήματος και υπολογίστηκε το ολοκλήρωμα του. Το ανορθωμένο σινιάλο φιλτράριστηκε μέσω του ψηφιακού φίλτρου που εμπεριέχεται στον ηλεκτρομυογράφο Biopac MP 100. Σύμφωνα με τον Winter (1990) εάν η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι προσεκτική και γίνεται ακριβώς στο ίδιο σημείο κάθε φορά, τότε το ΗΜΓ από ξεχωριστές μυϊκές ομάδες δεν επηρεάζεται από το θόρυβο άλλων μυϊκών ομάδων, για αυτό το λόγο δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην τυποποίηση της διαδικασίας.

Αλτική ικανότητα

Η αλτική ικανότητα αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας το τρισδιάστατο δυναμοδόπεδο Kistler (9281C, συχνότητα δειγματοληψίας 1000 Hz, Switzerland). Μετά από προθέρμανση περίπου 20 min (8 min τροχάδην με ταχύτητα 10χλμ/ώρα σε διάδρομο, 10' γενικές διατάσεις και 2 υπομέγιστα κάθετα άλματα σε κάθε συνθήκη), οι συμμετέχουσες εκτελούσαν με τυχαία σειρά 3 μέγιστα άλματα στις εξής συνθήκες: από ημικάθισμα (squat jump), με αντίθετη κίνηση (countermovement jump) και άλματα βάθους (drop jump) από 20, 40, 60cm αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια των αλμάτων, τα χέρια διατηρούνταν στη μέση για να ελαχιστοποιηθεί η συνεισφορά τους στη τελική επίδοση. Κατά την αξιολόγηση, η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης (Fz) καταγραφόταν για την ανάλυση.

Ανάλυση δεδομένων

Η προσπάθεια με την καλύτερη επίδοση αναλύθηκε τόσο στην ισοκινητική αξιολόγηση όσο και στην αξιολόγηση της αλτικής ικανότητας. Για την ισοκινητική αξιολόγηση των εκτεινόντων και καμπτήρων του γόνατος χρησιμοποιήθηκε η παραγόμενη ροπή σε σταθερή γωνία γόνατος 65°. Η επιλογή της συγκεκριμένης γωνίας στηρίχθηκε στον καθορισμό της σχέσης ροπή/γωνιακή θέση και έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες δημοσιεύσεις (Amiridis et al. 1996, Narici et al. 1988). Κατά την ισοκινητική αξιολόγηση, τα σήματα αναλύθηκαν για ένα εύρος κίνησης 70° (10° από την αρχή και το τέλος της κίνησης αφαιρέθηκαν προκειμένου να αναλυθεί μόνο η ισοκινητική λειτουργία των μυών). Υπολογίστηκε το έμβαδο του ηλεκτρομυογραφικού σήματος που περικλείεται από το γραμμικό περιγράμμα που συνδέει τις κορυφώσεις του σήματος το οποίο ανορθώθηκε και ποσοτικοποιήθηκε ανά 0.05sec:

$$RMS = \frac{1}{T} \int_{t_0 - T/2}^{t_0 + T/2} P(t) dt$$

$$P(t) = \frac{1}{T} \int_{t_0 - T/2}^{t_0 + T/2} (EMG) dt$$

όπου RMS= έμβαδόν ΗΜΓ, P(t)= ισχύς του σήματος, T= ο χρόνος κοπής.

Η ομαλοποίηση του σήματος διεξήχθη χρησιμοποιώντας το έμβαδόν της ΗΜΓ δραστηριότητας κατά τη μέγιστη σύγκεντρη λειτουργία στις 30°.sec⁻¹ όταν ο μύς λειτουργούσε ως αγωνιστής.

Κατά την αξιολόγηση της αλτικής ικανότητας καταγραφόταν η κάθετη συνιστώσα της δύναμης

(Fz). Το καλύτερο άλμα σε κάθε συνθήκη χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων. Το ύψος του άλματος υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ταχύτητα απογείωσης (ολοκλήρωμα της θετικής φάσης εφαρμογής της δύναμης) και τον τύπο $h = \frac{VBCOM^2}{2g}$

$$VBCOM = \frac{\int F_z dt}{M}$$

$$h = \frac{VBCOM^2}{2g}$$

όπου h= ύψος άλματος, VBCOM = ταχύτητα του κέντρου μάζας σώματος, g= επιτάχυνση της βαρύτητας, Fz= κατακόρυφη δύναμη του άλματος, M=μάζα σώματος.

Στατιστική ανάλυση

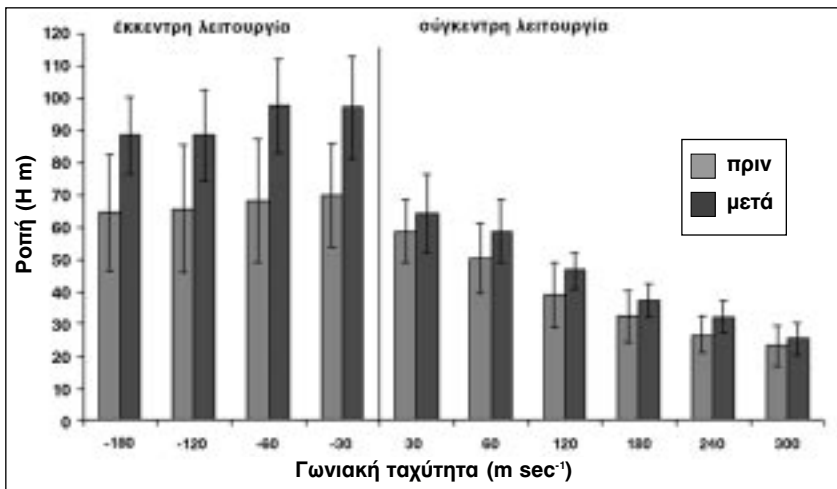
Οι στατιστικές τεχνικές ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις. Ο πειραματικός σχεδιασμός της έρευνας ήταν 2X2. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε

για να καθοριστεί η επίδραση της προπόνησης με ΝΜΗΔ και η αξιοπιστία των μετρήσεων στις εξαρτημένες μεταβλητές. T-test για ανεξάρτητες ομάδες χρησιμοποιήθηκε για να αναλυθούν οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων των μεταβλητών για τις δύο ομάδες. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο p<0.05 για όλες τις διαδικασίες.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

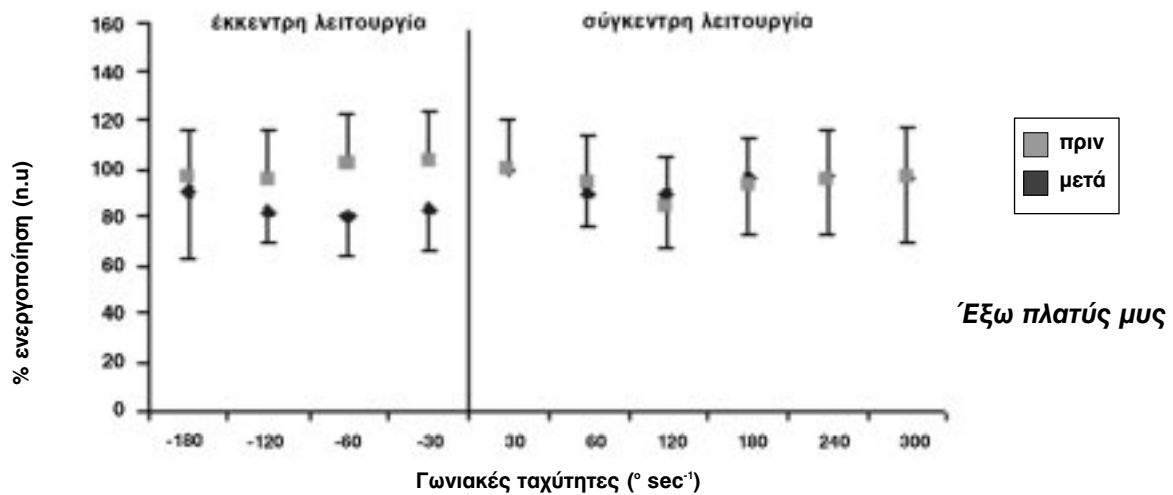
Ισοκινητική δυναμομετρία

Η ΝΜΗΔ αύξησε σημαντικά (p<0.05) την παραγόμενη ισοκινητική ροπή στις έκκεντρες γωνιακές ταχύτητες μετά την προπόνηση 4 εβδομάδων. Οι ποσοστιαίες αυξήσεις ήταν 37, 34, 43, και 39% στις ταχύτητες 180, 120, 60, και 30°.sec⁻¹ αντίστοιχα (Σχήμα 1). Αντίθετα καμία σημαντική βελτίωση δεν παρατηρήθηκε στις σύγκεντρες ταχύτητες. Μετά την προπόνηση, καμία σημαντική διαφοροποίηση δεν καταγράφηκε στη παραγόμενη ροπή κατά την κάμψη του γόνατος σε κανένα από

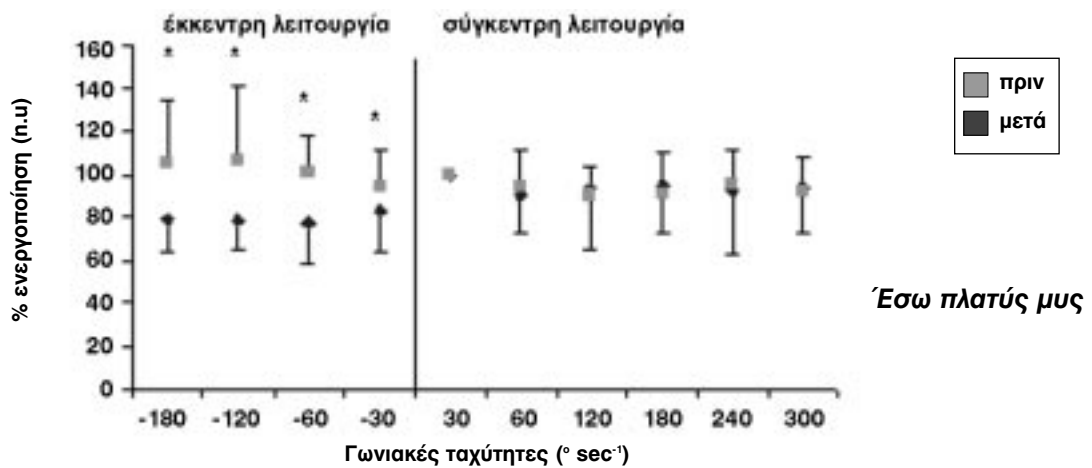


Σχήμα 1: Οι μέσες τιμές (±SD) της ισοκινητικής ροπής κατά την έκταση του γόνατος πριν και μετά από προπόνηση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης διάρκειας 4 εβδομάδων (*: p<0.05).

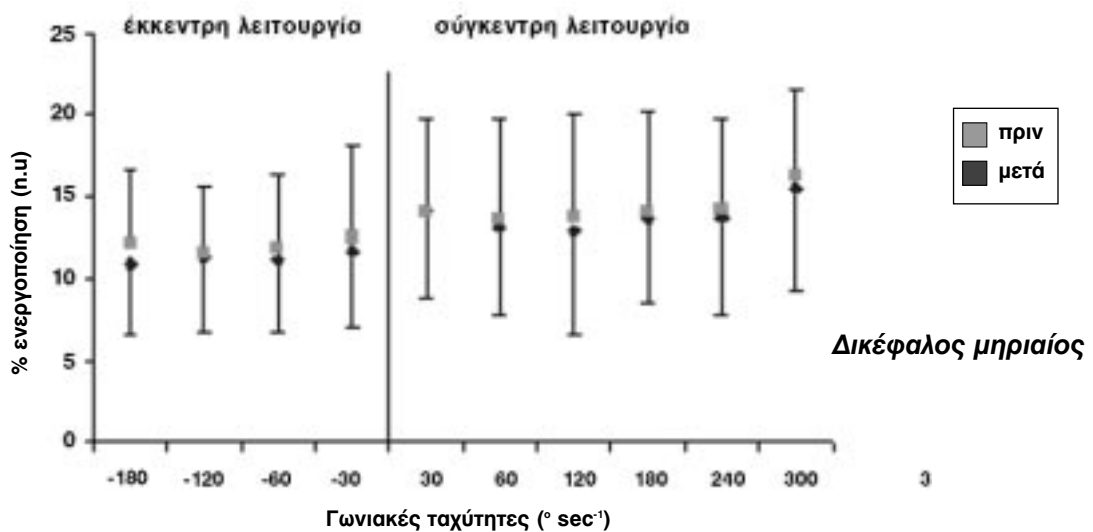
Α.



Β.



Γ.



Σχήμα 2. Οι μέσες τιμές (\pm SD) ομαλοποιημένης ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των εκτεινόντων (αγωνιστών) και καμπτήρων (ανταγωνιστών) του γόνατος (A: έξω πλατύς, B: έσω πλατύς και Γ: δικέφαλος μηριαίος) μετά την προπόνηση NMHD διάρκειας 4 εβδομάδων (*: $p < 0.05$).

| Γων. | Πειραματική ομάδα | | | | Ομάδα ελέγχου | | | | F-ratio | P |
|------|-------------------|------|------|------|---------------|------|------|------|---------------|-------|
| | Πριν | | Μετά | | Πριν | | Μετά | | | |
| Ταχ. | ροπή | ±SD | ροπή | ±SD | ροπή | ±SD | Ροπή | ±SD | | |
| -180 | 64.4 | 18.1 | 88.4 | 11.9 | 63.5 | 18.1 | 63.9 | 17.7 | F(1,36)=49.6 | 0.001 |
| -120 | 65.6 | 19.8 | 88.4 | 14.2 | 64.9 | 19.2 | 66.8 | 16.1 | F(1,36)=35.6 | 0.001 |
| -60 | 68.1 | 19.4 | 97.6 | 14.5 | 69.0 | 19.1 | 69.7 | 16.7 | F(1,36)=43.9 | 0.001 |
| -30 | 69.7 | 16.0 | 97.0 | 15.8 | 68.9 | 16.0 | 70.5 | 15.8 | F(1,36)=114.5 | 0.001 |
| 30 | 58.7 | 10.0 | 64.1 | 12.1 | 59.3 | 9.8 | 62.2 | 9.9 | F(1,36)=3.7 | 0.082 |
| 60 | 50.3 | 11.0 | 58.7 | 10.0 | 51.3 | 10.7 | 54.1 | 11.3 | F(1,36)=3.6 | 0.065 |
| 120 | 39.0 | 10.2 | 39.0 | 5.7 | 40.3 | 10.2 | 43.3 | 10.2 | F(1,36)=3.1 | 0.084 |
| 180 | 32.2 | 8.0 | 37.3 | 5.3 | 33.0 | 9.1 | 37.0 | 9.1 | F(1,36)=0.5 | 0.467 |
| 240 | 26.5 | 5.6 | 32.0 | 5.0 | 27.3 | 5.8 | 29.7 | 5.9 | F(1,36)=3.3 | 0.075 |
| 300 | 23.0 | 6.2 | 25.3 | 5.1 | 24.1 | 6.5 | 25.4 | 6.0 | F(1,36)=3.7 | 0.063 |

Πίνακας 1. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της πειραματικής ομάδας και ομάδας ελέγχου.

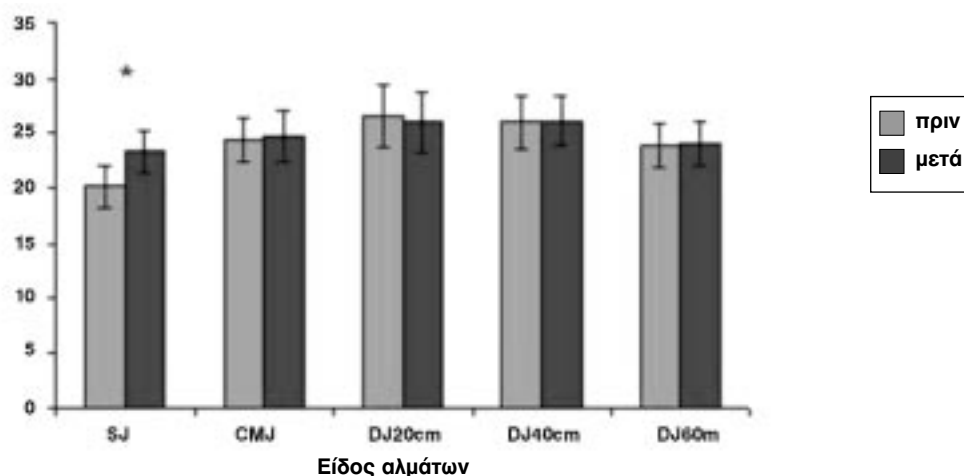
τους δύο τύπους μυϊκής λειτουργίας.

Επίσης, καμία μεταβολή της παραγόμενης ισοκινητικής ροπής δεν καταγράφηκε στην ομάδα ελέγχου.

Η ΝΜΗΔ αύξησε επίσης σημα-

ντικά ($p < 0.05$) την ΗΜΓ δραστηριότητα στις έκκεντρες γωνιακές ταχύτητες μετά την προπόνηση 4 εβδομάδων. Οι ποσοστιαίες αυξήσεις ήταν 16, 27 και 25% για τον ΕξΠ και 35, 30 και 14% για

τον ΕσΠ στις γωνιακές ταχύτητες 120, 60 και 30°.sec-1 (σχήμα 3). Επιπλέον η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα του ΕσΠ αυξήθηκε σημαντικά (33%) και στη γωνιακή ταχύτητα των 180°.sec-1



Σχήμα 3. Οι μέσες τιμές ($\pm SD$) του ύψους αλμάτων πριν και μετά την προπόνηση ΝΜΗΔ 4 εβδομάδων (SJ= squat jump, άλμα από ημικάθισμα, CMJ=counter movement jump, άλμα με αντίθετη κίνηση, DJ=drop jump, άλμα βάθους (*: $p < 0.05$))

κατά την έκκεντρη λειτουργία. Αντίθετα καμιά σημαντική αύξηση δεν παρατηρήθηκε στις σύγκεντρες ταχύτητες. Αναφορικά με την συνενεργοποίηση των ανταγωνιστών μυών, δε διαπιστώθηκε καμιά σημαντική μεταβολή μετά την προπόνηση με ΝΜΗΔ (Σχήμα 2).

Αλτική ικανότητα

Η επίδοση στο άλμα από ημικάθισμα αυξήθηκε κατά 16% ($p < 0.05$) μετά από την προπόνηση ΝΜΗΔ 4 εβδομάδων. Αντίθετα καμιά μεταβολή δεν παρατηρήθηκε στις υπόλοιπες συνθήκες της αλτικής ικανότητας (Σχήμα 3). Επίσης καμιά διαφοροποίηση δεν καταγράφηκε στην αλτική ικανότητα της ομάδας ελέγχου.

Συζήτηση

Η προπόνηση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης έρευνας οδήγησε σε σημαντική αύξηση της έκκεντρης ισοκινητικής ροπής. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με όσα έχουν καταγραφεί σε προηγούμενες έρευνες επιβεβαιώνοντας ότι ένα σύντομο πρόγραμμα νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης μπορεί να επιφέρει αύξηση της δύναμης (Martin et al. 1993, Pichon et al. 1998).

Οι αυξήσεις που καταγράφηκαν στην παραγόμενη ροπή κατά την έκκεντρη λειτουργία μπορούν να ερμηνευτούν μέσω της επιλεκτικής νευρικής προσαρμογής των γρήγορων κινητικών μονάδων που προκαλεί η νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση. Σύμφωνα με τους Nardone et al. (1989), οι μυϊκές ίνες ΙΙβ στρατολογούνται

κατά προτίμηση και επιλεκτικά κατά τη διάρκεια της έκκεντρης λειτουργίας. Οι παραπάνω ερευνητές εξέτασαν τη συμπεριφορά των ΚΜ του υποκνημίδιου και του δικέφαλου γαστροκνήμιου κατά την έκκεντρη και σύγκεντρη μυϊκή λειτουργία. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι κατά την έκκεντρη λειτουργία του μυός στρατολογούνταν ΚΜ που δεν στρατολογήθηκαν σε καμία άλλη περίπτωση. Τα παραπάνω αποτελέσματα συνδυάστηκαν με τα ηλεκτρομυογραφικά δεδομένα των συγκεκριμένων ΚΜ καθώς και την αντίδραση τους στη κόπωση, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για τις ΚΜ που έχουν υψηλό κατώφλι διεγερσιμότητας και αποτελούνται από ίνες ταχείας συστολής.

Κατά τη διάρκεια της νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης, οι γρήγορες κινητικές μονάδες στρατολογούνται επίσης κατά προτίμηση και επιλεκτικά (Feiereisen et al. 1997), σε αντίθεση με την ηθελημένη συστολή όπου η σειρά στρατολόγησης ακολουθεί την «αρχή του μεγέθους» του Henneman (1965). Τρεις φαίνεται να είναι οι βασικοί παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την επιλεκτική στρατολόγηση των γρήγορων κινητικών μονάδων κατά την νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση:

I. Η διάμετρος του νευράξονα που καθορίζει το κατώφλι διεγερσιμότητας της κινητικής μονάδας. Κατά την εκούσια λειτουργία, οι κινητικές μονάδες ενεργοποιούνται από το συναπτικό ρεύμα που εισέρχεται από τον κινητικό νευρώνα. Αυτό έχει σαν συνέπεια να διεγείρονται ευκολότερα οι αργές κινητικές μονάδες, αφού

χρειάζονται μόνο ένα μικρό φορτίο εκπόλωσης σε σχέση με τις γρήγορες κινητικές μονάδες. Σε αντίθεση, κατά τη διάρκεια της ηλεκτροδιέγερσης, το φορτίο εφαρμόζεται εξωκτωαριικά, στις τελικές νευρικές πλάκες, με αποτέλεσμα οι γρήγορες κινητικές μονάδες που έχουν μικρό κατώφλι διεγερσιμότητας να ενεργοποιούνται πιο γρήγορα (Hainaut et al. 1992).

II. Η απόσταση μεταξύ του ενεργού ηλεκτροδίου και του νευράξονα που διαπερνά η ώση. Κατά την ηλεκτροδιέγερση, η ηλεκτρική ώση παράγεται από ηλεκτρόδιο, το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο στο δέγμα. Οι γρήγορες κινητικές μονάδες, που έχουν μεγάλη διάμετρο νευράξονα, βρίσκονται συνήθως τοποθετημένες στην εξωτερική στοιβάδα των μυών (Lexell et al. 1983), με αποτέλεσμα η απόσταση μεταξύ αυτών και του ηλεκτροδίου να είναι η μικρότερη δυνατή.

III. Τέλος, η ενεργοποίηση των δερμικών αισθητικών υποδοχέων και η επίδραση τους στο φορτίο του νευράξονα, ενισχύει ακόμα περισσότερο το φαινόμενο της αντιστροφής που παρατηρείται στην στρατολόγηση των κινητικών μονάδων κατά την ηλεκτροδιέγερση (Garnett and Stephens 1981).

Οι Colson et al. (2000), μετά από προπόνηση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης, κατέγραψαν σημαντική αύξηση στη δραστηριότητα του αγωνιστή δικέφαλου βραχιόνιου και τάση μείωσης στη δραστηριότητα του ανταγωνιστή τρικέφαλου βραχιόνιου. Σε ακόμη πιο πρόσφατη έρευνα, οι Maffiuletti et al. (2002) κατέγραψαν σημαντικά αυξημένη ηλεκτρο-

μυογραφική δραστηριότητα των πελματιαίων καμπτήρων μετά από προπόνηση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης διάρκειας 4 εβδομάδων και μη σημαντική μείωση της δραστηριότητας των ανταγωνιστών μυών (ομαλοποίηση ΗΜΓ σε σχέση με το Μ-κύμα). Στην παρούσα έρευνα, η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των εκτεινόντων του γόνατος αυξήθηκε σημαντικά μετά την προπόνηση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης αλλά μόνο κατά την έκκεντρη λειτουργία. Αυτή η αύξηση συμβαδίζει με την αύξηση της ροπής κατά την έκκεντρη λειτουργία. Φαίνεται λοιπόν ότι οι απροπόνητες φοιτήτριες πριν την προπόνηση, δεν ήταν ικανές να ενεργοποιήσουν μέγιστα τους μυς κατά την έκκεντρη λειτουργία. Αντίθετα μετά την προπόνηση, η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των αγωνιστών μυών αυξήθηκε σημαντικά, γεγονός που υποδηλώνει μεγαλύτερη ενεργοποίησή τους. Η παραπάνω διαπίστωση επιβεβαιώνει την ύπαρξη μηχανισμού ρύθμισης της μυϊκής τάσης που εξαρτάται άμεσα από την προπονητική κατάσταση του μυός. Η ρύθμιση της μυϊκής τάσης αφορά στην αντίδραση του νευρομυϊκού συστήματος, κατά την προσπάθεια του απροπόνητου ατόμου να παράγει μεγάλη τάση, και στόχο έχει να προστατεύσει τους μυς και τις αρθρώσεις.

Στην έρευνα των Amiridis et al. (1996), εφαρμόστηκαν ηλεκτρικές ώσεις κατά την ισοκίνηση που οδήγησαν σε αύξηση της παρα-

γόμενης ροπής στους απροπόνητους. Αντίθετα καμία μεταβολή δεν καταγράφηκε, όταν οι ίδιες ηλεκτρικές ώσεις εφαρμόστηκαν σε προπονημένα άτομα. Η αύξηση που καταγράφηκε ήταν σημαντικότερη στην έκκεντρη λειτουργία. Η έρευνα αυτή απέδειξε ότι, στα απροπόνητα άτομα, υπάρχει αναστολή της νευρικής διέγερσης ιδιαίτερα κατά την έκκεντρη λειτουργία, που έχει ως σκοπό τη προστασία του μυϊκού και ερειστικού ιστού.

Επίσης το γεγονός ότι ενώ η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των αγωνιστών μυών παραμένει σταθερή κατά τη σύγκεντρη λειτουργία, η παραγόμενη ροπή μειώνεται, έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τη κλασική αρχή της μηκοδυναμικής σχέσης του μυός. Η μείωση της παραγόμενης ροπής επιβεβαιώνει τη μείωση της νευρομυϊκής απόδοσης όταν ο μυς συσπάται γρήγορα, παρατήρηση που καταγράφηκε και σε προηγούμενες έρευνες (Seger and Thorstenson 1994).

Τα αποτελέσματα που αφορούν στην αλτική ικανότητα έδειξαν ότι η νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση επηρέασε την επίδοση μόνο στο άλμα από ημικάθισμα. Αυτό συμφωνεί με αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών που έδειξαν ότι η προπόνηση νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης αύξησε μόνο το άλμα από ημικάθισμα (Maffiuletti et al. 2000). Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές η νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση επιδρά άμεσα μόνο στις μορφές

του άλματος που σχετίζονται με τη μέγιστη δύναμη, όπως το άλμα από ημικάθισμα και στην ισομετρική δύναμη. Η αιτία είναι μάλλον το γεγονός ότι όλα τα άλματα, εκτός του άλματος από ημικάθισμα, αποτελούν εφαρμογή του κύκλου διάτασης- βράχυνσης και η νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση, ως ισομετρική προπόνηση, βελτιώνει τη μυϊκή δύναμη αλλά δεν αποτελεί ειδική προπόνηση για τη βελτίωση της απόδοσης του κύκλου διάτασης-βράχυνσης. Είναι πολύ πιθανόν τα άλματα που βασίζονται στην αποθήκευση και επαναχρησιμοποίηση της ελαστικής ενέργειας να χρειάζονται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ώστε να «υιοθετήσουν» τη βελτίωση της δύναμης συγκεκριμένων μυϊκών ομάδων (Maffiuletti et al. 2000).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μπορεί να ειπωθεί ότι ένα μικρό χρονικό διάστημα νευρομυϊκής ηλεκτρικής διέγερσης επιφέρει σημαντικές αυξήσεις στην παραγόμενη ισοκίνητική ροπή και την ενεργοποίηση των εκτεινόντων του γόνατος. Ωστόσο φαίνεται ότι δεν επηρεάζεται τόσο σύντομα η επίδοση του κύκλου διάτασης - βράχυνσης, αφού το μόνο άλμα που αυξάνεται άμεσα είναι το άλμα από ημικάθισμα. Τα αποτελέσματα αυτά καθιστούν τη νευρομυϊκή ηλεκτρική διέγερση ένα πολύ σημαντικό μέσο ενδυνάμωσης των αθλητών.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Amiridis, I.G. Martin, A. Morion, B. Martin, L. Cometti, G. Pousson, M. van Hoecke, J. (1996). Co-activation and tension-regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly skilled humans. *Eur J Appl Physiol* 73: 149-156.
- Colson, S. Martin, A. Van Hoecke. (2000). Re-examination of training effects by electrostimulation in the human elbow musculoskeletal system. *Int J Sports Med* 21: 281-288
- Davies, C.T.M. Dooley, P. Mcdonagh, M.J.N. White, M.J. (1985). Adaptation of mechanical properties of muscle to high force training in man. *J Physiol* 365: 277-284
- Enoka, R.M. (1988). Muscle strength and its development: new perspectives. *Sports Med*, 6, 146-168
- Enoka, R.M. (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol* 81:2339-46
- Fahey, T.D. Harvey, M. Schroeder, R.V. Ferguson, F. (1985). Influence of sex differences and knee joint position on electrical stimulation modulated strength increases. *Med Sci Sports Exerc* 17:
- Feiereisen, P. Duchateau, J. Hainaut, K. (1997). Motorunits recruitment order during voluntary and electrically induced contractions in the tibialis anterior. *Exp Brain Res* 114: 117-123.
- Garnett, R.A.F. and Stephens J.A. (1981). Change in the recruitment threshold of motor units produced by cutaneous stimulation in man. *J Phys (London)* 311: 463-473
- Hainaut, K. and Duchateau, J. (1992). Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise. *Sports Med*, 14: 100-113
- Henneman, E. Somjen, G. Carpenter D.O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol* 28: 560-580.
- Kots, J.M. (1971). Trenirovka mysecnoj sily metodom elektrostimulaciji. *Soobstenie. Teorija I Praktika Fiziceskoi Kultury* 3: 64-67
- Lexell, J. Taylor, C.C. Sjostrom, M. (1988). What is the cause of the ageing atrophy? *J Neuro Sci* 84:275-294
- Laughman, R.K. Youdas, J.W, Garrett, T.R. Chao, E.Y.S. (1983). Strength changes in the normal quadriceps femoris muscle as a result of electrical stimulation. *Phys Ther* 63: 494-499.
- Maffiuletti, N. Cometti, G. Amiridis, I. G. Martin, A. Pousson, M. Chatard C. (2000). The effect of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *Int J Sports Med* 21:423-443.
- Maffiuletti, N. Pensini, M. Martin A. (2002). Activation of human plantar flexors muscles increases after electrostimulation training. *J Appl Physiol* 92: 1383- 1392.
- Martin, L. Pousson, M. Morion, B. (1993). Effect of electrical stimulation training on the contractile characteristics of the triceps surae muscle. *Eur J Appl Physiol* 67: 457-461.
- Miller, C. Thepaut-Mathieu, C. (1993). Strength training by electrostimulation conditions for efficacy. *Int J Sports Med*, 14, 20-28.
- Moritani, T. deVries, H.A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phy Med* 58:115-130.
- Nardone, A. Romano, C. and Schieppati, M. (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *Journal of Physiology* 395: 363-381.
- Pichon, F. Chatard, J.C. Martin, A. Cometti, G. (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc*, 27: 1671-1676.
- Rich, N.C. (1992). Strength training via high frequency electrical stimulation. *J Sports Med Phys Fitness*, 32, 19-25.
- Seger, J. Y. Thorstenson, A. (1994). Muscle strength and myoelectric activity in prepubertal and adult males and female. *Eur J Appl Physiol* 69: 81-87.
- Selkowitz, D.M. (1985). Improvements in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Phys Ther* 65: 186-196.
- Winter, D. A. (1990). Biomechanical and motor control of human movement.
- Κόλλιας Η. Α. Βιοκινητική της αθλητικής κίνησης (1997).