



Μυϊκή Απόδοση μετά από Έκκεντρη Προπόνηση με Διαφορετικό Μήκος Μυός

Βασίλειος Πασχάλης, Γιάννης Κουτεντάκης, Γιάννης Γιάκας & Αθανάσιος Τζιαμούρτας
ΤΕΦΑΑ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Σκοπός της παρούσης μελέτης ήταν να ερευνηθεί η επίδραση της έκκεντρης προπόνησης με μικρό και με μεγάλο μήκος μυός σε επιλεγμένους δείκτες μυϊκής απόδοσης. Χρησιμοποιώντας ένα ισοκινητικό δυναμόμετρο στις 60°/s, επτά υγιείς νεαροί εθελοντές (21 ± 1 χρονών) εκτέλεσαν δύο προπονητικά προγράμματα των εκτεινόντων μυών του γονάτου, ένα για κάθε πόδι, με διαφορά 14 ημερών μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια κάθε προπόνησης, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 12 σειρές των 10 μέγιστων εκούσιων επαναλήψεων από την καθιστή θέση και από την πρηνή κατάκλιση για την επίτευξη μικρού και μεγάλου μήκους του ορθού μηριαίου, αντίστοιχα. Οι δείκτες της μυϊκής απόδοσης [μέγιστη έκκεντρη, ομόκεντρη και ισομετρική (με γωνία γονάτου 60° και 110°) ροπή] αξιολογήθηκαν πριν την άσκηση και 24, 48, 72 καθώς και 96 ώρες μετά την άσκηση. Εκτός από την μέγιστη έκκεντρη ροπή που μειώθηκε σημαντικά ($p < .05$) 24 ώρες μετά την έκκεντρη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός, όλες οι άλλες σημαντικές διαφορές ($p < .05$) των αποτελεσμάτων παρουσιάστηκαν μετά την έκκεντρη προπόνηση με μικρό μήκος μυός τόσο σε σχέση με τις αρχικές τιμές όσο και μεταξύ των έκκεντρων προπονήσεων. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα δείχνουν, σε αντίθεση με την πλειονότητα των δημοσιευμένων εργασιών, ότι η έκκεντρη προπόνηση των τετρακέφαλων με μικρό μήκος μυός προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης από ότι η αντίστοιχη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός.

Λέξεις Κλειδιά: *ισοκινητική δυναμομέτρηση, ομόκεντρη ροπή, ισομετρική ροπή*

MUSCLE PERFORMANCE FOLLOWING ECCENTRIC EXERCISE WITH DIFFERENT MUSCLE LENGTHS

Vassilios Paschalis, Yiannis Koutedakis, Giannis Giakas & Athanasios Jamurtas
Department of Physical Education and Sports Sciences, University of Thessaly, Trikala, Greece

Abstract

The effects of short and long muscle length eccentric exercise on selected muscle performance indicators were investigated in two separate sessions. Using an isokinetic dynamometer at 1.05 rad/s, seven healthy male (21±1 years) volunteers randomly underwent the two exercise sessions, one on each leg, 14 days apart. During each session, subjects had to accomplish 12 sets of 10 maximal voluntary efforts in seated and prone positions to achieve rectus femoris short and long muscle length, respectively. Muscle performance indicators (eccentric peak torque, concentric peak torque and isometric peak torque at 60° and 110° knee flexion) were assessed pre-exercise and 24, 48, 72 as well as 96 h post exercise. Except eccentric peak torque that revealed significant ($p < .05$) decline at 24 hours post long muscle length eccentric exercise, the others significant differences ($p < .05$) were found only after short muscle length eccentric exercise in comparison to pre exercise values and also was found that short muscle length caused significant greater decline ($p < .05$) compared to long muscle length eccentric exercise. In conclusion, the present results, in contrast to the majority of published studies, indicates that short muscle length quadriceps eccentric exercise causes greater muscle performance decline than the corresponding long muscle length.

Key words: *isokinetic dynamometry, concentric torque, isometric torque*

Εισαγωγή

Παρόλο που ο μυϊκός ιστός είναι εξαιρετικά ελαστικός, αλλαγές της ομοιόμορφης δομής του μπορεί να συμβούν ως αποτέλεσμα ασυνήθιστων απαιτήσεων κατά την άσκηση (Hoppeler, 1986). Η μυϊκή καταστροφή, περιλαμβάνει αποδιοργάνωση του σαρκελήματος (Armstrong, 1990), πρήξιμο ή καταστροφή του σαρκοπλασματικού δικτύου (Armstrong, 1990), παραμόρφωση των συστατών στοιχείων του μυοϊνιδίου (Lieber & Friden, 1988), καταστροφή του κυτταροπλάσματος (Friden, 1984) καθώς και πρόκληση ανωμαλιών του εξωκυττάριου χώρου της μυϊκής ίνας (Stauber, 1989).

Η άσκηση που περιλαμβάνει έκκεντρες συσπάσεις σχετίζεται περισσότερο με την καταστροφή του μυός από ότι η άσκηση που περιλαμβάνει ομόκεντρες ή ισομετρικές συσπάσεις (Armstrong et al., 1991; Friden & Lieber, 1992). Τέτοιου είδους μυϊκή καταστροφή φαίνεται να επηρεάζεται και από το μήκος του μυός κατά τη διάρκεια της έκκεντρης άσκησης. Για παράδειγμα, οι καμπήρες του αγκώνα επηρεάστηκαν σε μεγαλύτερο βαθμό όταν ασκήθηκαν με μεγάλο μήκος μυός παρά όταν ασκήθηκαν με μικρό μήκος μυός (Jones et al., 1989; Newham et al., 1988; Nosaka & Sakamoto, 2001). Επίσης, ο Child και οι συνεργάτες του (1998) χρησιμοποίησαν τους καμπήρες του γονάτου, βρήκαν μεγαλύτερη μείωση της μέγιστης ισομετρικής ροπής μετά από έκκεντρη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός σε σύγκριση με μικρό μήκος μυός. Ωστόσο αυτή είναι η μοναδική αναφορά (Child et al., 1998) στη βιβλιογραφία που χρησιμοποίησε μυϊκές ομάδες των κάτω άκρων για να εξετάσει την επίδραση του μήκους του μυός στην καταστροφή και αποκατάσταση μετά από έκκεντρη άσκηση. Οι άλλες εργασίες (Jones et al., 1989; Newham et al., 1988; Nosaka & Sakamoto, 2001) χρησιμοποίησαν μυϊκές ομάδες των άνω άκρων που, ωστόσο, οι αποκρίσεις στην έκκεντρη άσκηση μπορεί να είναι διαφορετικές από αυτές των μυϊκών ομάδων των κάτω άκρων, εξαιτίας της βαρύτητας και την καθημερινής μετακίνησης των δοκιμαζόμενων. Γι' αυτό λοιπόν περισσότερες μελέτες απαιτούνται για την επαλήθευση των παραπάνω αποτελεσμάτων. Ο σκοπός λοιπόν της μελέτης αυτής ήταν η περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης της έκκεντρης προπόνησης με μικρό μήκος και με μεγάλο μήκος των τετρακέφαλων σε δείκτες της μυϊκής απόδοσης.

Μέθοδος και Διαδικασία

Συμμετέχοντες

Επτά υγιείς άρρενες (ηλικίας 21 ± 1 χρονών, ύψους 179 ± 2 εκ. και μάζας 77 ± 2 χλγρ) πήραν μέρος εθελοντικά στη μελέτη. Οι δοκιμαζόμενοι δεν είχαν εμπειρία συστηματικής προπόνησης με έκκεντρες

συσπάσεις στους τελευταίους έξι μήνες και δεν έπαιρναν αντιφλεγμονώδη φάρμακα. Τους δόθηκαν οδηγίες να αποφύγουν κάθε έντονη δραστηριότητα και συμπληρώματα διατροφής που περιέχουν καφεΐνη πριν και κατά τη διάρκεια της συμμετοχής τους στη μελέτη. Οι δοκιμαζόμενοι διάβασαν και υπέγραψαν έντυπο πληροφόρησης και συναίνεσης σύμφωνα με τους κανόνες του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Διαδικασίες Μέτρησης

Σε δύο διαφορετικές προπονήσεις των τετρακέφαλων μυών, ερευνήσαμε την επίδραση της έκκεντρης προπόνησης με μικρό και με μεγάλο μήκος μυός σε δείκτες της μυϊκής απόδοσης. Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν δύο προπονήσεις έκκεντρων συσπάσεων, μία σε κάθε πόδι, με διαφορά 14 ημερών μεταξύ τους. Κατά τη διάρκεια και των δύο προπονήσεων, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν 12 σειρές των 10 μέγιστων εκούσιων επαναλήψεων από την καθιστή θέση (γωνία 90° της λεκάνης) και από την πρηνή κατάκλιση (γωνία 180° της λεκάνης) για να επιτύχουμε μικρό μήκος και μεγάλο μήκος του ορθού μηριαίου, αντίστοιχα. Μεταξύ των σειρών μεσολαβούσαν δύο λεπτά ξεκούρασης. Οι εντάσεις με τις οποίες εκτελέστηκαν οι δύο προπονήσεις ήταν $85.2 (\pm 4.1)\%$ και $88.6 (\pm 3.5)\%$ της μέγιστης έκκεντρης ροπής για την προπόνηση με μικρό και μεγάλο μήκος μυός, αντίστοιχα. Πριν από κάθε προπονητικό πρόγραμμα και κάθε αξιολόγηση, οι δοκιμαζόμενοι έκαναν ζέσταμα οκτώ λεπτών σε ποδηλατοεργόμετρο Monark (Vansbro, Sweden) με 70 στροφές / λεπτό και αντίσταση 50 W, ακολουθούμενο από διατακτικές ασκήσεις 5 λεπτών.

Οι δύο προπονήσεις έκκεντρων συσπάσεων και η αξιολόγηση της απόδοσης έγιναν σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (Cybex Norm Lumex, Ronkonkoma, NY, USA), το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί σε παρόμοιες μελέτες (Paddon-Jones & Abernethy 2001; Prou et al., 1999). Η βαθμονόμηση του δυναμομέτρου γινότανε κάθε βδομάδα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, ενώ οι λεπτομέρειες για το πρωτόκολλο της αξιολόγησης περιγράφονται αλλού (Koutedakis et al., 1997). Η θέση της καρέκλας διαμορφωνότανε σύμφωνα με τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων ώστε να συμπίπτει ο άξονας έκτασης/κάμψης της άρθρωσης του γονάτου με τον άξονα περιστροφής του δυναμόμετρου. Τόσο οι δύο προπονήσεις έκκεντρων συστολών όσο και η αξιολόγηση της έκκεντρης και της ομόκεντρης ροπής πραγματοποιήθηκαν με γωνιακή ταχύτητα $60^\circ/s$.

Δείκτες Μυϊκής Απόδοσης

Στις περισσότερες δημοσιευμένες μελέτες, μετά από προπόνηση έκκεντρων συσπάσεων που προκάλεσε μυϊκή καταστροφή, χρησιμοποιήθηκαν ισομετρι-

κές συσπάσεις για την αξιολόγηση της απόδοσης (Newham et al., 1987; Saxton et al., 1995; Sayers & Clarkson, 2001). Οι καθημερινές όμως κινήσεις του ανθρώπου περιλαμβάνουν έκκεντρες, ομόκεντρες καθώς και ισομετρικές μυϊκές συσπάσεις οι οποίες έχουν διαφορετικό φυσιολογικό προφίλ. Οι ισομετρικές συσπάσεις χαρακτηρίζονται κυρίως από αυξημένη ενδομυϊκή πίεση ή αυξημένη συγκέντρωση μεταβολιτών που σχετίζονται με την κόπωση (Vollstad et al., 1988) ενώ η χρησιμοποίηση των ελαστικών στοιχείων του μυός και η φυγόκεντρη νευρική δραστηριότητα είναι οι κύριες φυσιολογικές ιδιότητες των έκκεντρων (Komi & Bosco, 1978) και των ομόκεντρων συσπάσεων (Kay et al., 2000). Για το λόγο αυτό, θα ήταν περισσότερο αντιπροσωπευτική η χρησιμοποίηση και των τριών τύπων μυϊκής συστολής στην αξιολόγηση της μυϊκής απόδοσης.

Χρησιμοποιώντας το ίδιο ισοκινητικό δυναμόμετρο (Cybex Norm), οι δείκτες της μυϊκής απόδοσης των εκτεινόντων του γόνατος [μέγιστη έκκεντρη, ομόκεντρη και ισομετρική (με γωνία γόνατος 60° και 110°) ροπή] προσδιορίστηκαν πριν και 24, 48, 72 καθώς και 96 ώρες μετά από κάθε έκκεντρη προπόνηση. Η καλύτερη από τρεις προσπάθειες μέγιστης έκκεντρης, ομόκεντρης και ισομετρικής (με γωνία γόνατος 60° και 110°) ροπής χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της απόδοσης. Το διάλειμμα μεταξύ των δοκιμασιών ήταν τρία λεπτά.

Στατιστική Ανάλυση

Για την σύγκριση της παραγωγής έργου μεταξύ των δύο προπονήσεων χρησιμοποιήθηκε έλεγχος t εξαρτημένων δειγμάτων. Για την ανάλυση των παραμέτρων της μυϊκής απόδοσης χρησιμοποιήθηκε

ANOVA 2 x 5 (μήκος μυός x χρόνος) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ως προς τον χρόνο. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < .05$.

Αποτελέσματα

Έκκεντρη Άσκηση

Η μέση παραγωγή έργου κατά την προπόνηση με μικρό μήκος μυός ήταν 29570 (± 1382) W, η οποία ήταν σημαντικά χαμηλότερη ($p < .05$) από τη μέση παραγωγή έργου κατά την προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός 33505 (± 1696) W.

Δείκτες Μυϊκής Απόδοσης

Οι δείκτες της μυϊκής απόδοσης που μελετήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Η μέγιστη έκκεντρη ροπή μειώθηκε σημαντικά ($F_{(4,3)}=14,08$, $p < .05$) μέχρι και τις 72 ώρες μετά την προπόνηση με μικρό μήκος ενώ μετά την προπόνηση με μεγάλο μήκος η ροπή αυτή μειώθηκε σημαντικά ($F_{(4,3)}=14,08$, $p < .05$) για τις πρώτες 24 ώρες. Η μέγιστη ομόκεντρη ροπή μειώθηκε σημαντικά ($F_{(4,3)}=53,62$, $p < .05$) μόνο μετά την έκκεντρη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός. Επίσης, η έκκεντρη προπόνηση με μικρό μήκος σε σχέση με το μεγάλο μήκος μυός επηρέασε σημαντικότερα ($F_{(1,6)}=7,22$, $p < .05$) την μέγιστη ομόκεντρη ροπή για 48 ώρες μετά το τέλος της προπόνησης.

Η μέγιστη ισομετρική ροπή με γωνία γόνατος 60°, επηρεάστηκε σε σημαντικότερο βαθμό ($F_{(1,6)}=4,98$, $p < .05$) από την έκκεντρη προπόνηση με μικρό μήκος μυός σε σχέση με το μεγάλο μήκος μυός για 48 ώρες. Η μέγιστη ισομετρική ροπή με γωνία γο

Πίνακας 1. Τιμές των παραμέτρων της μυϊκής απόδοσης (%) κατά τις χρονικές στιγμές της αξιολόγησης μετά από έκκεντρη προπόνηση με μικρό και με μεγάλο μήκος μυός σε σχέση με την αρχική επίδοση (100%) η οποία εκφράζεται σε απόλυτες τιμές (Nm).. Σημειώνονται οι σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις αρχικές τιμές με (*) και οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των προπονήσεων με (#).

| Παράμετροι | | Αρχικές τιμές (Nm) | 24 ώρες | 48 ώρες | 72 ώρες | 96 ώρες |
|---------------------------------------|--------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Μέγιστη έκκεντρη ροπή | | | | | | |
| Μήκος μυός | Μικρό | 319.4 \pm 17.7 | 55.9 \pm 7.3* | 58.4 \pm 5.6* | 59 \pm 8.1* | 78.1 \pm 8.4 |
| | Μεγάλο | 346.1 \pm 15.2 | 62.6 \pm 8.3* | 70 \pm 8.2 | 80.9 \pm 10.7 | 98 \pm 12.3 |
| Μέγιστη ομόκεντρη ροπή | | | | | | |
| Μήκος μυός | Μικρό | 237.8 \pm 11.2 | 57.9 \pm 5.5* | 59.3 \pm 8.3* | 63.9 \pm 9.6 | 73.1 \pm 6.9 |
| | Μεγάλο | 192.3 \pm 11.7 | 84.7 \pm 8.6# | 84.4 \pm 9.1# | 84.6 \pm 10.9 | 89.7 \pm 11 |
| Μέγιστη ισομετρική ροπή (60°) | | | | | | |
| Μήκος μυός | Μικρό | 241.9 \pm 19.7 | 65.6 \pm 8.3 | 74.7 \pm 9.6 | 80.1 \pm 10.9 | 93.3 \pm 8.2 |
| | Μεγάλο | 197.5 \pm 15.4 | 82.3 \pm 9.3# | 93.6 \pm 10.4# | 93.1 \pm 9.4 | 87 \pm 16.5 |
| Μέγιστη ισομετρική ροπή (110°) | | | | | | |
| Μήκος μυός | Μικρό | 219.8 \pm 14.4 | 61.7 \pm 6.3* | 65.1 \pm 7.6* | 63.4 \pm 10.9 | 73.4 \pm 7.6 |
| | Μεγάλο | 240.5 \pm 20.7 | 69 \pm 10.6 | 74.7 \pm 8.7 | 87.6 \pm 13.4# | 77.6 \pm 13.8 |

νάτου 110°, παρουσίασε σημαντική μείωση ($F_{(4,3)}=53.62, p<.05$) μετά την έκκεντρη προπόνηση με μικρό μήκος μυός μέχρι τις 48 ώρες. Μεταξύ των δύο προπονήσεων η μέγιστη ισομετρική ροπή με γωνία γονάτου 110° μειώθηκε σημαντικά μετά την προπόνηση με μικρό μήκος σε σχέση με το μεγάλο μήκος στις 72 ώρες μετά την έκκεντρη προπόνηση.

Συζήτηση

Σε δύο διαφορετικές προπονήσεις των τετρακέφαλων μυών, ερευνήσαμε την επίδραση της έκκεντρης προπόνησης με μικρό μήκος και με μεγάλο μήκος μυός στην μυϊκή απόδοση. Εκτός από τη σημαντική μείωση της μέγιστης έκκεντρης ροπής σε μία μόνο χρονική στιγμή της αξιολόγησης μετά την έκκεντρη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός, όλες οι άλλες σημαντικές διαφορές των αποτελεσμάτων παρουσιάστηκαν μετά την προπόνηση με μικρό μήκος μυός τόσο στις χρονικές στιγμές της αξιολόγησης όσο και μεταξύ των έκκεντρων προπονήσεων.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έρχονται σε αντίθεση με τον κύριο όγκο δημοσιευμένων εργασιών οι οποίες υποστηρίζουν ότι μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης παρατηρείται μετά από έκκεντρη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός σε σύγκριση με μικρό μήκος μυός (Child et al., 1998; Jones et al., 1989; Newham et al., 1988; Nosaka & Sakamoto, 2001). Μεθοδολογικές διαφορές μπορούν να δικαιολογήσουν τα διαφορετικά αποτελέσματα μεταξύ της παρούσης μελέτης και των προηγούμενων μελετών. Η χρησιμοποίηση διαφορετικών μυϊκών ομάδων μπορεί να είναι μια από τις σημαντικές διαφορές. Για παράδειγμα, από τη στιγμή που οι μύες των χεριών - που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες (Jones et al., 1989; Newham et al., 1988; Nosaka & Sakamoto 2001) - δεν δέχονται καθημερινές επιβαρύνσεις σχετικές με την έλξη της Γης, ο ρυθμός αποκατάστασής τους από προπονητική επιβάρυνση μπορεί να είναι διαφορετικός από ότι οι μύες των ποδιών. Μια άλλη μεθοδολογική διαφορά που μπορεί να έχει επιδράσει στα αποτελέσματα που ήδη αναφέραμε μπορεί να είναι ο συνολικός αριθμός των μέγιστων εκούσιων έκκεντρων συστολών κατά τη διάρκεια της άσκησης (Hesselinck et al., 1996). Για το σκοπό της μελέτης μας χρησιμοποιήσαμε 120 μέγιστες εκούσιες έκκεντρες συσπάσεις ενώ στη μόνη μελέτη που προσπάθησε να απαντήσει στην ίδια ερώτηση χρησιμοποιήθηκαν 75 μέγιστες εκούσιες έκκεντρες συσπάσεις (Child et al., 1998). Παρόλα αυτά, στην παρούσα μελέτη το εύρος της κίνησης παρέμεινε το

ίδιο (120°) αλλά ήταν διαφορετική η γωνία της άρθρωσης του ισχίου επιδρώντας μόνο στους διαρθρικούς μύες όπως ο ορθός μηριαίος και ο ραπτικός.

Είναι επίσης γνωστό (Armstrong et al., 1991) ότι κατά τη διάρκεια της έκκεντρης προπόνησης η ακτινή και η μυοσίνη απομακρύνονται τόσο πολύ μεταξύ τους που μόνο ένας μικρός αριθμός από εγκάρσιες γέφυρες δημιουργούνται μέσα στο σαρκομέριο. Η κατάσταση αυτή μπορεί να οδηγήσει στην διάσπαση του σαρκολείματος και κατ'επέκταση του σαρκοπλασματικού δικτύου, οδηγώντας στην καταστροφή του σαρκομερίου. Είναι αναμενόμενο λοιπόν ότι μεγαλύτερο αρχικό μήκος του μυός θα επηρέαζε περισσότερο την απόδοση μετά από άσκηση με έκκεντρες συσπάσεις. Παρ' όλα αυτά, σε πρόσφατη μελέτη (Maffiuletti & Lepers, 2003) παρατηρήθηκε ότι ο υψηλότερος βαθμός νευρικής δραστηριότητας στους εκτεινόντες μύες του γονάτου στην καθιστή θέση (μικρό μήκος μυός) από ότι στην κατάκλιση (μεγάλο μήκος μυός) πιθανότατα συμβάλει στη βελτίωση της επιστράτευσης κινητικών μονάδων. Όσο λοιπόν περισσότερες κινητικές μονάδες επιστρατεύονται για την παραγωγή έργου τόσο περισσότερη θα είναι η συνολική κόπωση του μυός με επακόλουθο τη μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης. Έτσι, τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης μπορούν να αποδοθούν στη λειτουργία ενός νευροφυσιολογικού μηχανισμού που συμβαίνει μέσα στο μυ.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής μπορούν να εξηγηθούν με βάση δημοσιευμένες έρευνες (Charman, 1985; Crawford & James 1980), σύμφωνα με τις οποίες όταν ο μυς συσπάται στο φυσιολογικό του μήκος η τάση αναπτύσσεται κυρίως από τα συστατικά του στοιχεία, ενώ αντίθετα όταν ο μυς υπερβαίνει το φυσιολογικό του μήκος κατά τη σύσπαση τότε περισσότερη τάση αναπτύσσεται από τα ελαστικά του στοιχεία. Τα ελαστικά στοιχεία λόγω της δομής τους, διατείνονται δυσκολότερα και μπορούν να αποθηκεύσουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από ότι τα συστατικά στοιχεία του μυός με αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγαλύτερα επίπεδα δύναμης για τον τραυματισμό τους (Kennedy et al., 1976).

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα δείχνουν, σε αντίθεση με την πλειονότητα των δημοσιευμένων εργασιών, ότι η έκκεντρη προπόνηση των τετρακέφαλων με μικρό μήκος μυός προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της απόδοσης από ότι η αντίστοιχη προπόνηση με μεγάλο μήκος μυός.

Σημασία για την Ποιότητα Ζωής

Η μελέτη αυτή μπορεί να ταξινομηθεί στο γενικότερο τομέα της μυϊκής ενδυνάμωσης. Με τη μυϊκή ενδυνάμωση ασχολείται συστηματικά ένα μεγάλο μέρος του γενικού πληθυσμού. Οι εξειδικευμένες πληροφορίες που παίρνουμε από την παρούσα μελέτη βελτιώνουν τις γνώσεις που έχουμε για την ανάπτυξη της δύναμης και την πορεία της αποκατάστασής της μετά από έντονη προπόνηση. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης η προπόνηση έκκεντρων συσπάσεων με μεγάλο μήκος μυός επηρεάζει λιγότερο την μυϊκή απόδοση ενώ παράλληλα η αποκατάσταση της απόδοσης είναι γρηγορότερη σε σχέση με την έκκεντρη προπόνηση που εκτελείται με μικρό μήκος μυός. Η σωστή χρήση των πληροφοριών αυτών μπορεί να βοηθήσει στην εκπόνηση προπονητικών προγραμμάτων που θα επιτρέπουν στους αθλούμενους να βελτιώνουν την απόδοσή τους, αποφεύγοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της προπόνησης. Πολλοί αθλητές υψηλού επιπέδου χρησιμοποιούν ασκήσεις μόνο με έκκεντρες συσπάσεις για να μπορέσουν να αυξήσουν τη δύναμη και το μυϊκό τους όγκο. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημείο αναφοράς και για αυτούς τους αθλητές αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της προπόνησής τους. Ωστόσο, απαιτείται επιπλέον μελέτη σε αυτή την σημαντική ερευνητική περιοχή, η οποία θα δίνει έμφαση στον ακριβή προσδιορισμό της επίδρασης του μήκους του μυός σε μεταβολές σε επίπεδο σαρκομερίου.

Βιβλιογραφία

- Armstrong, R. B. (1990). Initial event in exercise-induced muscular injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 429-435.
- Armstrong, R. B., Warren, G. L., & Warren, J. A. (1991). Mechanisms of exercise induced muscle fiber injury. *Sports Medicine*, 12, 184-207.
- Chapman, A. E. (1985). The mechanical properties of human muscle. *Exercise and Sports Science Review*, 13, 443-501.
- Child, R. B., Saxton, J. M., & Donnelly, A. E. (1998). Comparison of eccentric knee extensor muscle actions at two muscle lengths on indices of damage and angle-specific force production in humans. *Journal of Sports Science*, 16, 301-308.
- Crawford, C. N. C., & James, N. T. (1980). The design of muscles. In Owen R., Goodfellow J., & Bulough P. *Scientific foundations of orthopaedics and traumatology* (pp 67-74). London, William Heinemann.
- Friden, J. (1984). Muscle soreness after exercise: implications of morphological changes. *International Journal of Sports Medicine*, 5, 57-66.
- Friden, J., & Lieber, R. L. (1992). Structural and mechanical basis of exercise induced muscle injuries. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 521-530.
- Jones, D. A., Newham, D. J., & Torgan, C. (1989). Mechanical influences on long lasting human muscle fatigue and delayed-onset pain. *Journal of Physiology*, 412, 415-427.
- Hesselink, M.K., Kuipers, H., Geurten, P., & Van Straaten, H. (1996). Structural muscle damage and muscle strength after incremental number of isometric and forced lengthening contractions. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 17, 335-341.
- Hoppeler, H. (1986). Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 76-92.
- Kay, D., St Clair Gibson, A., Mitchell, M. J., Lambert, M. I., & Noakes, T. D. (2000). Different neuromuscular recruitment patterns during eccentric, concentric and isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(6), 425-431.
- Kennedy, J. C., Hawkins, R. J., Willis, R. B., & Danylchuk, A. B. (1976). Tension studies on human knee ligaments. Yield point, ultimate failure and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 58A: 350.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*, 10(4), 261-265.
- Koutedakis, Y., Friscknecht, R., & Murphy, M. (1997). Knee flexion to extension peak torque ratios and low-back injuries in highly active individuals. *International Journal of Sports Medicine*, 18, 291-296.
- Lieber, R. L., & Friden, J. (1988). Selective damage of fast glycolytic muscle fibers with eccentric contractions of the rabbit tibialis anterior. *Acta Physiologica Scandinavica*, 133, 587-588.
- Maffiuletti, A. N., & Lepers, R. (2003). Quadriceps femoris torque and EMG activity in seated versus supine position. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(9), 1511-1516.
- Newham, D. J., Jones, D. A., & Clarkson, P. M. (1987). Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*, 63(4), 1381-1386.

- Newham, D. J., Jones, D. A., Ghosh, G., & Aurora, P. (1988). Muscle fatigue and pain after eccentric contractions at long and short length. *Clinical Science*, 74, 553-557.
- Nosaka, K., & Sakamoto, K. (2001). Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 22-29.
- Paddon-Jones, D., & Abenerthy, P. (1999). Acute adaptation to low volume eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1213-1219.
- Prou, E., Guevel, A., Benezet, P., & Marini, J. F. (1999). Exercise induced muscle damage: absence of adaptive effect after a single session of eccentric isokinetic heavy resistance exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(3), 226-232.
- Saxton, J. M., Clarkson, P. M., James, R., Miles, M., Westerfer, M., Clark, S., & Donnelly, A. E. (1995). Neuromuscular dysfunction following eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(8), 1185-1193.
- Sayers, S. P., & Clarkson, P. M. (2001). Force recovery after eccentric exercise in males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 84(1-2), 122-126.
- Stauber, W. T. (1989). Eccentric action of muscles: physiology, injury and adaptation. *Exercise and Sports Science Review*, 17, 157-185.
- Vollestad, N. K., Sejersted, O. M., Bahr, R., Woods, J. J., & Bigland-Ritchie, B. (1988). Motor drive and metabolic responses during repeated submaximal contractions in humans. *Journal of Applied Physiology*, 64(4), 1421-1427.

