



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΑΣ ΟΜΟΚΕΝΤΡΗΣ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΤΡΗΣ
ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΜΗΡΙΑΙΩΝ ΣΤΗΝ ΓΩΝΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΟΥ ΓΟΝΑΤΟΥ**

Βράπι Ιρένα

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλης Πασχάλης, PhD

Τρίκαλα 2012



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 11172/1
Ημερ. Εισ.: 06/12/2012
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΤΕΦΑΑ
2012
ΒΡΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000108071

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Summary.....	4
Εισαγωγή	5
Σκοπός της εργασίας	7
Ερευνητικές υποθέσεις	7
Στατιστικές Υποθέσεις	7
Βιβλιογραφική ανασκόπηση	9
Αρχιτεκτονική του σκελετικού μυός.....	9
Συστατικά του μυϊκού κυττάρου.....	10
Οργάνωση του μυός.....	10
Σαρκομέριο	11
Μυοσύνη	11
Ακτίνη	12
Επικουρικές πρωτεΐνες.....	13
Μυϊκή συστολή.....	13
Ταξινόμηση των μυϊκών ινών.....	13
Είδη μυϊκής συστολής	15
Δυναμόμετρα.....	18
Ορισμός καθυστερημένου μυϊκού πόνου.....	19
Χρόνος αντίδρασης	19
Λειτουργία του μυός	20
Μυϊκή ενδυνάμωση	20
Είδη μυϊκών συστολών.....	21
Έκκεντρη συστολή- Μυϊκός τραυματισμός.....	21
Έκκεντρη άσκηση και τύποι μυϊκών ινών	23
Επαναλαμβανόμενη έκκεντρη άσκηση.....	24
Δείκτες μυϊκού τραυματισμού	25
Γωνία αντίδρασης της άρθρωσης του γονάτου	28
Μεθοδολογία	29
Δοκιμαζόμενοι.....	29
Μετρήσεις.....	29
Πρωτόκολλο μετρήσεων	30
Γωνία αντίδρασης της άρθρωσης του γονάτου	31
Αποτελέσματα	32
Ισομετρική ροπή.....	32
Καθυστερημένος μυϊκός πόνος κατά την βάρδια.....	33
Γωνία εφαρμογής της μέγιστης ομόκεντρης ροπής	34
Γωνία αντίδρασης.....	35
Συζήτηση.....	37
Μυϊκός τραυματισμός.....	37
Χρόνια άσκηση και μυϊκός τραυματισμός.....	37
Χρόνια άσκηση και γωνία αντίδρασης.....	37
Πρακτικές εφαρμογές και συμπεράσματα	38
Βιβλιογραφία.....	39

Περίληψη

Σκοπός της μελέτης ήταν να ερευνηθεί η επίδραση της προπόνησης 8 εβδομάδων με έκκεντρες και ομόκεντρες συστολές στην γωνία αντίδρασης του γονάτου. Είκοσι υγιείς γυναίκες συμμετείχαν στην παρούσα μελέτη. Οι δοκιμαζόμενες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, η μία εκτέλεσε ομόκεντρη προπόνηση και η άλλη έκκεντρη προπόνηση. Οι δοκιμαζόμενες για 8 εβδομάδες πραγματοποιούσαν μία προπόνηση την εβδομάδα ομόκεντρων ή έκκεντρων συστολών στους πρόσθιους μηριαίους σε ισοκινητικό δυναμόμετρο. Η προπόνηση αποτελούνταν από 5 σειρές των 15 επαναλήψεων με διάλειμμα 2 λεπτών. Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος, το εύρος της κίνησης, η ισομετρική και η έκκεντρη ροπή αξιολογήθηκαν πριν και 48 ώρες μετά την πρώτη και την τελευταία προπόνηση. Την 1^η εβδομάδα τόσο η ομόκεντρη όσο και η έκκεντρη προπόνηση προκάλεσαν μυϊκό τραυματισμό και είχαν αρνητική επίδραση στην γωνία αντίδρασης του γονάτου, με την έκκεντρη άσκηση να προκαλεί τις μεγαλύτερες αλλοιώσεις σε σχέση με την ομόκεντρη. Την 8^η εβδομάδα, οι δείκτες του μυϊκού τραυματισμού δεν επηρεάστηκαν από την ομόκεντρη ή την έκκεντρη προπόνηση. Επίσης την 8^η εβδομάδα η ομόκεντρη και η έκκεντρη προπόνηση επηρέασαν την γωνία αντίδρασης του γονάτου. Στην 8^η εβδομάδα, και οι δύο ομάδες προπόνησης αύξησαν τη δύναμη των μυϊκών ομάδων που ασκήθηκαν. Η βελτίωση της δύναμης έγινε σύμφωνα με την προπόνηση που πραγματοποιήθηκε, δηλαδή η ομάδα που εκτέλεσε ομόκεντρες συστολές βελτίωσε περισσότερο την ομόκεντρη ροπή ενώ η ομάδα που εκτέλεσε έκκεντρες συστολές βελτίωσε περισσότερο στην έκκεντρη ροπή και οι δύο συνέβαλλαν στην μείωση του χρόνου της γωνίας αντίδρασης του γονάτου.

Summary

The aim of this study was to investigate the effect of 8 weeks training with eccentric and concentric contractions on knee's reaction angle in healthy women. Twenty healthy women participated in the present study. The participants separated in two groups, the one performed resistance training with concentric contractions and the other resistance training with eccentric actions. The participants performed one training each week for 8 consecutive weeks using an isokinetic dynamometer. Five sets of 15 repetitions were performed in each training session with 2 min rest between sets. Concentric and eccentric peak torque, range of motion and delayed onset muscle soreness were served as muscle damage indicators and were evaluated before and 48 hours post exercise as well. The 1st week both concentric and eccentric exercise caused muscle damage and affect negatively the position sense at knee flexion, while eccentric exercise caused more muscle damage and affected more the position sense compared to the concentric exercise. By the 8th week of training muscle damage indicators were altered neither from the concentric nor by the eccentric exercise. Additionally, the 8th week of training concentric and eccentric exercise affected the knee s reaction angle in absolute and in actual values. At week 8, both training sessions increased resting muscle strength as determined by the assessment of concentric and eccentric torque. In general, the improvement in resting concentric and eccentric torque was training mode-specific. This means that the concentric group exhibited greater increases in resting concentric torque and lower increases in eccentric torque compared to the eccentric group, vice versa and shorter reaction time in knee angle.

Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό οι σκελετικοί μύες αποτελούν το μεγαλύτερο λειτουργικό σύστημα του ανθρώπινου σώματος. Οι μύες είναι αυτοί που μας πραγματοποιούν την κίνηση του σώματος και παράγουν τη δύναμη που απαιτείται για τις καθημερινές δραστηριότητες μετατρέποντας την χημική ενέργεια σε μηχανική. Η μυϊκή συστολή περιγράφει στη ενεργοποίηση των εγκάρσιων γεφυρών που ξεκινάει με ώσεις των κινητικών νεύρων προς το μυ και συνήθως βρίσκεται κάτω από εθελούσιο έλεγχο (Vander et al. 2001). Ο ορισμός αυτός δεν αναφέρεται στο μήκος του μυός, που μπορεί να μεταβάλλεται ή να παραμένει αμετάβλητο κατά την διάρκεια της συστολής. Η δύναμη που ασκείται από ένα συστέλλόμενο μυ πάνω σε ένα αντικείμενο είναι γνωστή ως μυϊκή τάση και η δύναμη που εξασκεί το βάρος ενός αντικείμενου στο μυ καλείται ως φορτίο. Επομένως η μυϊκή τάση και το φορτίο είναι αντίθετες δυνάμεις και το μέγεθος αυτών είναι που καθορίζει εάν η παραγωγή δύναμης θα οδηγήσει σε βράχυνση ή σε διάταση του μυός. Στην περίπτωση της έκκεντρης συστολής έχουμε αύξηση του μήκους του μυός. Δηλαδή δύναμη είναι μεγαλύτερη από αυτήν που παράγεται από τις εγκάρσιες γέφυρες του μυός και οδηγεί το μυ σε επιμήκυνση (Vander et al. 2001; Μπαλτόπουλος 2003).

Το μηχανικό έργο που παράγεται σε αυτή τη συστολή είναι αρνητικό. Το είδος αυτών των συστολών ονομάζονται και έκκεντρες συστολές. Κατά την έκκεντρη συστολή ενεργοποιείται ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών, με τη διαφορά ότι τα μυονημάτια της ακτίνης απομακρύνονται από το κέντρο της Α ζώνης και το σαρκομέριο επιμηκύνεται. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της συστολής είναι ότι απαιτεί λιγότερη ενέργεια από την ομόκεντρη και την ισομετρική συστολή αφού το έργο που εκτελείται είναι αρνητικό. Ο μυς κατά την έκκεντρη συστολή παράγει τη μεγαλύτερη δυνατή δύναμή του. Ο λόγος είναι ότι κατά την έκκεντρη συστολή μερικές εγκάρσιες γέφυρες δεν εκτελούν τη συνήθη στροφική τους κίνηση αλλά τραβιούνται προς τα πίσω, με αποτέλεσμα η μυοσίνη να μην μετατοπίζεται προς τα εμπρός και να παραμένει προσκολλημένη στην ακτίνη. Παράλληλα, πρόσθετες γέφυρες δραστηριοποιούνται κατά τη διάρκεια έκκεντρης συστολής με αποτέλεσμα

να ξεπερνούν σε αριθμό αυτές των άλλων συστολών της ομόκεντρης και της ισομετρικής συστολής παράγοντας έτσι μεγαλύτερα ποσοστά δύναμης (Stauber 1989).

Ο μυϊκός ιστός από την καθημερινή και συνεχή χρήση αλλά κυρίως κατά την διάρκεια έντονης και επίπονης άσκησης, υπόκειται σε μυϊκό τραυματισμό, που εκφράζεται με μείωση των λειτουργικών του ικανοτήτων. Είναι σύνηθες φαινόμενο σε αγύμναστα άτομα, που αρχίζουν να γυμνάζονται σε έντονες επιβαρύνσεις, να προκαλείται μυϊκός τραυματισμός και έπειτα από την άσκηση να αισθάνονται μυϊκό πόνο και δυσκαμψία. Ο πόνος αυτός μπορεί να είναι προσωρινός αλλά και καθυστερημένος. Ο προσωρινός πόνος διαρκεί για λεπτά ή λίγες ώρες μετά την άσκηση, δεν είναι ιδιαίτερα ενοχλητικός ή επίπονος, ούτε παρουσιάζει οποιαδήποτε προβλήματα ή κινδύνους για πρόκληση τραυματισμού στον ασκούμενο και οφείλεται στις καματογόνες ουσίες που συσσωρεύονται στους μύες κατά τη διάρκεια της προσπάθειας. Αντίθετα, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος μπορεί να διαρκέσει μέχρι και μερικές μέρες από τη στιγμή που θα σταματήσει η άσκηση. Βέβαια, η τέλεια δομή, κατασκευή και λειτουργία του ανθρώπινου σώματος έδωσε την ικανότητα στο μυϊκό ιστό να προσαρμόζεται και να ανακατασκευάζεται ανάλογα με τη βλάβη ώστε να ανταποκριθεί σε τέτοιου είδους καταστάσεις στο μέλλον.

Μεγαλύτερος μυϊκός τραυματισμός μπορεί να προκληθεί κυρίως από την άσκηση που περιλαμβάνει έκκεντρες συστολές και λιγότερο από την άσκηση που περιλαμβάνει ομόκεντρες ή ισομετρικές συστολές. Έχει βρεθεί επίσης ότι η άσκηση με έκκεντρες συστολές επηρεάζει θετικά μειώνοντας τον χρόνο αντίδρασης του γονάτου (Paschalis et al. 2007). Η γωνία αντίδρασης του γονάτου είναι

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της μελέτης είναι να ερευνηθεί η επίδραση της προπόνησης με έκκεντρες συστολές και ομόκεντρες συστολές που θα προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό στην γωνία αντίδρασης του γονάτου σε υγιείς γυναίκες.

Ερευνητικές υποθέσεις

1. Η έκκεντρη μορφή άσκησης θα προκαλέσει σημαντικό μυϊκό τραυματισμό στους συμμετέχοντες στη συστολή μυών και θα επηρεάσει τον χρόνο αντίδρασης στην γωνία του γονάτου.
2. Η έκκεντρη μορφή άσκησης θα προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό και θα επιδράσει αρνητικά στην γωνία αντίδρασης του γονάτου.

Στατιστικές Υποθέσεις

Μηδενικές υποθέσεις

1. Μηδενική υπόθεση ($\mu_1 = \mu_2$): Δεν θα υπάρξουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων (πρώτης και όγδοης εβδομάδας), στους δείκτες της μυϊκής καταστροφής.
2. Μηδενική υπόθεση ($\mu_1 = \mu_2$): Δεν θα υπάρξουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων (πρώτης και όγδοης εβδομάδας), στους δείκτες της αίσθησης της θέσης στο χώρο.

Εναλλακτικές υποθέσεις

1. Εναλλακτική υπόθεση ($\mu_1 \neq \mu_2$): Θα υπάρξουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων (πρώτης και όγδοης εβδομάδας) στους δείκτες της μυϊκής καταστροφής.
2. Εναλλακτική υπόθεση ($\mu_1 \neq \mu_2$): Θα υπάρξουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων (πρώτης και όγδοης εβδομάδας), στους δείκτες της αίσθησης της θέσης στο χώρο.

Περιορισμοί της έρευνας

Οι περιορισμοί της συγκεκριμένης εργασίας οφείλονται στο γεγονός ότι η προπόνηση με έκκεντρες συστολές για την πρόκληση του μυϊκού τραυματισμού πραγματοποιήθηκε μόνο από υγιείς νεαρές γυναίκες.

Σημασία της εργασίας

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μας δίνουν τη δυνατότητα να δούμε πώς επιδρά η ομόκεντρη και η έκκεντρη προπόνηση στους πρόσθιους μηριαίους σε υγιείς γυναίκες. Τα αποτελέσματα της έρευνας θα μας δώσουν στοιχεία για τον μυϊκό τραυματισμό μετά από προπόνηση με ομόκεντρες και έκκεντρες συστολές καθώς και τη επίδραση που θα έχει η προπόνηση αυτή στην αίσθηση της θέσης στο χώρο.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Αρχιτεκτονική του σκελετικού μυός

Η κίνηση είναι θεμελιώδης ιδιότητα της ζωής. Η κίνηση του ανθρώπινου σώματος και των μελών του είναι προϊόν της μυϊκής δράσης και επιτυγχάνεται με την μετατροπή της χημικής ενέργειας σε μηχανική. Τα περισσότερα έμβια κύτταρα έχουν την ικανότητα να χρησιμοποιούν χημική ενέργεια για την παραγωγή δύναμης και κίνησης. Ο ενεργειακός αυτός μετασχηματισμός γίνεται στα διαφοροποιημένα μυϊκά κύτταρα, που είναι οργανωμένα σε μια θαυμάσια αρχιτεκτονική διάταξη μέσα στο σκελετικό μυ και η κύρια λειτουργία τους είναι η δημιουργία δυνάμεων και κινήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται από πολυκύτταρους οργανισμούς για την ρύθμιση του εσωτερικού περιβάλλοντος, την παραγωγή κίνησης ολόκληρου του οργανισμού στο εξωτερικό περιβάλλον, αλλά και την ομιλία και τον έλεγχο της βούλησης, δηλαδή με την ενεργοποίηση του κεντρικού νευρικού συστήματος. Οι σκελετικοί μύες συνδέονται με τα οστά του σώματος και στην συστολή τους οφείλεται η γένεση της δύναμης και η παραγωγή της κίνησης των μερών του σκελετού και του σώματος. Η πρωταρχική λειτουργία του σκελετικού μυός είναι να μετατρέπει ηλεκτρικά σήματα σε μηχανικά γεγονότα προκαλώντας κίνηση. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες που δίνουν τη δυνατότητα στον μυ να προκαλεί κίνηση είναι η διεγερσιμότητα, η συσταλτικότητα και η ελαστικότητα. Η διεγερσιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα του μυός να δέχεται και να ανταποκρίνεται σε ερεθίσματα. Τα ερεθίσματα είναι χημικά μηνύματα από νευροδιαβιβαστές και οι αποκρίσεις συνίστανται στη δημιουργία δυναμικού ενέργειας που άγεται κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης. Η συσταλτικότητα παραπέμπει στη βράχυνση του μυός και είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης και διολίσθησης των μυονηματίων μυοσίνης και ακτίνης και όχι ιδιότητα κάθε μυονηματίου ξεχωριστά. Η διατατικότητα δηλώνει την ικανότητα του μυός να επιμηκύνεται όταν ασκείται εξωτερική δύναμη. Η ελαστικότητα δηλώνει την ικανότητα του μυός να επανέρχεται στις αρχικές του διατάσεις όταν ελευθερωθεί από την τάση που προκάλεσε η επιμήκυνση του.

Συστατικά του μυϊκού κυττάρου

Η κύρια λειτουργία των εξειδικευμένων μυϊκών κυττάρων είναι η παραγωγή δυνάμεων και κινήσεων. Για τον λόγο αυτό στο σαρκόπλασμα του μυϊκού κυττάρου βρίσκονται συστατικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την απελευθέρωση ενέργειας κατά την μυϊκή δράση. Το μυϊκό κύτταρο απαρτίζεται κυρίως από το σαρκόπλασμα που αποτελείται από νερό κατά 75% και πρωτεΐνες κατά 20 % (12 % μυοσίνη και 8 % ακτίνη κ.α) Το υπόλοιπο 5% περιέχει αμινοξέα , γλυκογόνο (2%), λίπη (2%), ανόργανα άλατα και άλλες ουσίες (1%), όπως δεσμούς υψηλής ενέργειας, γαλακτικό οξύ και ένζυμα. Από τους ηλεκτρολύτες τα ιόντα καλίου βρίσκονται σε αφθονία, ενώ του νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου σε μικρότερες ποσότητες. Επίσης στο σαρκόπλασμα βρίσκονται τα μιτοχόνδρια καθώς και το σαρκοπλασματικό δίκτυο, το σύστημα που χρησιμεύει για τη σύζευξη των ηλεκτρικών γεγονότων της διέγερσης, με τα μηχανικά γεγονότα της μυϊκής συστολής.

Οργάνωση του μυός

Από τη μακροσκοπική ανατομική είναι γνωστό ότι το ανθρώπινο σώμα έχει 660 σκελετικούς μυς, που αποτελούν το 40-45% του σωματικού βάρους ενήλικα άνδρα και το 23-25% ενήλικης γυναίκας. Κάθε μυς περιβάλλεται από έναν ινώδη συνδετικό ιστό, το επιμύιο, που περικλείει χιλιάδες κυλινδρικά κύτταρα, τις μυϊκές ίνες. Οι ίνες αυτές είναι συγκροτημένες σε δεμάτια και κάθε δεμάτιο που περιλαμβάνει 150 περίπου ίνες, περιβάλλεται επίσης από ένα υμένα συνδετικού ιστού, το περιμύιο. Κάθε μυϊκή ίνα ξεχωρίζει από τις γειτονικές μ ένα άλλο λεπτό υμένα, το ενδομύιο. Είναι όλοι αυτοί οι προστατευτικοί υμένες που συγχωνεύονται και σχηματίζουν τον ανθεκτικό συνδετικό ιστό, τον τένοντα, με τον οποίο μεταβιβάζεται η δύναμη που παράγει ο μυς στο σημείο κατάφυσης του (το περίοστεο) και έτσι μ ένα σύστημα μοχλών εφαρμοσμένο στις αρθρώσεις προκαλείται κίνηση. Κάτω από το ενδομύιο βρίσκεται ένα σωληνώδες έλυτρο που αποτελεί εξωτερικό περίβλημα κάθε μιας μυϊκής ίνας, το σαρκείλημα. Το σαρκείλημα έχει πολλαπλή χρησιμότητα. Δεν προστατεύει μόνο το σαρκόπλασμα, όπου περιέχονται όλα τα συστατικά του μυϊκού κυττάρου, αλλά χάρη στις ιδιότητες του άγεται το δυναμικό ενέργειας κατά μήκος της μυϊκής ίνας και έτσι διεγείρεται ο μυς. Ακόμα στο σαρκείλημα



βρίσκονται τα δορυφορικά κύτταρα στα οποία οφείλεται η υπερτροφία του μυός μετά την προπόνηση. Ένα πλούσιο δίκτυο τριχοειδών αγγείων γύρω από το ενδομύιο, που περιβάλλει τη μυϊκή ίνα, διευκολύνει την προμήθεια οξυγόνου, θρεπτικών ουσιών και ορμονών στα ενεργά κύτταρα, καθώς και την απομάκρυνση των μεταβολικών προϊόντων καύσης. Ο αριθμός των τριχοειδών αγγείων που αιματώνουν τα μυϊκά κύτταρα κυμαίνεται από 200 έως 500 για κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο (mm²) εγκάρσιος τομής ενεργού μυός. Αυτό αντιστοιχεί σε 4 έως 7 τριχοειδή για κάθε μυϊκή ίνα. Ο μυς αποτελείται από μυϊκές ίνες, που είναι τα κύτταρα του μυός και κάθε μυϊκή ίνα από πολλά μυοϊνίδια. Το μυοϊνίδιο αποτελείται από σαρκομέρια, που είναι διατεταγμένα στον επιμήκη άξονα του μυός.

Σαρκομέριο

Το σαρκομέριο είναι η λειτουργική μονάδα του συσταλτικού τμήματος του μυός. Το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα του σαρκομερίου είναι ένας γραμμωτός σχηματισμός, ανοιχτής και σκούρας απόχρωσης, που οφείλεται από παχιά και λεπτά μυονημάτια. Τα παχιά νημάτια περιέχουν μια πρωτεΐνη γνωστή ως μυοσύνη και τα λεπτά μια άλλη πρωτεΐνη και ακτίνη. Κατά τη μυϊκή συστολή τα νημάτια αυτά διολισθαίνουν με ένα συγχρονισμένο τρόπο μεταξύ τους βραχύνοντας (συστέλλοντας) το σαρκομέριο. Για το λόγο αυτό η μυοσύνη και η ακτίνη ονομάζονται και συσταλτικές πρωτεΐνες.

Μυοσύνη

Τα παχιά μυονημάτια βρίσκονται στο κεντρικό μέρος του σαρκομερίου, όπου με τη συστηματική παράλληλη διάταξη τους σχηματίζουν μια σκοτεινής απόχρωσης περιοχή, που είναι γνωστή ως ζώνη Α. Τα λεπτά μυονημάτια ακτίνης συνδέονται στις δύο άκρες του σαρκομερίου με ένα δομικό στοιχείο, που λέγεται γραμμή Z ή δίσκος Z. Στο δίσκο αυτό αγκυροβολούν τα λεπτά νημάτια ακτίνης, τα οποία εκτείνονται προς το κεντρικό μέρος του σαρκομερίου όπου αλληλοκαλύπτονται με τα παχιά μυονημάτια. Το τμήμα ανάμεσα στα άκρα δύο γειτονικών νηματίων μυοσίνης είναι φωτεινής απόχρωσης και λέγεται ζώνη Ι. Η ζώνη αυτή περιέχει μόνο νημάτια ακτίνης που δεν επικαλύπτονται από νημάτια μυοσίνης και διχοτομούνται από το δίσκο Z. Η ανοιχτόχρωμη περιοχή της ζώνης αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι

αποτελείται μόνο από λεπτά νημάτια. Πρέπει να σημειωθεί ότι ανάμεσα στις άκρες των λεπτών νηματίων και στο κέντρο της ζώνης A παρατηρείται μια ελαφρά φωτεινότερη περιοχή, που είναι γνωστή ως ζώνη H. Τέλος στο κέντρο της ζώνης αυτής διακρίνεται μια λεπτή βαθύχρωμη πρωτεϊνική λωρίδα, η γραμμή M, που συνδέει και συγκρατεί τα παχιά νημάτια, διατηρώντας έτσι την παράλληλη κανονική τους διάταξη. Το νημάτιο της μυοσίνης είναι σαν ουρά που στο άκρο της φέρει διογκωμένες σφαιρικές κεφαλές και αποτελείται από τη βαριά και την ελαφριά μερομυοσίνη. Η βαριά μερομυοσίνη ενώνεται με τις κεφαλές με έναν αυχένα, που είναι μια εύκαμπτη σύνδεση και λειτουργεί σαν στρόφιγγας ή μεντεσές. Σε κάθε νημάτιο μυοσίνης υπάρχουν έξι κεφαλές σε κανονικά διαστήματα 400 Angstroms. Οι κεφαλές αυτές λέγονται εγκάρσιες γέφυρες γιατί προεκβάλλουν προς την ακτίνη γεφυρώνοντας το κενό που υπάρχει μεταξύ μυοσίνης και ακτίνης. Οι εγκάρσιες γέφυρες είναι φορείς της μυϊκής συστολής και έχουν από δυο χημικώς ενεργές θέσεις. Η μια θέση έχει την ικανότητα σύνδεσης με την ακτίνη και η άλλη διάσπασης της τριφωσφορικής αδενοσίνης. Η διάταξη των μορίων της μυοσίνης σε αντίθετες κατευθύνσεις, επιτρέπει στις εγκάρσιες γέφυρες να κινούν κατά τη συστολή τα νημάτια της ακτίνης από τα δύο άκρα του σαρκομερίου προς το κέντρο.

Ακτίνη

Το νημάτιο της ακτίνης σχηματίζεται από σφαιροειδείς πρωτεΐνες, που είναι σαν χάντρες και συνυφαίνονται μεταξύ τους ώστε να μοιάζουν με στριμμένο κομπολόι. Με την ακτίνη συνδέονται δυο ρυθμιστικές πρωτεΐνες, που είναι ρυθμιστικοί παράγοντες της μυϊκής συστολής και χαλάρωσης, τροπομυοσίνη και η τροπονίνη. Η τροπομυοσίνη, μοιάζει με την μυοσίνη αλλά δεν έχει κεφαλές, είναι ένα διπλό νήμα τυλιγμένο κατά μήκος της ακτίνης και κάθε μόριο της εκτείνεται σε επτά σφαιρικά μόρια ακτίνης. Σφαιροειδή μόρια, τοποθετημένα κατά διαστήματα κατά μήκος των μορίων τροπομυοσίνης και διακρίνονται σε τροπονίνη T, I και C. Η τροπονίνη T συνδέει το μόριο με την τροπομυοσίνη, η τροπονίνη I αναστέλλει την αλληλεπίδραση μυοσίνης και ακτίνης και τροπονίνης C περιέχει δεσμευτικές θέσεις για το ασβέστιο, που πυροδοτεί την μυϊκή συστολή.

Επικουρικές πρωτεΐνες

Στη λειτουργία αλλά και κυρίως στη συναρμολόγηση του σαρκομερίου σπουδαίο ρόλο παίζουν μια σειρά επικουρικών πρωτεϊνών. Η τιτίνη είναι προσδεμένη στις άκρες των παχιών νηματίων της μυοσίνης και εκτείνεται από τον δίσκο Z μέχρι την γραμμή M καλύπτοντας το μισό σαρκομέριο. Είναι μια ελαστική πρωτεΐνη με πολλαπλή χρησιμότητα. Συμβάλλει στη συγκράτηση των παχιών νηματίων δένοντας τα με τους δίσκους Z, στην ελαστικότητα του μυός, στη μετάδοση της δύναμης από την μυοσίνη, στους δίσκους Z και μάλιστα ισοδύναμα για κάθε μισό του σαρκομερίου. Η τάση του μυός που παρατηρείται κατά την κατάσταση ηρεμίας οφείλεται στα παθητικά στοιχεία του μυός και ιδιαίτερα στα νημάτια της τιτίνης. Η νεμπουλίνη βρίσκεται κατά μήκος της ακτίνης και εξασφαλίζει το σωστό της μήκος. Η δεσμίνη είναι ενδιάμεσο πρωτεϊνικό νημάτιο που συνδέει τα μυονημάτια μεταξύ τους κι έτσι δεν βρίσκονται ελεύθερα στο σαρκόπλασμα. Η σύνδεση αυτή γίνεται στους δίσκους Z και καταλήγει στο σαρκόπλασμα που περιβάλλει τη μυϊκή ίνα. Τέλος, το πλευρομέριο που βρίσκεται πάνω από τους δίσκους Z συνδέει το σαρκεΐλημα με τα υποκείμενα συστατικά στοιχεία και θεωρείται ότι μεταδίδει πλάγιες δυνάμεις στον μυ, συνεπικουρώντας την κατά μήκος μετάδοση τους από τα μυοϊνίδια.

Μυϊκή συστολή

Οι χημικές και μηχανικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα σε μοριακό επίπεδο κατά τη μυϊκή συστολή χωρίζονται σε δύο διακριτές φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η ζεύξη διέγερσης –συστολής, που αναφέρεται στην αλληλουχία γεγονότων που επιφέρει η νευρική ώση στο σαρκεΐλημα μιας μυϊκής ίνας και αποτελεί πρόδρομο στάδιο της κυκλικής δράσης των εγκάρσιων γεφυρών. Η δεύτερη φάση είναι ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών, κατά των οποίου λαμβάνουν χώρα χημικά και φυσικά γεγονότα στις κεφαλές της μυοσίνης που οδηγούν στη μυϊκή συστολή και τη δυναμογένεση.

Ταξινόμηση των μυϊκών ινών

Όλες οι σκελετικές μυϊκές ίνες δεν έχουν τα ίδια μηχανικά και μεταβολικά χαρακτηριστικά και οι περισσότεροι ερευνητές σήμερα συμφωνούν πως οι μυϊκές ίνες στον άνθρωπο μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο είδη, με βάση την ταχύτητα

της συστολής τους, και σε τρία είδη με βάση τις μεταβολικές τους ιδιότητες. Έτσι, με βάση την ταχύτητα της συστολής τους διακρίνουμε τις αργές ίνες βραδείας συστολής και τις γρήγορες ίνες ταχείας συστολής. Οι μυϊκές ίνες περιέχουν ισοένζυμα μυοσίνης, τα οποία αποδομούν το ATP με διαφορετικό μέγιστο ρυθμό που καθορίζει και το μέγιστο ρυθμό ανακύκλωσης των εγκάρσιων γεφυρών και κατ'επέκταση την μέγιστη ταχύτητα συστολής της μυϊκής ίνας. Οι ίνες που περιέχουν μυοσίνη με υψηλής δραστηριότητας ATPάση ονομάζονται ταχείες ίνες και οι ίνες που περιέχουν μυοσίνη με χαμηλότερης δραστηριότητας ATPάση ονομάζονται βραδείες ίνες. Αν και ο ρυθμός ανακύκλωσης των εγκάρσιων γεφυρών είναι περίπου τέσσερις φορές ταχύτερος στις ταχείες ίνες απ' ό,τι στις βραδείες, η δύναμη που παράγεται είναι σχεδόν ίδια. Με βάση τις ιστοχημικές τους ιδιότητες διακρίνουμε τις οξειδωτικές ίνες (τύπος I), τις οξειδωγλυκολυτικές ίνες (τύπος IIa) και τις γλυκολυτικές ίνες (τύπος IIx) (Πίνακας 1). Μερικές φορές διακρίνεται και ένας τύπος IIc που ελάχιστα διαφοροποιείται από τον τύπο IIa και αντιστοιχεί μόνο στο 1% περίπου των μηκών ινών. Κάποιες ίνες περιέχουν πολλαπλά μιτοχόνδρια και έτσι έχουν υψηλή ικανότητα οξειδωτικής φωσφορυλίωσης. Αυτές οι ίνες κατηγοριοποιούνται ως οξειδωτικές και περιβάλλονται από πολλά μικρά αιμοφόρα αγγεία. Οι ίνες αυτές περιέχουν επίσης μεγάλες ποσότητες μυοσφαιρίνης, μιας πρωτεΐνης που δεσμεύει οξυγόνο και αυξάνει το ρυθμό διάχυσης του οξυγόνου μέσα στην ίνα. Η μεγάλη ποσότητα μυοσφαιρίνης στις οξειδωτικές ίνες προσδίδει στον μυ ένα βαθύ κόκκινο χρώμα και για αυτό οι ίνες αυτές αναφέρονται συχνά ως ερυθρές μυϊκές ίνες. Απεναντίας οι γλυκολυτικές ίνες έχουν λιγότερα μιτοχόνδρια αλλά φέρουν υψηλή ποσότητα γλυκογόνου και γλυκολυτικών ενζύμων. Οι ίνες αυτές περιέχουν μικρή ποσότητα μυοσφαιρίνης και περιβάλλονται από μικρότερο αριθμό αιμοφόρων αγγείων. Η έλλειψη μυοσφαιρίνης προκαλεί ωχρό χρώμα και για αυτό οι ίνες αυτές συχνά ονομάζονται λευκές μυϊκές ίνες.

Πίνακας 1. Λειτουργικές και μεταβολικές ιδιότητες των τύπων των μυϊκών ινών.

	Τύπος I	Τύπος IIa	Τύπος IIx
Λειτουργικές ιδιότητες			
Ταχύτητα συστολής (msec)	110	50	50
Αγωγιμότητα νευρικών ώσεων	Βραδεία	Ταχεία	Ταχεία
Ταχύτητα χαλάρωσης	Βραδεία	Ταχεία	Ταχεία
Παραγωγή μέγιστης ισχύος	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
Αντοχή	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Μεταβολικές ιδιότητες			
Πηγές φωσφοκρεατίνης	Φτωχές	Πλούσιες	Πλούσιες
Πηγές γλυκογόνου	Φτωχές	Πλούσιες	Πλούσιες
Πηγές τριγλυκεριδίων	Πλούσιες	Μέτριες	Φτωχές
Δραστικότητα τριφωσφατάσης μυοσίνης	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
Δραστικότητα γλυκολυτικών ενζύμων	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή
Δραστικότητα οξειδωτικών ενζύμων	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Αερόβια ικανότητα	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Αναερόβια ικανότητα	Χαμηλή	Υψηλή	Υψηλή

Η κατηγοριοποίηση των μυϊκών ινών μπορεί να αποδοθεί και σε ολόκληρες μυϊκές μονάδες, αφού όλες οι μυϊκές ίνες μιας κινητικής μονάδας είναι του ίδιου τύπου. Οι περισσότεροι μύες αποτελούνται από κινητικές μονάδες και των τριών ειδών αναμιγμένες μεταξύ τους και με βάση τις αναλογίες των τριών τύπων, οι μύες μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους σε δύναμη, μέγιστη ταχύτητα συστολής και ανθεκτικότητα στην κόπωση.

Είδη μυϊκής συστολής

Ο όρος “μυϊκή συστολή” είναι γενικός όρος που αναφέρεται στη μυϊκή δράση και συγκεκριμένα στην ενεργοποίηση του συμπλέγματος της ακτομυοσίνης για την παραγωγή δύναμης.

Ισομετρική συστολή

Κατά την ισομετρική συστολή το μήκος του δρώντος μυός παραμένει αμετάβλητο, με συνέπεια να μην αλλάζει τη γωνία της άρθρωσης και να μην παρατηρείται εμφανής εξωτερική κίνηση. Στην ισομετρική συστολή δραστηριοποιείται ο κύκλος

των εγκάρσιων γεφυρών αλλά οι προσδεμένες γέφυρες στα λεπτά νημάτια της ακτίνης είναι αδύνατον να τα μετατοπίσουν αφού το εξωτερικό φορτίο είναι πολύ μεγάλο. Έτσι οι γέφυρες παραμένουν στην κανονική τους θέση. Τα συσταλτικά στοιχεία δραστηριοποιούνται και τεντώνουν τα ελαστικά στοιχεία στη σειρά τουλάχιστον κατά την έναρξη της ισομετρικής συστολής, αλλά το συνολικό μήκος του μυός παραμένει σταθερό και αμετάβλητο. Για το λόγο αυτό κατά την ισομετρική συστολή δεν παράγεται εξωτερική κίνηση και μηχανικό έργο και αναφερόμαστε σε μια στατική κατάσταση. Κατά την ισομετρική συστολή, όπου η ταχύτητα συστολής είναι μηδέν, δραστηριοποιούνται κυρίως οι γρήγορες μυϊκές ίνες. Παράδειγμα ισομετρικής συστολής είναι όταν προσπαθούμε να σηκώσουμε ένα ασήκωτο βάρος ή να μετατοπίσουμε μια ανυπέρβλητη αντίσταση ή όταν κρατάμε έναν αλήτρα με αμετακίνητη την άρθρωση του αγκώνα.

Ομόκεντρη συστολή

Κατά τη ομόκεντρη μυϊκής συστολής βραχύνονται όχι μόνο τα συσταλτικά στοιχεία, αλλά και τα ελαστικά μετά από μια αρχική διάταση, καθώς και το συνολικό μήκος του μυός. Στην περίπτωση αυτή, ο μυς υπερνικά την αντίσταση και μετατοπίζει την εξωτερική επιβάρυνση, παράγοντας θετικό μηχανικό έργο. Σε μοριακό επίπεδο κατά τη ομόκεντρο συστολή τίθεται σε δράση ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών όπου οι γέφυρες προσδεμένες στα λεπτά νημάτια κινούνται υπό γωνία, προκαλώντας βράχυνση των σαρκομερίων.

Έκκεντρη συστολή

Κατά την έκκεντρη συστολή ο μύς επιμηκύνεται αντενεργώντας στην εξωτερική επιβάρυνση, που είναι πέρα από τη δύναμη του. Η καθαρή μυϊκή ροπή είναι στην αντίθετη κατεύθυνση από τη μεταβολή της γωνίας άρθρωσης και το μηχανικό έργο που παράγεται είναι αρνητικό. Κατά την έκκεντρη συστολή ενεργοποιείται ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών, όπως και στην ομόκεντρη συστολή, με την διαφορά ότι τα μιονημάτια της ακτίνης τραβιούνται μακριά από το κέντρο της ζώνης A και το σαρκομέριο επιμηκύνεται. Αυτό το τράβηγμα όμως κατά τις μεγάλες επιβαρύνσεις μπορεί να προκαλέσει βλάβη και τραυματισμό στα μυοϊνίδια. Παραδείγματα έκκεντρης συστολής είναι η δράση του δικεφάλου βραχιόνιου μυός κατά το

κατέβασμα του αλτήρα ή του τετρακέφαλου μηριαίου κατά το βαθύ κάθισμα με μπάρα πίσω από τον αυχένα.

Κύκλος διάτασης-βράχυνσης

Σε κινήσεις του ανθρώπινου σώματος όπου τα μέλη του υφίστανται δυνάμεις πρόσκρουσης, όπως συμβαίνει στον δρόμο, το βάδισμα και τα άλματα, η συστολή των πρωταγωνιστών μυών δεν είναι αμιγώς ομόκεντρης ή έκκεντρης, αλλά συνδυασμός και των δύο. Έτσι, στον δρόμο για παράδειγμα, πριν από την επαφή του ποδιού με το έδαφος ο γαστροκνήμιος προ-ενεργοποιείται για να αντισταθεί στην πρόσκρουση, κατά την οποία διατείνεται (έκκεντρη φάση) και για να βραχυνθεί στη συνέχεια κατά την ώθηση (ομόκεντρη φάση), ολοκληρώνοντας έναν κύκλο διάτασης-βράχυνσης. Η δράση του μυός έχει το πλεονέκτημα, ιδιαίτερα σε έντονες προσπάθειες, ότι προστατεύει τους μυς από τις τεράστιες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την πρόσκρουση με το έδαφος, αλλά και συμβάλλει στην παραγωγή μεγαλύτερης ισχύος. Οι ερευνητές έδωσαν την εξής ερμηνεία για την ανάπτυξη της πρόσθετης αυτής ισχύος: 1. Οι εκτείνοντες μύες της κνήμης ενεργοποιούνται πριν από την προσγείωση του ποδιού, δρώντας ως φρένο 2. Κατά την πρόσκρουση με το έδαφος διατείνονται αποθηκεύοντας μέρος της κινητικής ενέργειας στα ελαστικά τους στοιχεία 3. Η ελαστική ενέργεια απελευθερώνεται κατά την επόμενη ομόκεντρη φάση, καθιστώντας την ισχυρότερη. Μεγάλη σημασία όμως για την εμφάνιση του φαινομένου αυτού έχει η χρονική αλληλουχία της προ-διάτασης και διέγερσης του μυός. Αν η διέγερση είναι αργοπορημένη τότε η αποθηκευμένη ενέργεια δεν μετατρέπεται σε ισχύ, αλλά χάνεται σαν θερμότητα. Σημασία επίσης έχει η ταχύτητα με την οποία γίνεται η προ-διάταση του μυός.

Μυϊκή δύναμη

Δύναμη λέμε το αίτιο που μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση των σωμάτων ή να αλλάξει την κινητική τους κατάσταση. Η δύναμη ορίζεται από το θεμελιώδη νόμο της Δυναμικής : $F=m \cdot \gamma$ όπου F = δύναμη σε Νιούτον (N), m = μάζα σε χιλιόγραμμα (kg), γ = επιτάχυνση σε μέτρα ανά sec ανά sec (m/sec^2)

Η μυϊκή δύναμη αναφέρεται στην τάση που παράγει μια μυϊκή ίνα, ένας ολόκληρος μυς ή μια ομάδα μυών. Η μέγιστη μυϊκή δύναμη που παράγει ένας μυς εξαρτάται από νευρικούς, ιστοχημικούς και μηχανικούς παράγοντες. Έτσι ο μυς αναπτύσσει υψηλότερη μέγιστη δύναμη όταν:

- ❖ Επιστρατεύονται όλες οι κινητικές μονάδες
- ❖ Περιέχει υψηλότερο ποσοστό (%) ινών ταχείας συστολής
- ❖ Συστέλλεται έκκεντρα
- ❖ Διατείνεται πριν συσταλεί
- ❖ Το αρχικό μήκος συστολής είναι της ηρεμίας
- ❖ Η ταχύτητα συστολής είναι μηδενική

Δυναμόμετρα

Για την αξιολόγηση της μυϊκής δύναμης χρησιμοποιούμε τα δυναμόμετρα. Υπάρχουν δύο είδη δυναμόμετρων, τα μηχανικά και τα ηλεκτρομηχανικά δυναμόμετρα. Τα μηχανικά δυναμόμετρα μετρούν συμβατικά τη μέγιστη ιστοτονική συστολή μιας μυϊκής ομάδας, όπως των καμπτήρων του χεριού ή των εκτεινόντων της κνήμης. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή της συμπίεσης όπου εξωτερική δύναμη συμπιέζει ένα μεταλλικό ελατήριο ενσωματωμένο στο όργανο, μετατοπίζοντας ένα μηχανικό δείκτη ανάλογα με την ασκούμενη πίεση. Τα ηλεκτρομηχανικά δυναμόμετρα έχουν δυνατότητα μέτρησης της δύναμης κατά την ισομετρική, ομόκεντρη και έκκεντρη δράση του μυός. Βασίζονται στη σύγχρονη τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών που ποσοτικοποιούν γρήγορα συνάψεις, ροπές, επιταχύνσεις και ταχύτητες των μελών του σώματος σε διάφορες κινήσεις. Το πιο διαδεδομένο και καθιερωμένο ηλεκτρομηχανικό δυναμόμετρο είναι το ισοκινητικό. Το ισοκινητικό δυναμόμετρο έχει ενσωματωμένο μηχανισμό ελέγχου σταθερής ταχύτητας με την οποία κινείται ο βραχίονας όπου εφαρμόζεται η δύναμη. Έτσι η

παραγόμενη δύναμη καταγράφεται καθ' όλη τη τροχιά της κίνησης του μέλους του σώματος με προκαθορισμένη σταθερή ταχύτητα από 0 έως 360 μοίρες ανά δευτερόλεπτο. Ένας ηλεκτρονικός ολοκληρωτής σε σύνδεση με έναν υπολογιστή μπορεί να υπολογίσει ανά πάσα στιγμή τη μυϊκή απόδοση δηλαδή τη δύναμη, τη ροπή, το έργο και την ισχύ. Το συγκριτικό πλεονέκτημα του ισοκινητικού δυναμόμετρου, σε σχέση με τα μηχανικά δυναμόμετρα ή τη μέθοδο 1-ME είναι ότι καταγράφει την καμπύλη δύναμης ή ροπής καθ' όλη την έκταση της κίνησης του μέλους. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ενδελεχούς αξιολόγησης της νευρομυϊκής κατάστασης των αντίστοιχων μυών, που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην αποκατάσταση μετά από τραυματισμό.

Ορισμός καθυστερημένου μυϊκού πόνου

Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος (ΚΜΠ) παρατηρείται κυρίως μετά από έκκεντρη δράση των μυών. Παραδείγματα φυσικών δραστηριοτήτων όπου οι πρωταγωνιστές μύες δρουν αμιγώς με έκκεντρη συστολή, δηλαδή με επιμήκυνση τους, είναι το τρέξιμο ή το βάδισμα σε επικλινές επίπεδο, το κατέβασμα σε σκάλα κ.α. Σε πειράματα όπου οι δοκιμαζόμενοι βαδίζουν προς τα πίσω σε επικλινές δαπεδοεργόμετρο, προκαλείται καθυστερημένος πόνος στους πρόσθιους μηριαίους, γαστροκνήμιους και γλουτιαίους μυς και των δυο ποδιών, οι οποίοι κατά τη δραστηριότητα αυτή δρουν έκκεντρα. Αντίθετα, δεν προκαλείται καθυστερημένος μυϊκός πόνος στους ίδιους μυς όταν βραχύνονται κατά το βάδισμα προς τα εμπρός σε επικλινές δαπεδοεργόμετρο. Το ίδιο συμβαίνει και κατά το τρέξιμο. Παρατηρείται καθυστερημένος μυϊκός πόνος στους μυς που δρουν πλειομετρικά όταν κάποιος τρέχει σε κατηφορικό έδαφος ενώ τέτοιο πόνο δεν αισθάνεται όταν τρέχει σε επίπεδη επιφάνεια. Όπου οι ίδιοι μύες συστέλλονται ομόκεντρα.

Χρόνος αντίδρασης

Ο χρόνος που μεσολαβεί από ένα ερέθισμα μέχρι την αρχή της ανταπόκρισης του μυός (Dickstein et al, 1993). Ο χρόνος αντίδρασης είναι μικρότερος στα χέρια από ότι στα πόδια σε οπτικό ή ακουστικό ερέθισμα (Montes-Mico et al. 2000).

Λειτουργία του μυός

Ο σκελετικός μυς εκτελεί διαφορετικές λειτουργιών, οι οποίες θεωρούνται σημαντικές για την αποτελεσματική απόδοση του ανθρώπινου σώματος. Οι τρεις λειτουργίες που αφορούν συγκεκριμένα στην ανθρώπινη κίνηση, είναι: α) η συμβολή στην παραγωγή της κίνησης β) η βοήθεια στη σταθερότητα των αρθρώσεων και γ) η διατήρηση της σωστής στάσης και θέσης του σώματος.

Μυϊκή ενδυνάμωση

Ως ασκούμενη δύναμη ορίζεται η μέγιστη ποσότητα της παραγόμενης δύναμης από έναν μυ ή από μια μυϊκή ομάδα στη θέση της πρόσφυσης με το σκελετό. Μηχανικά, η δύναμη αυτή είναι ίση με τη μέγιστη ισομετρική ροπή σε μια ορισμένη αρθρική γωνία. Όμως η δύναμη μετριέται συνήθως με την μετακίνηση του βαρύτερου δυνατού εξωτερικού φορτίου σε μία μόνον επανάληψη και σε συγκεκριμένο εύρος κίνησης. Η μετακίνηση αυτή δεν εκτελείτε με σταθερή ταχύτητα, δεδομένου ότι οι αρθρικές κινήσεις γίνονται συνήθως με ταχύτητες που ποικίλουν αρκετά μέσα στο εύρος κίνησης. Πολλές μεταβλητές επηρεάζουν τη μέτρηση της δύναμης. Ορισμένες από αυτές περιλαμβάνουν το είδος της μυϊκής δράσης (ισομετρική, ομόκεντρη, έκκεντρη) και την ταχύτητα κίνησης του μέλους. Επίσης τα χαρακτηριστικά των σχέσεων μήκος - τάσης, δύναμη - γωνία και δύναμη - χρόνος επηρεάζουν τις μετρήσεις δύναμης, καθώς αυτή ποικίλλει σε όλο το εύρος της κίνησης.

Οι μετρήσεις δύναμης περιορίζονται από την αδύναμη αρθρική θέση. Η προπόνηση του μυός για τη βελτίωση της δύναμης του εστιάζεται κυρίως στη δημιουργία μεγαλύτερης εγκάρσιας διατομής του μυός και στη μεγαλύτερη τάση ανά περιοχή αυτής της εγκάρσιας διατομής. Αυτό ισχύει για όλα τα άτομα, και σε νέους και ηλικιωμένους. Η μεγαλύτερη εγκάρσια διατομή ή η υπερτροφία, που συνδέεται με την προπόνηση αντιστάσεων οφείλεται στην αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών και του αριθμού των τριχοειδών αγγείων του μυός. Ορισμένοι ερευνητές πιθανολογούν ότι οι μυϊκές ίνες μπορούν να αυξήσουν τον αριθμό τους με διαχωρισμό, αλλά αυτό δεν έχει τεκμηριωθεί πειραματικά στο μυϊκό σύστημα του ανθρώπου.



Είδη μυϊκών συστολών

Η μυϊκή συστολή διακρίνεται σε ισομετρική συστολή, ομόκεντρη (μείωση του μήκος του μυός) και έκκεντρη (αύξηση του μήκους του μυός).

Ισομετρική συστολή συμβαίνει όταν οι μύες δεν συμμετέχουν πάντα άμεσα στην παραγωγή της κίνησης σε μια άρθρωση. Σε αυτήν την περίπτωση ο μυς προσπαθεί να μειώσει το μήκος του μυός (π.χ. μικραίνει το μήκος των μυοϊνιδίων και με τον τρόπο αυτό διατείνονται τα ελαστικά στοιχεία στη σειρά αυξάνοντας την τάση αλλά δεν υπερνικά το εξωτερικό φορτίο) δημιουργώντας ροπή η οποία διατηρεί σταθερό το εξωτερικό φορτίο (Nordin and Frankle 2001).

Ομόκεντρη συστολή συμβαίνει όταν οι μύες αναπτύσσουν σημαντική τάση για να υπερκαλύψουν της αντίσταση του μέλους του σώματος, οι μύες μικραίνουν σε μήκος και προκαλούν κίνηση στην άρθρωση. Η ροπή που παράγεται από τους μύες είναι της ίδιας διεύθυνσης με την αλλαγή της γωνίας της άρθρωσης. Ένα παράδειγμα ομόκεντρης συστολής είναι η συστολή των τετρακέφαλων κατά την έκταση του γόνατου όταν ανεβαίνουμε σκάλες (Nordin and Frankel 2001).

Έκκεντρη συστολή συμβαίνει όταν οι μύες δεν μπορούν να αναπτύξουν τάση ώστε να υπερνικήσουν το εξωτερικό φορτίο. Το μήκος του μυός μεγαλώνει στην περίπτωση αυτή. Η ροπή που παράγεται από τους μύες είναι της αντίθετης διεύθυνσης με την αλλαγή της γωνίας της άρθρωσης. Ένας από τους σκοπούς της έκκεντρης συστολής είναι η επιβράδυνση της κίνησης μιας άρθρωσης. Για παράδειγμα, όταν ένα άτομο κατεβαίνει σκαλοπάτια, οι πρόσθιοι μηριαίοι συσπώνται έκκεντρα για να μειώσει την ταχύτητα της άρθρωσης του γόνατου και έτσι να μειωθεί η ταχύτητα του μέλους. (Nordin and Frankel 2001).

Έκκεντρη συστολή- Μυϊκός τραυματισμός

Είναι γενικά αποδεκτό ότι υπάρχουν δύο χαρακτηριστικά σημάδια τραυματισμού του μυός αμέσως μετά από προπόνηση έκκεντρων συστολών. Το ένα είναι τα κατεστραμμένα σαρκομέρια στα μυοϊνίδια και το άλλο είναι η δυσλειτουργία στο σύστημα διάτασης-βράχυνσης. Παραμένει σημείο διαφωνίας μεταξύ δύο

ερευνητών ποια από τις δύο αυτές καταστάσεις συμβαίνει πρώτη. Ομάδα ερευνητών (Morgan and Allen 1999) υποστηρίζουν ότι η διαδικασία του τραυματισμού ξεκινάει με την διάταση πέραν του κανονικού, των σαρκομερίων. Άλλοι ερευνητές (Warren et al. 2001) ισχυρίζονται ότι το 75% περίπου της μείωσης της δύναμης μετά από έκκεντρη προπόνηση είναι αποτέλεσμα της δυσλειτουργίας του συστήματος διάτασης βράχυνσης. Ο τραυματισμός του μυός που κορυφώνετε μερικές μέρες μετά την άσκηση αποδόθηκε από τους ερευνητές στην φυσική καταστροφή των στοιχείων του μυός που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία του μυός (Morgan and Allen 1999; Warren et al. 2001).

Παρόλο που ο μυϊκός ιστός είναι εξαιρετικά ελαστικός, αλλαγές της ομοιόμορφης δομής του μπορεί να συμβούν ως αποτέλεσμα ασυνήθιστων απαιτήσεων κατά την άσκηση (Horreler 1986). Ο μυϊκός τραυματισμός, περιλαμβάνει καταστροφή του σαρκελήματος (Armstrong 1990), πρήξιμο ή καταστροφή του σαρκοπλασματικού δικτύου (Armstrong 1990), παραμόρφωση των συσταλών στοιχείων του μυοϊνιδίου (Lieber and Friden 1988), καταστροφή του κυτταροπλάσματος (Friden 1984) καθώς και πρόκληση ανωμαλιών του εξωκυττάριου χώρου της μυϊκής ίνας (Stauber 1989). Η άσκηση που περιλαμβάνει έκκεντρες συστολές σχετίζεται περισσότερο με τον τραυματισμό του μυός από ότι η άσκηση που περιλαμβάνει ομόκεντρες ή ισομετρικές συσπάσεις (Armstrong et al. 1991; Friden and Lieber 1992). Αν και η κατανάλωση οξυγόνου για την ίδια παραγωγή δύναμης είναι χαμηλότερη κατά την έκκεντρη απ' ότι κατά την ομόκεντρη άσκηση (Dudley et al. 1991), η έκκεντρη άσκηση προκαλεί μεγαλύτερο μυϊκό τραυματισμό (Jamurtas et al. 2000). Ο μυϊκός πόνος, η πτώση της μυϊκής δύναμης, η αποδιοργάνωση της δομής του μυός και η συγκέντρωση μυϊκών πρωτεϊνών στο αίμα είναι μερικά από τα σημάδια της πρόκλησης μυϊκού τραυματισμού μετά από έκκεντρη άσκηση. Τέτοιου είδους μυϊκός τραυματισμός φαίνεται να επηρεάζεται και από το μήκος του μυός κατά τη διάρκεια της έκκεντρης άσκησης.

Η σχέση δύναμης-ταχύτητας σε μια έκκεντρη μυϊκή δράση είναι αντίθετη από αυτήν κατά την ομόκεντρη συστολή. Όταν ένα φορτίο μεγαλύτερο από τη μέγιστη

ισομετρική δύναμη εφαρμόζεται σε μια μυϊκή ίνα αυτή θα αρχίσει να επιμηκύνεται όταν το φορτίο είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από το μέγιστο ισομετρικό, η ταχύτητα επιμήκυνσης και οι αλλαγές του μήκους των σαρκομερίων θα είναι μικρές. Όταν ένα φορτίο είναι μεγαλύτερο του 50% του μέγιστου ισομετρικού, ο μυς επιμηκύνεται με υψηλή ταχύτητα. Στην έκκεντρη μυϊκή δράση η τάση αυξάνεται με αύξηση της ταχύτητας επιμήκυνσης, επειδή ο μυς διατείνεται ενώ συσπάται.

Έκκεντρη άσκηση και τύποι μυϊκών ινών

Πολλές μελέτες έχουν ασχοληθεί με την ευαισθησία των διαφορετικών τύπων μυϊκών ινών στον τραυματισμό μετά από προπόνηση έκκεντρων συστολών. Αναφορές έχουν γίνει για προδιάθεση στον τραυματισμό των γρήγορων μυϊκών ινών κατά την διάρκεια της κίνησης (Armstrong et al. 1983; Mair et al. 1992). Στις αιτίες που ενίσχυσαν αυτήν την άποψη συμπεριλαμβάνονται το υψηλό κατώφλι ενεργοποίησης και η σημασία του ρόλου των κινητικών αυτών μονάδων στη στάση του σώματος. Όταν μύες με σύσταση αργών και γρήγορων κινητικών μονάδων εκτέλεσαν άσκηση που περιλάμβανε έκκεντρες συστολές οι γρήγορες κινητικές μονάδες ήταν περισσότερο επιρρεπείς στην κόπωση εξαιτίας της έλλειψης οξειδωτικής ικανότητας (Friden and Lieber 1998), ή της μεγαλύτερης παραγωγής δύναμης (Appell et al. 1992). Σε μια πρόσφατη μελέτη φαίνεται μια προτίμηση στον τραυματισμό των γρήγορων οξειδωτικών-γλυκολυτικών μυϊκών ινών μετά από προπόνηση έκκεντρων συστολών (Vijayan et al. 2001). Άλλοι ερευνητές προτείνουν ότι ένας συνδυασμός παραγόντων που περιλαμβάνουν τόσο τα συστατικά όσο και τα ελαστικά στοιχεία του μυός οδηγούν στην καταστροφή των γρήγορων οξειδωτικών-γλυκολυτικών μυϊκών ινών (MacPherson et al. 1996). Επίσης οι Lieber και Friden (1999) προτείνουν ότι η μεγάλη ποσότητα τραυματισμένων γρήγορων γλυκολυτικών μυϊκών ινών μετά από έκκεντρη άσκηση είναι αποτέλεσμα της μεγάλης καταπόνησης τους και του τραυματισμού τους εξαιτίας του μικρού τους μήκους.

Μια σημαντική παράμετρος στην υπόθεση των μη ομοιόμορφων σαρκομερίων είναι ότι η μυϊκός τραυματισμός εξαρτάται από το εύρος της κίνησης στο οποίο εκτελούνται οι έκκεντρες συστολές. Υπάρχει η πιθανότητα, το βέλτιστο μήκος

παραγωγής δύναμης για διαφορετικού τύπου μυϊκές ίνες να μην είναι το ίδιο. Αυτή η κατάσταση οδηγεί μερικές μυϊκές ίνες σε μεγαλύτερη διάταση από κάποιες άλλες και να βρίσκονται έτσι στο καθοδικό σκέλος της καμπύλης της σχέσης μήκους-δύναμης με επακόλουθο την πρόκληση του τραυματισμού τους.

Επαναλαμβανόμενη έκκεντρη άσκηση

Η εκτέλεση μιας μόνο προπόνησης έκκεντρων συστολών που προκαλεί μυϊκό τραυματισμό έχει ως αποτέλεσμα τέτοια προσαρμογή του μυός ώστε ο μυϊκός τραυματισμός να είναι μικρότερος όταν η άσκηση επαναληφθεί στο διάστημα από μια εβδομάδα έως 6 μήνες μετά την αρχική προπόνηση (Clarkson et al. 1992; McHugh et al. 1999). Για παράδειγμα, υπάρχει σημαντικά μικρότερος μυϊκός πόνος και γρηγορότερη αποκατάσταση της δύναμης μετά από μια δεύτερη προπόνηση σε σχέση με την πρώτη προπόνηση. Επίσης μετά την πρώτη προπόνηση υπάρχει μια πάρα πολύ μεγάλη αύξηση στην συγκέντρωση κρεατινικής κινάσης στον ορό του αίματος, αλλά μετά την δεύτερη προπόνηση η συγκέντρωση κρεατινικής κινάσης στο αίμα είναι μικρότερη (Clarkson and Tremblay 1988; Balnave and Thompson 1993). Αν η δεύτερη έκκεντρη προπόνηση εκτελεστεί 2 με 6 μέρες μετά την πρώτη προπόνηση (όπου ο μυ δεν έχει εντελώς επανέλθει), ο χρόνος αποκατάστασης από την πρώτη προπόνηση παραμένει ανεπηρέαστος, άρα η δεύτερη έκκεντρη προπόνηση δεν καθυστερεί την αποκατάσταση (Nosaka and Clarkson 1995; Paddon-Jones et al. 2000).

Ο μηχανισμός της επίδρασης της επαναλαμβανόμενης άσκησης δεν είναι πλήρως κατανοητός. Μπορούμε όμως να υποθέσουμε ότι ο τραυματισμός που προκαλείται στην πρώτη προπόνηση δημιουργεί προσαρμογή τέτοια που ο μυς μπορεί να αντισταθεί σε μια δεύτερη έκκεντρη προπόνηση (Clarkson and Tremblay 1988). Δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν σε μια ερευνητική μελέτη (Brown et al. 1997) 10, 30 και 40 έκκεντρες συστολές στην πρώτη προπόνηση και 3 εβδομάδες αργότερα κάθε ομάδα εκτέλεσε 50 μέγιστες έκκεντρες συστολές. Παρόλο που μετά την άσκηση με 10 συστολές ήταν μικρός ο τραυματισμός που παρατηρήθηκε (μικρή αύξηση της συγκέντρωσης κρεατινικής κινάσης), υπήρξε προσαρμογή κατά τη δεύτερη

μεγαλύτερης επιβάρυνσης άσκηση τέτοια ώστε να μην οδηγήσει σε αύξηση της συγκέντρωσης κρεατινικής κινάσης.

Δείκτες μυϊκού τραυματισμού

Κρεατινική κινάση. Πολλές μελέτες έχουν εντοπίσει την αύξηση της συγκέντρωσης πρωτεϊνών του μυός στο αίμα μετά από προπόνηση ως αποτέλεσμα μυϊκού τραυματισμού (Clarkson and Hubal 2002; Clarkson et al. 1992; Paschalis et al. 2007). Παρόλο που όλες αυτές οι πρωτεΐνες φαίνεται να αυξάνονται μετά από μυϊκό τραυματισμό μετά από άσκηση, η κρεατινική κινάση έχει αποκομίσει τη μεγαλύτερη προσοχή, ίσως γιατί το μέγεθος της αύξησή της είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τις υπόλοιπες πρωτεΐνες. Παρόλο αυτά, είναι γεγονός ότι δύο τύποι άσκησης που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μελέτη του μυϊκού τραυματισμού, το κατηφορικό τρέξιμο και οι μεγάλης έντασης έκκεντρες συστολές, προκαλούν πολύ διαφορετικές συγκεντρώσεις στην κρεατινική κινάση. Για παράδειγμα, μετά από κατηφορικό τρέξιμο η συγκέντρωση κρεατινικής κινάσης κυμαίνεται μεταξύ 100-600 U/l, 12-24 ώρες μετά την άσκηση (Byrnes et al. 1985; Schwane et al. 1983), ενώ μετά από προπόνηση έκκεντρων συστολών η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 2.000-10.000 U/l 48 ώρες περίπου μετά την άσκηση.

Καθυστερημένος μυϊκός πόνος. Είναι γνωστό από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα ότι την επόμενη μέρα από έκκεντρη άσκηση υπάρχει δυσκαμψία και πόνος στους μύες (Hough 1902). Νεότερες μελέτες, ενισχύοντας την πρώτη αυτή παρατήρηση, έχουν δείξει ότι ο μυϊκός πόνος εμφανίζεται αρκετές ώρες μετά την εκτέλεση προπόνησης που προκάλεσε μυϊκή καταστροφή και κορυφώνεται 24-48 ώρες μετά την άσκηση (Newham et al. 1983; Clarkson and Nosaka 1992; Eddeling and Clarkson 1989). Ο βαθμός έντασης του πόνου διαφέρει μεταξύ διαφορετικών τύπων άσκησης, κυρίως όμως εξαρτάται από το βαθμό του τραυματισμού του μυός. Για παράδειγμα, ασκήσεις που προκαλούν μυϊκό τραυματισμό όπως το κατηφορικό τρέξιμο, προκαλούν τιμές πόνου 4-5 στην κλίμακα από 1 (καθόλου πόνος) μέχρι 10 (πάρα πολύ πόνος).

Η μεταβολή στις τιμές του πόνου συμπίπτει με την παρατεταμένη μείωση της παραγωγής δύναμης και την αύξηση της συγκέντρωσης κρεατινικής κινάσης στο αίμα. Παρόλο που η ένταση του πόνου διαφέρει από το κατηφορικό τρέξιμο σε σχέση με τη έκκεντρη άσκηση, η χρονική ανταπόκριση είναι ίδια. Είναι πιθανό ο πόνος να είναι αποτέλεσμα οιδήματος και πίεσης μέσα στο μυ. Ερευνητές (Friden et al. 1988) παρατήρησαν το μέγεθος της μυϊκής ίνας και την ενδομυϊκή πίεση μετά από έκκεντρη προπόνηση στον πρόσθιο κνημιαίο. Σαράντα οχτώ ώρες μετά την άσκηση, με βιοψία αναλύθηκαν δείγματα μυϊκών ινών όπου βρέθηκαν ότι οι μυϊκές ίνες ήταν μεγαλύτερες και με μεγαλύτερη ενδομυϊκή πίεση. Όσο μεγαλύτερη ήταν η αύξηση του μεγέθους των μυϊκών ινών, τόσο περισσότερο χρειάστηκε η πίεση των υγρών του ιστού να επιστρέψει στο φυσιολογικό. Άλλοι ερευνητές (Crenshaw et al. 1994) επιβεβαίωσαν ότι το οίδημα των μυϊκών ινών και η ενδομυϊκή πίεση εξαιτίας των υγρών στους μύες των εκτεινόντων του γονάτου ήταν η αιτία της πρόκλησης πόνου μετά από έκκεντρη άσκηση. Παρόλο που το οίδημα παρατηρείται μετά από έκκεντρη άσκηση, το οίδημα που εμφανίζεται στις μαγνητικές απεικονίσεις δεν έχει την ίδια χρονική πορεία με τον πόνο (Rodenburg et al. 1994).

Πτώση της απόδοσης δύναμης. Η παρατεταμένη μείωση της δύναμης μετά από έκκεντρη άσκηση θεωρείται μια από τις πιο αξιόπιστες μετρήσεις του μυϊκού τραυματισμού στους ανθρώπους (Warren et al. 1999). Η μείωση της δύναμης που παρατηρείται αμέσως μετά από ομόκεντρη άσκηση που δεν προκαλεί μυϊκό τραυματισμό, επανέρχεται σε λίγες ώρες και γενικά θεωρείται ότι συμβαίνει εξαιτίας μεταβολικής ή νευρικής κόπωσης (Edwards et al. 1977). Τα πρωτόκολλα ομόκεντρης προπόνησης γενικά μειώνουν της απόδοσης κατά 10-30% αμέσως μετά την άσκηση, με τη δύναμη να επανέρχεται σε φυσιολογικά επίπεδα λίγες ώρες μετά (Newham et al. 1983; Jones et al. 1989). Έκκεντρη προπόνηση που βασίζεται σε κατηφορικό τρέξιμο και δημιουργεί μικρό μυϊκό τραυματισμό συνήθως προκαλεί 10-30% μείωση της δύναμης αμέσως μετά την άσκηση με μεγαλύτερη περίοδο αποκατάστασης (μέχρι 24 ώρες) σε σχέση με την ομόκεντρη άσκηση (Eston et al. 1996; Mizrahi et al. 2001).

Ο μεγαλύτερος βαθμός μείωσης της μυϊκής απόδοσης και η μεγαλύτερη περίοδος αποκατάστασης σχετίζεται περισσότερο με τη μεγάλης έντασης έκκεντρης άσκησης (Clarkson and Newham 1995). Η μεγάλης έντασης έκκεντρης άσκησης μπορεί να προκαλέσει μέχρι 65% μείωση της ικανότητας παραγωγής δύναμης σε σύγκριση με τις τιμές πριν την άσκηση (Newham et al.1987; Saxton et al. 1995). Από μελέτες σε ζώα παρατηρήθηκε ότι αυτή η μεγάλη απώλεια δύναμης συμβαίνει εξαιτίας του τραυματισμού που δημιουργήθηκε σε περιοχές του μυός που ασκήθηκε με μεγάλη ένταση (Armstrong, 1990; Lieber and Friden 1993). Η παρατεταμένη πτώση της δύναμης μετά την έκκεντρη άσκηση μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 2 βδομάδες (Newham et al.1987). Αυτός ο μεγάλος χρόνος αποκατάστασης είναι αποτέλεσμα του τραυματισμού κατά την διάρκεια της αρχικής άσκησης και εξαιτίας της επιπλέον καταστροφής κατά τη διαδικασία αποκατάστασης του μυός (Clarkson and Hubal 2002).

Μείωση της δύναμης σε δύο χρονικές στιγμές. Ερευνητές ανέφεραν (MacIntyre et al. 1996) μείωση της έκκεντρης ροπής σε δύο χρονικές στιγμές μετά από 300 έκκεντρες συστολές στους πρόσθιους μηριαίους μιας ομάδας 10 ενήλικων νεαρών γυναικών. Παρατήρησαν μια μείωση της ροπής αμέσως μετά την άσκηση, βελτίωση της παραγωγής ροπής 2-4 ώρες μετά την άσκηση και μια δεύτερη μείωση της ροπής, μικρότερη από την πρώτη, μεταξύ 20-24 ώρες μετά την άσκηση. Παρόλο που οι ερευνητές αυτοί (MacIntyre et al. 1996) ήταν οι πρώτοι που αναφέρανε μείωση της δύναμης σε δύο χρονικές στιγμές σε ανθρώπους, πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες μελέτες δεν αξιολογούν τη δύναμη μέχρι 24 ώρες μετά την άσκηση και χρησιμοποιούν για την αξιολόγηση της ισομετρικές συστολές παρά ομόκεντρες ή έκκεντρες. Ο MacIntyre και οι συνεργάτες του(1996) πρότειναν ότι οι δεύτερη πτώση της ροπής μπορεί να σχετίζεται με την επιδείνωση του τραυματισμού είτε εξαιτίας της εμφάνισης φλεγμονής είτε εξαιτίας του μυϊκού πόνου. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι η μεγαλύτερη μείωση της δύναμης συμβαίνει αμέσως μετά την άσκηση, πιθανώς ο πόνος δεν παίζει κανένα ρόλο στην αρχική μείωση της δύναμης. Επίσης, έχουν αναφερθεί μελέτες (Newham et al.1987) με αντίθετα ευρήματα, ότι δηλαδή οι δοκιμαζόμενοι δεν μπορούν να ενεργοποιήσουν πλήρως τους μύες τους εξαιτίας του πόνου. Οι ερευνητές αυτοί βρήκαν ότι πολύ μεγάλη επιβάρυνση με

ηλεκτρική διέγερση κατά τη διάρκεια μέγιστης εκούσιας συστολής δεν οδήγησε σε επιπλέον παραγωγή δύναμης (Newham et al. 1987). Οι δοκιμαζόμενοι παρά τον πόνο που αισθάνονται, μπορούσαν να ενεργοποιήσουν πλήρως τους μύες τους.

Σημάδια μυϊκού τραυματισμού στη δομή του μυοϊνιδίου. Έχει αποδειχθεί ότι η έκκεντρη άσκηση οδηγεί σε αλλοίωση των δομικών στοιχείων του μυοϊνιδίου (Friden et al. 1981; Newham et al. 1983a). Οι περισσότερες αποδείξεις προέρχονται από εξετάσεις μυϊκού ιστού σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο που εμφανίζει σαρκομέρια σε αποδιοργάνωση ή σε υπερδιάταση, μισά σαρκομέρια, βλάβη στις γραμμές Z, κατά τόπους αποδιοργάνωσης των νημάτιων ακτίνης- μιοσίνης και τραυματισμού του σαρκοπλασματικού δικτύου (Morgan and Allen 1999). Η παρουσία σαρκομερίων που έχουν διαταθεί πέρα από το φυσιολογικό κατά το ήμισυ, ενώ το άλλο μισό τους συστέλλεται σε κανονικό μήκος, είναι απόδειξη δομικής καταστροφής μετά από έκκεντρες συστολές (Brown and Hill 1991; Talbot and Morgan 1996; MacPherson et al. 1997).

Γωνία αντίδρασης της άρθρωσης του γονάτου

Η συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες ειδικά όταν αυτές περιλαμβάνουν έκκεντρες συστολές οδηγούν σε μυϊκό τραυματισμό (Nosaka and Sakamoto 2001), ενώ παράλληλα έχει βρεθεί αύξηση της γωνίας αντίδρασης του μέλους κατά την απελευθέρωση (Paschalis et al. 2007; Paschalis et al. 2008). Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στην καθημερινότητά μας που καλούμαστε να αντιδράσουμε σε ερεθίσματα διαφορετικά από οπτικά ή ακουστικά, για παράδειγμα, όταν παραπατάμε. Σε προηγούμενες έρευνες (Paschalis et al. 2007; Paschalis et al. 2008) η γωνία αντίδρασης αξιολογήθηκε με μία νέα μέθοδο και με τη χρήση ενός συνηθισμένου δυναμόμετρου. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να σταματήσουν την πτώση του μέλους όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά την απελευθέρωσή του. Στη μέθοδο αυτή της αξιολόγησης το ερέθισμα προέρχεται από τον ίδιο τον μυ σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, όπου οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να αντιδράσουν σε οπτικό ή ακουστικό ερέθισμα (Ives et al. 1993; Miles et al. 1997). Στις έρευνες αυτές βρέθηκε ότι η γωνία αντίδρασης επηρεάζεται αρνητικά από την έκκεντρη άσκηση (Paschalis et al. 2007; Paschalis et al. 2008) αλλά αποκαθίσταται

όταν η ίδια άσκηση επαναλαμβάνεται τέσσερις εβδομάδες αργότερα (Paschalis et al. 2008).

Μεθοδολογία

Δοκιμαζόμενοι

Είκοσι υγιείς γυναίκες συμμετείχαν στην παρούσα μελέτη οι οποίες εθελοντικά προσφέρθηκαν να συμμετάσχουν στην παρούσα έρευνα. Οι δοκιμαζόμενες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες από τις οποίες η μία εκτέλεσε ομόκεντρη προπόνηση ($n = 10$, ηλικία $21,0 \pm 0,4$ έτη, μάζα $62,3 \pm 1,3$ kg, ύψος $166,1 \pm 1,4$ εκατ., ποσοστό λίπους $22,0 \pm 0,9\%$ και VO_{2max} $38,2 \pm 1,5$ ml/kg /min) και η άλλη έκκεντρη προπόνηση ($n = 10$, ηλικία $20,0 \pm 0,3$ έτη, μάζα $63,0 \pm 1,6$ kg, ύψος $167,9 \pm 1,2$ εκατ., ποσοστό λίπους $23,2 \pm 0,7\%$ και VO_{2max} $38,9 \pm 1,6$ ml/kg/min). Οι δοκιμαζόμενες συμμετείχαν στη μελέτη με την προϋπόθεση ότι δεν συμμετείχαν σε άσκηση που περιελάμβανε έκκεντρες συστολές για τουλάχιστον έξι μήνες πριν τη συμμετοχή τους στην έρευνα. Τους δόθηκαν οδηγίες για μη συμμετοχή τους σε άλλη προπονητική δραστηριότητα κατά την περίοδο της συμμετοχής τους στη παρούσα μελέτη. Οι εθελόντριες ήταν σταθερές στα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους για τουλάχιστον έξι μήνες και δεν συμμετείχαν σε οργανωμένη έκκεντρη προπόνηση για τουλάχιστον έξι μήνες πριν από την μελέτη. Μια ενυπόγραφη ενημέρωση-συγκατάθεση που εγκρίθηκε από την τοπική πανεπιστημιακή Επιτροπή βιοηθικής λήφθηκε από όλους τους συμμετέχοντες αφότου ενημερώθηκαν για όλους τους κινδύνους και τα οφέλη της συμμετοχής τους στη μελέτη.

Μετρήσεις

Οι δοκιμαζόμενες εκτέλεσαν μία φορά την εβδομάδα προπόνηση ομόκεντρων ή έκκεντρων συστολών στο ισοκινητικό δυναμόμετρο για 8 εβδομάδες (Cybex, Ronkonkoma, NY). Η προπόνηση αποτελούνταν από 5 σειρές των 15 επαναλήψεων με διάλειμμα 2 λεπτών. Πριν και μετά από την προπόνηση της πρώτης και όγδοης εβδομάδας αξιολογήθηκε η ομόκεντρη και η έκκεντρη δύναμη των πρόσθιων μηριαίων, το εύρος της κίνησης, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος κατά την βάδιση η γωνία εφαρμογής της μέγιστης ισομετρικής ροπής στις 30° , 45° και 60° κάμψη

του γόνατος. Πριν από κάθε προπόνηση, οι συμμετέχοντες εκτελούσαν προθέρμανση 8 λεπτών σε κυκλοεργόμετρο Monark (Vansbro, Σουηδία) με 70 περιστροφές/λεπτό και αντίσταση 50Watt. Κάθε συμμετέχων πραγματοποίησε προπόνηση εξοικείωσης 5 ημέρες πριν από την αρχή των πειραματικών διαδικασιών. Η εξοικείωση περιέλαβε 8-10 ισοκινητικές ομόκεντρες ή έκκεντρες συστολές για όλους τους συμμετέχοντες στην πολύ χαμηλή ένταση μη ικανή να προκαλέσει τον μυϊκό τραυματισμό. Η ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση εκτελέστηκε και στους εκτείνοντες του γόνατος με γωνιακή ταχύτητα $60^{\circ}/s$ (εύρος κίνησης γόνατος από τις 0° πλήρη έκταση στις 90°). Πραγματοποιήθηκαν 3 προσπάθειες μέγιστης ομόκεντρης ή έκκεντρης δύναμης και η καλύτερη χρησιμοποιήθηκε για τη αξιολόγηση της μέγιστης ροπής.

Η αξιολόγηση του εύρους κίνησης εκτελέστηκε παθητικά από τον ερευνητή στο ισοκινητικό δυναμόμετρο. Ο ερευνητής μετακινούσε το μέλος από την πλήρη έκταση (0°) στην κάμψη με πολύ χαμηλή γωνιακή ταχύτητα. Όταν στην γωνία οι δοκιμαζόμενες αισθανότανε την παραμικρή ενόχληση καταγραφότανε και αποτελούσε το εύρος της κίνησης. Οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν στην υποκειμενική αίσθηση του πόνου DOMS στην περιοχή των τετρακέφαλων μυών από την καθιστή θέση με τη μέθοδο της ψηλάφησης με τους μυς να είναι χαλαροί. Η αξιολόγηση του προσδιορισμού του πόνου των κάτω άκρων αξιολογήθηκε επίσης κατά τη διάρκεια της κίνησης (περπάτημα). Η αξιολόγηση του προσδιορισμού του πόνου των κάτω άκρων αξιολογήθηκε με μια κλίμακα που κυμαίνεται από 1 (κανονικός) ως 10 (πολύ επώδυνος).

Πρωτόκολλο μετρήσεων

Οι συμμετέχουσες επισκέπτονταν το εργαστήριο μία φορά την εβδομάδα για οκτώ εβδομάδες για να εκτελέσουν την ομόκεντρη ή έκκεντρη προπόνηση. Και οι δύο προπονήσεις πραγματοποιούνταν σε ισοκινητικό δυναμόμετρο (Cybex κανόνας, Ronkonkoma, Νέα Υόρκη). Κατά τη διάρκεια και των δύο προπονήσεων, οι συμμετέχοντες ήταν καθισμένοι (γωνία ισχίων 120°) με τον με το κέντρο της εξωτερικής πλευράς της άρθρωσης του γόνατος ευθυγραμμισμένο με τον άξονα της περιστροφής του δυναμόμετρου. Η θέση κάθε συμμετέχουσας καταγράφηκε για

να χρησιμοποιηθεί στις επόμενες προπονήσεις. Το λειτουργικό εύρος της κίνησης ορίστηκε ηλεκτρονικά μεταξύ της πλήρους έκτασης της άρθρωσης του γόνατος (0°) και της κάμψης του στις 90° για να αποφευχθεί την υπερέκταση των μυών και πραγματοποιήθηκε διόρθωση βαρύτητας του μέλους για μην επηρεάσει την αξιολόγηση της ροπής. Η ανατροφοδότηση της έντασης και της διάρκειας της ομόκεντρης ή της εκκεντρικής προπόνησης υπολογιζότανε αυτόματα από το δυναμόμετρο.

Γωνία αντίδρασης της άρθρωσης του γονάτου

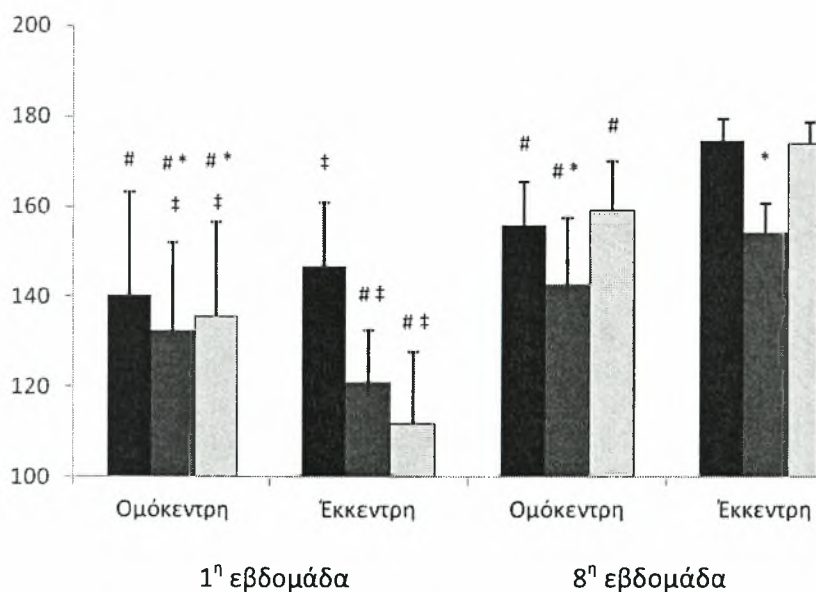
Οι δοκιμαζόμενοι από την καθιστή θέση (γωνία ισχίων 120°) στο ίδιο ισοκινητικό δυναμόμετρο αξιολογήθηκαν για γωνία αντίδρασης του γονάτου στους εκτεινόντες του γόνατος και των δύο κάτω άκρων. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πόδι που δεν εφαρμόστηκε άσκηση χρησιμοποιήθηκαν ως μετρήσεις ελέγχου. Οι γωνίες σε κάθε περίπτωση καταγραφότανε αυτόματα από το δυναμόμετρο. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης, το πόδι παθητικά τοποθετούνταν από τον ερευνητή σε μια από τις τρεις γωνίες αξιολόγησης (20° , 40° , and 60°) με τυχαία σειρά. Όταν οι εκτεινόντες του γόνατος χαλάρωναν στην καθορισμένη γωνία, ο ερευνητής χωρία προειδοποίηση απελευθέρωνε το πόδι. Εξαιτίας της έλλειψης ηλεκτρομυογραφήματος ο έλεγχος χαλαρότητας του μυός γινότανε από τον ερευνητή με ψηλάφηση της γαστέρας των πρόσθιων μηριαίων. Οι οδηγίες που δίνονταν στους δοκιμαζόμενους ήταν να σταματήσουν την πτώση μετά την απελευθέρωση του μέλους όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Οι γωνίες που χρειαζότανε για να σταματήσει το μέλος την πτώση του καταγραφότανε και αποτελούσαν τη γωνία αντίδραση του μέλους στην απελευθέρωση. Τέσσερις προσπάθειες πραγματοποιούνταν σε κάθε γωνία και ο μέσος όρος των δύο πιο κοντινών στη γωνία εκκίνησης καταγραφότανε και χρησιμοποιούνταν στη στατιστική ανάλυση.

Αποτελέσματα

Ισομετρική ροπή

Η ισομετρική ροπή (Γράφημα 1) την 1η εβδομάδα παρουσίασε σημαντική μείωση αμέσως μετά την άσκηση στην ομόκεντρη προπόνηση ($P < 0,001$) ενώ στην έκκεντρη προπόνηση παρουσίασε σημαντική μείωση αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά ($P < 0,001$). Μεταξύ των 2 ομάδων την 1η εβδομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές 48 ώρες μετά την άσκηση ($P < 0,001$).

Στην 8^η εβδομάδα παρουσιάστηκε σημαντική μείωση αμέσως μετά την άσκηση στην ομόκεντρη και στην έκκεντρη προπόνηση αμέσως μετά την άσκηση ($P < 0,001$). Μεταξύ των 2 ομάδων παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές ($P < 0,05$) την 8^η εβδομάδα της προπόνησης. Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην ομόκεντρη και στην έκκεντρη προπόνηση πριν την άσκηση ($P = 0,004$ και $P = 0,025$ αντίστοιχα), αμέσως μετά την άσκηση ($P < 0,001$ και $P = 0,030$ αντίστοιχα) καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ($P < 0,001$ και $P < 0,001$ αντίστοιχα).

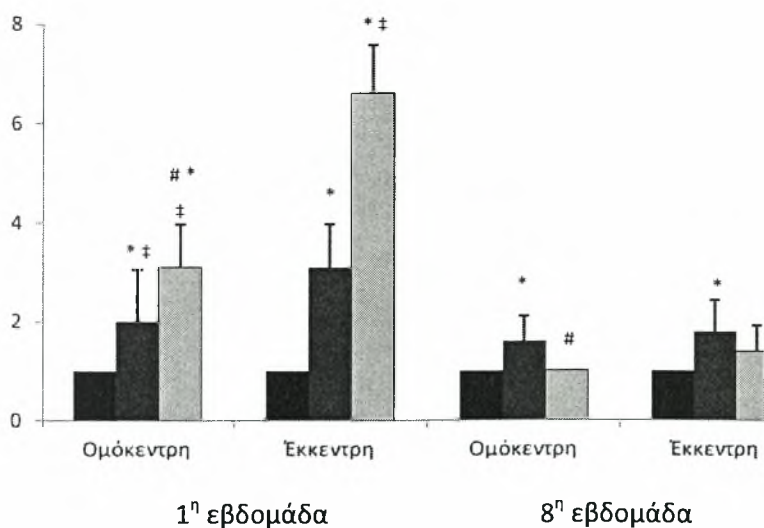


Γράφημα 1: Η ισομετρική ροπή την 1^η και την 8^η εβδομάδα ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης πριν (■), αμέσως μετά (■) και 48 ώρες (■) μετά την άσκηση. *Σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον χρόνο μέσα στην κάθε ομάδα, #Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, ‡Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης και 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή για την ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση.

Καθυστερημένος μυϊκός πόνος κατά την βάρδια

Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος στην κίνηση (Γράφημα 2) την 1η εβδομάδα παρουσίασε σημαντική αύξηση αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά, τόσο στην ομόκεντρη ($P=0,030$ και $P<0,001$ αντίστοιχα) όσο και στην έκκεντρη προπόνηση ($P<0,001$ και $P<0,001$ αντίστοιχα). Μεταξύ των 2 ομάδων της άσκησης παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές 48 ώρες μετά την άσκηση ($P=0,001$).

Στην 8η εβδομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μόνο αμέσως μετά την άσκηση τόσο στην ομόκεντρη όσο και στην έκκεντρη προπόνηση ($P=0,015$ και $P=0,001$ αντίστοιχα). Μεταξύ των 2 ομάδων παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά 48 ώρες μετά την άσκηση ($P<0,001$). Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην ομόκεντρη προπόνηση αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ($P<0,001$ και για τις δύο περιπτώσεις) και στην έκκεντρη προπόνηση στις 48 ώρες μετά την άσκηση ($P<0,001$).

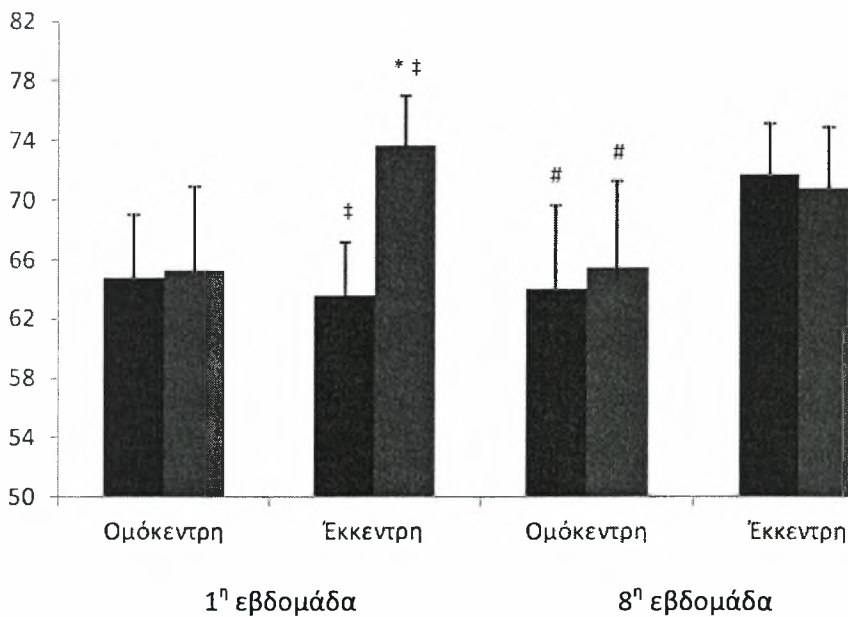


Γράφημα 2: Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος κατά την βάρδια την 1^η και την 8^η εβδομάδα ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης πριν (■), αμέσως μετά (■) και 48 ώρες (■) μετά την άσκηση. *Σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον χρόνο μέσα στην κάθε ομάδα, #Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, ±Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης και 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή για την ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση.

Γωνία εφαρμογής της μέγιστης ομόκεντρης ροπής

Η γωνία εφαρμογής της δύναμης (Γράφημα 3) την 1η εβδομάδα παρουσίασε σημαντική αύξηση 48 ώρες μετά την άσκηση μόνο στην έκκεντρη προπόνηση ($P<0,001$). Μεταξύ των 2 ομάδων της άσκησης παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές 48 ώρες μετά την άσκηση ($P=0,001$).

Στην 8η εβδομάδα δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μετά την άσκηση τόσο στην ομόκεντρη όσο και στην έκκεντρη προπόνηση ($P<0,05$). Μεταξύ των 2 ομάδων παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά 48 ώρες μετά την άσκηση ($P<0,001$). Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην έκκεντρη προπόνηση αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ($P<0,001$ και για τις δύο περιπτώσεις).

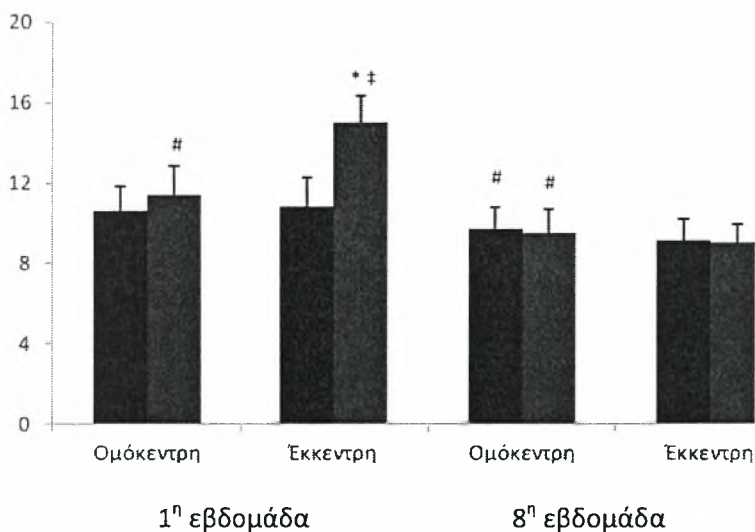


Γράφημα 3: Η γωνία εφαρμογής της μέγιστης ομόκεντρης ροπής κατά την βάρδια την 1^η και την 8^η εβδομάδα ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης πριν (■) και 48 ώρες μετά (▨) την άσκηση. *Σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον χρόνο μέσα στην κάθε ομάδα, #Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, †Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης και 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή για την ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση.

Γωνία αντίδρασης

Η γωνία αντίδρασης από τις 30° (Γράφημα 4), τις 45° (Γράφημα 5) και τις 60° (Γράφημα 6) την 1η εβδομάδα επηρεάστηκε αρνητικά τόσο μετά την ομόκεντρη όσο και μετά την έκκεντρη προπόνηση ($P < 0,001$). Μεταξύ των 2 ομάδων της άσκησης παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές τις 48 ώρες μετά την άσκηση για όλες τις γωνίες ($P = 0,001$).

Στην 8η εβδομάδα δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές 48 ώρες μετά την άσκηση τόσο στην ομόκεντρη όσο και στην έκκεντρη προπόνηση ($P > 0,05$). Μεταξύ των 2 ομάδων παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά 48 ώρες μετά την άσκηση ($P < 0,001$). Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν και στην ομόκεντρη όσο και στην έκκεντρη προπόνηση αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ($P < 0,05$). Μεταξύ των δύο προπονήσεων παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές τόσο πριν όσο και 48 ώρες μετά την άσκηση ($P < 0,05$), με την γωνία αντίδρασης να έχει βελτιωθεί πολύ περισσότερο μετά την έκκεντρη προπόνηση σε σχέση με την ομόκεντρη προπόνηση.



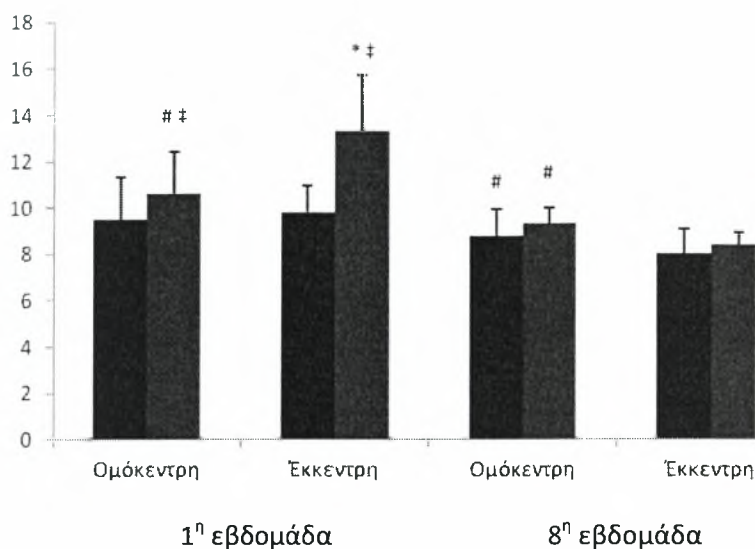
Γράφημα 4: Η γωνία αντίδρασης στις 30 μοίρες την 1^η και την 8^η εβδομάδα

ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης πριν (■) και 48 ώρες μετά (■) την

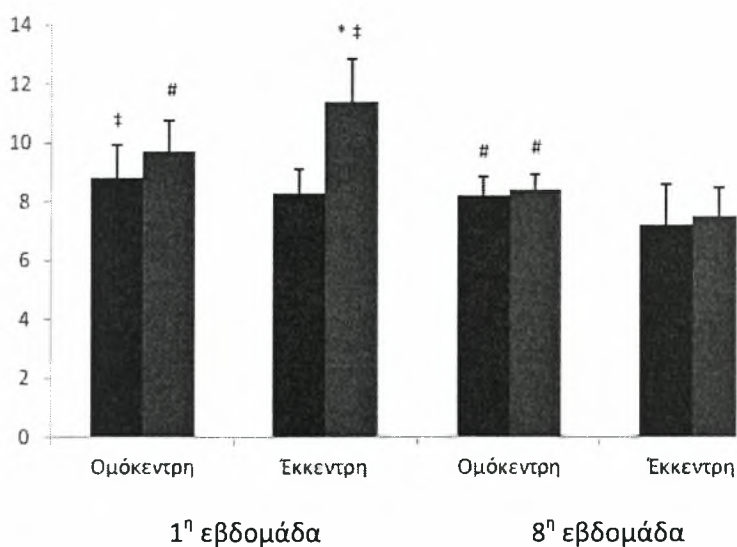
άσκηση. *Σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον χρόνο μέσα στην κάθε ομάδα, #Σημαντικές

διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, ‡Σημαντικές διαφορές

μεταξύ 1ης και 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή για την ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση.



Γράφημα 5: Η γωνία αντίδρασης στις 45 μοίρες την 1^η και την 8^η εβδομάδα ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης πριν (■) και 48 ώρες μετά (■) την άσκηση. *Σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον χρόνο μέσα στην κάθε ομάδα, #Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, ‡Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης και 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή για την ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση.



Γράφημα 6: Η γωνία αντίδρασης στις 60 μοίρες την 1^η και την 8^η εβδομάδα ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης πριν (■) και 48 ώρες μετά (■) την άσκηση. *Σημαντικές διαφορές σε σχέση με τον χρόνο μέσα στην κάθε ομάδα, #Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή, ‡Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης και 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή για την ομόκεντρη και έκκεντρη άσκηση.

Συζήτηση

Μυϊκός τραυματισμός

Η λειτουργία των μυών και οι δείκτες του τραυματισμού τους διαφοροποιήθηκαν σημαντικά μετά την άσκηση και στις δύο ομάδες στην πρώτη εβδομάδα, αλλά οι διαφοροποιήσεις ήταν μεγαλύτερες μετά από έκκεντρη άσκηση απ' ό τι στην ομόκεντρη άσκηση. Μέχρι την όγδοη εβδομάδα, η ομόκεντρη προπόνηση γενικά δεν προκάλεσε μυϊκό τραυματισμό, ενώ η έκκεντρη προπόνηση προκάλεσε μόνο μικρές αλλαγές στους δείκτες του μυϊκού τραυματισμού. Στην 8^η εβδομάδα, και οι δύο ομάδες άσκησης (προπόνησης) αύξησαν τη δύναμη μυών, όπως γίνεται αντιληπτό από την αξιολόγηση της ομόκεντρης και εκκεντρικής ροπής.

Χρόνια άσκηση και μυϊκός τραυματισμός

Η σωματική δραστηριότητα προκαλεί ευεργετική επίδραση σε διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την υγεία του ανθρώπου. Με βάση τα αποτελέσματα της τρέχουσας έρευνας, η έκκεντρη άσκηση σε σχέση με την ομόκεντρη προκαλεί μεγαλύτερες αλλοιώσεις σε δείκτες μυϊκού τραυματισμού. Οκτώ εβδομάδες όμως ομόκεντρη ή έκκεντρη προπόνηση αυξάνουν τη μυϊκή δύναμη και μειώνουν δραστικά τον μυϊκό τραυματισμό.

Χρόνια άσκηση και γωνία αντίδρασης

Από τα αποτελέσματα της έρευνάς μας φαίνεται ότι η ομόκεντρη και η έκκεντρη άσκηση μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικά την γωνία αντίδρασης αλλά η χρόνια άσκηση μπορεί να βελτιώσει τη δύναμη και τον χρόνο αντίδρασης του γονάτου στις 30, 45 και 60 μοίρες. Η έκκεντρη άσκηση όμως προκαλεί μεγαλύτερες αλλοιώσεις στην γωνία αντίδρασης του γονάτου σε σχέση με την ομόκεντρη. Μετά όμως από οκτώ εβδομάδες έκκεντρης άσκησης η γωνία αντίδρασης είναι πολύ καλύτερη (γρηγορότερη αντίδραση) σε σχέση με την ομόκεντρη προπόνηση. Επιβεβαιώνεται ότι η επαναλαμβανόμενη έκκεντρη άσκηση προκαλεί προσαρμογές που μπορούν να διαρκέσουν ως και μήνες (repeated bout effect) (McHugh et al, 1999) ενώ μπορεί να βελτιώσει περισσότερο τη δύναμη και την εκρηκτικότητα.

Πρακτικές εφαρμογές και συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα είναι η πρώτη που παρακολούθησε την επίδραση της χρόνιας έκκεντρης άσκησης στην γωνία αντίδρασης στο χώρο των κάτω άκρων. Με βάση τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, η χρόνια εκκεντρική άσκηση: i) αύξησε την μυϊκή απόδοση ii) μείωσε δραστικά τον μυϊκό τραυματισμό, iii) βελτίωσε σημαντικά τον χρόνο αντίδρασης του γονάτου σε διάφορες γωνίες. Η ομόκεντρη και η έκκεντρη άσκηση μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικά την γωνία αντίδρασης του γονάτου αλλά η επαναλαμβανόμενη άσκηση μπορεί να αναστρέψει την αρνητική αυτή κατάσταση.

Το σημαντικό στοιχείο είναι ότι τα ευνοϊκά αυτά αποτελέσματα προκλήθηκαν μετά από 30 μόνο λεπτά της έκκεντρης άσκησης την εβδομάδα για οκτώ εβδομάδες. Η πολύ χαμηλή συχνότητα της έκκεντρης άσκησης την εβδομάδα και η μικρή διάρκεια κάθε προπόνησης που απαιτείται για την εμφάνιση των ευνοϊκών αποτελεσμάτων της έκκεντρης άσκησης είναι τα πλεονεκτήματά της σε σχέση με άλλους τύπους σωματικών δραστηριοτήτων. Οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν αισθανθεί αστάθεια και δυσκολία να εκτελέσουν απλές καθημερινές κινήσεις μετά από δραστηριότητες όπως το κατηφορικό περπάτημα ή το κατέβασμα πολλών σκαλοπατιών, αλλά και στα περισσότερα αθλήματα τα πόδια είναι αυτά που παίζουν καθοριστικό ρόλο. Μέχρι σήμερα, έκκεντρη άσκηση έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε πειραματικό επίπεδο για να προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό και να ερευνηθεί η αποκατάσταση καθώς και η προσαρμογή του μυός. Εκτός αυτού, οι περισσότερες από τις σχετικές μελέτες έχουν εστιάσει στις πιθανές θεραπευτικές εφαρμογές της έκκεντρης άσκησης στην αποκατάσταση από τους τραυματισμούς ή/και τα ορθοπεδικά προβλήματα. Με αυτή την έρευνα μπορούμε να παροτρύνουμε τα άτομα αυτά να εκτελέσουν τέτοιας μορφής άσκηση γιατί οι επιδράσεις τις είναι απόλυτα αποτελεσματικές και ασφαλείς.

Βιβλιογραφία

1. Appell HJ, Soares JM & Duarte JA. Exercise, muscle damage and fatigue. *Journal of Sports Medicine*. 1992;13:108-115.
2. Armstrong RB. Initial events in exercise- induced muscular injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1990;22:429- 435.
3. Armstrong RB, Warren GL & Warren JA. Mechanisms of exercise- induced muscle fibre injury. *Sports Medicine*. 1991;12:184- 207.
4. Armstrong RB, Ogilvie RW & Schwane JA. Eccentric exercise induced injury to rat skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 1983;54:80- 93.
5. Balnave CD & Thompson MW. Effect of training on eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology*. 1993;75:1545-1551.
6. Brown S, Child RB, Day S & Donnelly A. Exercise induced skeletal muscle damage and adaptation following repeated bouts of eccentric muscle contraction. *Journal of Sports Science*. 1997;15:215- 222.
7. Brown LM & Hill L. Some observations on variations in filament overlap in tetanized muscle fibers and fibers stretched during tetanus, detected in the electron microscope after rapid fixation. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*. 1991; 12:171- 182.
8. Byrnes WC, Clarkson PM, White JS, Hsieh SS & Frykman PN. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *Journal of Applied Physiology*. 1985;59:710-715.

9. Clarkson PM & Hubal MG. Exercise - induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2002;81(11 suppl): S52-S69.
10. Clarkson PM & Newham DJ. Associations between muscle soreness, damage and fatigue. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 1995;384:457-469.
11. Clarkson PM, Nosaka K & Braun B. Muscle function after exercise- induced muscle damage and rapid and adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1992;24:512- 520.
12. Clarkson PM & Themblay I. Exercise- induced muscle damage, repair and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology*. 1988;65:1-6.
13. Crenshaw AG, Thornell LE & Friden J. Intramuscular pressure, torque and swelling for the exercise- induced sore vastus lateralis muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1994;152:265-277.
14. Dudley GA, Tesch PA, Miller BJ & Buchanan P. Importance of eccentric action in performance adaptations to resistance training. *Aviation, Space and Environment Medicine*. 1991;62:543-550.
15. Ebbeling CB & Clarkson PM. Exercise- induced muscle damage and adaptation. *Sports Medicine*. 1989;7:207-234.
16. Edwards RH, Hill DK, Jones DA & Merton PA. Fatigue of long duration in human muscle after exercise. *Journal of Physiology*. 1977;272:769-778.
17. Eston RG, Finney S, Baker S & Baltzopoulos V. Muscle tenderness and peak torque changer after downhill running following a prior bout of isokinetic eccentric exercise. *Journal of Sports Science*. 1996;14:291-299.

18. Friden J. Muscle soreness after exercise: implication of morphological changes. *International Journal of Sports Medicine*. 1984;5:57- 66.
19. Friden J & Lieber RL. Structural and mechanical basis of exercise- induced muscle injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1992;24:521- 530.
20. Friden J & Lieber RL. Segmental muscle fiber lesions after repetitive eccentric contractions. *Cell and Tissue Research*. 1998;293:165-171.
21. Friden J, Sfakianos PN, Hargens AR & Akeson WH. Residual muscular swelling after repetitive eccentric contractions. *Journal of Orthopaedics Research*. 1988;6: 493-498.
22. Friden J, Sjostrom M & Ekblom B. A morphological study of delayed muscle soreness. *Experientia*. 1981;37:506-507.
23. Hoppeler H. Exercise- induced Ultrastructural changes in skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*. 1986;7:187- 204.
24. Hough, T. Ergographic studies in muscular soreness. *American Journal of Physiology*. 1902;7:76-92.
25. Ives JC, Kroll WP, Bultman LL. Rapid movement kinematic and electromyographic control characteristics in males and females. *Research Quarterly for Exercise and Sports*. 1993;64:274–283
26. Jamurtas AZ, Fatouros, IG, Buckenmeyer P, Kokkinidis E, Taxildaris K, Kambas A & Kyriazis G. Effects of plyometric exercise on muscle soreness and plasma creatine kinase levels and its comparison with eccentric and concentric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2000;14:68-74.

27. Jamurtas AZ, Theocharis V, Tofas T, Tsiokanos A, Yfanti C, Paschalis V, Koutedakis Y, Nosaka K. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European Journal Applied Physiology*. 2005;95(2-3):179-85.
28. Jones DA, Newham DJ & Torgan C. Mechanical influences on long- lasting human muscle fatigue and delayed onset pain. *Journal of Physiology*. 1989;412:415-427.
29. Lieber RL & Friden J. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. *Journal of Applied Physiology*. 1993;74:520- 526.
30. Lieber RL & Friden J. Selective damage of fast glycolytic muscle fibres with eccentric contraction of the rabbit tibialis anterior. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1988;133:587-588.
31. Μπαλτόπουλος Παναγιώτης. Ανατομία του ανθρώπου. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλίδη, 2003.
32. MacIntyre DL, Reid WD, Lyster DM, Szasz IJ & McKenzie DC. Presence of WBC, decreased strength and delayed soreness in muscle after eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1996;80:1006-1013.
33. MacPherson PC, Dennis RG & Faulkner JA). Sarcomere dynamics and contraction-induced injury to maximally activated single muscle fibers from soleus muscle of rats. *Journal of Physiology*. 1997;500:523- 533.
34. MacPherson PC, Schork MA & Faulkner JA (). Contraction induced injury to single fiber segments from fast and slow muscle of rats by single stretches. *American Journal of Physiology*. 1996;271:C1438-1446.

35. Mair J, Koller A, Artner- Dworzak E, Haid C, Wicke K, Judmaier W & Puschendorf B. Effects of exercise on plasma myosin heavy chain fragments and MRI of skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 1992;72:656- 663.
36. McHugh PM, Connolly DA, Eston RG & Gleim GW. Exercise induced muscle damage and potential mechanisms for the repeated bout effect. *Journal of Sports Medicine*.1999;2:157- 170.
37. Miles MP, Ives JC, Vincent KR Neuromuscular control following maximal eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*. 1997;76:368–374
38. Mizrahi J, Verbitsky O & Isakov E. (Fatigue- induced changes in decline running. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2001;16:207-212.
39. Morgan D & Allen DG. Early events in stretch- induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology*. 1999;87:2007-2015.
40. Newham DJ, Jones DA & Clarkson PM. Repeated high force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology*.1987;63:1381- 1386.
41. Newham DJ, Jones DA & Edwards RH. Large delayer plasma creatine kinase changes after stepping exercise. *Muscle and nerve*. 1983a;6:380-385.
42. Newham DJ, MacPhail G, Mills KR & Edwards RH. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *Journal of Neurological Science*. 1983b;61:109-122.
43. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM & Edwards RH. Pain and fatigue after eccentric and concentric muscle contraction. *Clinical Science*. 1983c;64:55-62.

44. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM & Edwards RH. Pain and fatigue after eccentric and concentric muscle contraction, *Clinical Science*. 1983c;64:55-62.
45. Nordin M & Frankel VH. *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Lippincott Williams and Wilkins and Wilkins, Third Edition. 2001;149-171.
46. Nosaka K & Clarkson PM. Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and science in sports and Exercise*. 1995;27:1263-1269.
47. Nosaka K & Sakamoto K. Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001;33: 22- 29.
48. Paddon-Jones D, Leveritt M, Lonergan A, Abernethy P. Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *European Journal Applied Physiology*. 2001;85(5):466-71.
49. Paddon-Jones D, Muthalib M & Jenkins D. The effects of a repeated bout of eccentric exercise on indices of muscle damage and delayed onset muscle soreness. *Journal of Science in Medicine and Sports*. 2000;3:35-43.
50. Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Jamurtas AZ, Pappas A, Koutedakis Y. The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle and Nerve*. 2007;35(4):496-503.
51. Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Jamurtas AZ, Owolabi EO, Koutedakis Y. Position sense and reaction angle after eccentric exercise: the repeated bout effect. *European Journal Applied Physiology*. 2008;103(1):9-18.
52. Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Theodorou AA, Sakellariou GK, Fatouros IG, Koutedakis Y, Jamurtas AZ. Beneficial changes in energy expenditure and lipid profile

after eccentric exercise in overweight and lean women. *Scand Journal Medicine Science Sports*. 2010;20(1):e103-11.

53. Paschalis V, Nikolaidis MG, Theodorou AA, Panayiotou G, Fatouros IG, Koutedakis Y, Jamurtas AZ. A Weekly Bout of Eccentric Exercise Is Sufficient To Induce Health-Promoting Effects. *Medicine Science Sports Exercise*. 2010. [Epub ahead of print]

54. Peake J, Nosaka K, Suzuki K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. *Exercise Immunol Rev*. 2005;11:64-85.

55. Rodenburg JB, de Boer RW, Schiereck P, van Echteld CJ & Bar PR. Change in phosphorous compounds and water content in skeletal muscle due to eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 1994;68:205- 213.

56. Saxton JM, Clarkson PM, James R, Miles M, Westerfer M, Clark S & Donnelly AE. Neuromuscular dysfunction following eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1995;27:1185-1193.

57. Schwane JA & Armstrong RB. Effect of training on skeletal muscle injury from downhill running in rats. *Journal of Applied Physiology*. 1983;55:969-975.

58. Stauber WT. Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation. *Exercise and Science Review*. 1989;17:157-185.

59. Talbot J & Morgan DL. Quantitative analysis of sarcomere non-uniformities in active muscle following a stretch. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*. 1996;17:261- 268.

60. Vander MD, Sherman Ph. D & Luciano, Ph. D. Τσακόπουλος. Μ. Φυσιολογία του ανθρώπου. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλίδη, 2001.

61. Vijayan K, Thompson JL, Norenberg KM, Fitts RH & Riley DA. Fiber- type susceptibility to eccentric contraction-induced damage on hindlimb- unloaded rat AL muscle. *Journal of Applied Physiology*. 2001;90:770- 776.

62. Warren GL, Ingalls CP, Lowe DA, Armstrog RB. Excitation- contraction uncoupling major role in contraction- induced muscle injury. *Exercise and Sports Science Reviews*, 2001;29:82-87.

63. Warren GL, Lowe DA & Armstrog R B.). Measurements tools used in the study of eccentric contraction induced injury. *Sports Medicine*. 1999;27:43-59.