



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΑΙΣΘΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ ΜΕΤΑ  
ΑΠΟ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΚΕΝΤΡΩΝ  
ΣΥΣΤΟΛΩΝ**

Κουζιού Δήμητρα

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλης Πασχάλης, PhD

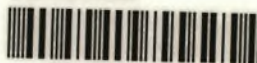
Τρίκαλα 2010



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

Αριθ. Εισ.: 8926/1  
Ημερ. Εισ.: 11/10/2010  
Δωρεά:  
Ταξινόητικός Κωδικός: ΠΤ-ΤΕΦΑΑ  
2010  
ΚΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000102853

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Summary .....	4
Εισαγωγή.....	5
Σκοπός της εργασίας .....	7
Ερευνητικές υποθέσεις .....	7
Στατιστικές Υποθέσεις.....	7
Μηδενικές υποθέσεις.....	7
Εναλλακτικές υποθέσεις.....	7
Περιορισμοί της έρευνας.....	8
Σημασία της εργασίας .....	8
Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	8
Λειτουργίες του μυός.....	8
Μυϊκή ενδυνάμωση .....	8
Είδη μυϊκών συστολών.....	9
Έκκεντρη συστολή- Μυϊκός τραυματισμός.....	10
Έκκεντρη άσκηση και τύποι μυϊκών ινών.....	12
Επαναλαμβανόμενη έκκεντρη άσκηση .....	13
Δείκτες μυϊκού τραυματισμού .....	14
Αίσθηση της θέσης στο χώρο .....	17
Μεθοδολογία.....	18
Δοκιμαζόμενοι.....	18
Μετρήσεις .....	18
Πρωτόκολλο μετρήσεων .....	19
Αίσθηση της θέσης στο χώρο στην άρθρωση του γόνατος .....	20
Αποτελέσματα .....	21
Συζήτηση .....	28
Μυϊκός τραυματισμός.....	28
Χρόνια άσκηση και μυϊκός τραυματισμός .....	28
Χρόνια άσκηση και αίσθηση της θέσης στο χώρο .....	28
Πρακτικές εφαρμογές και συμπεράσματα.....	29
Βιβλιογραφία .....	31

## Περίληψη

Σκοπός της μελέτης ήταν να ερευνηθεί η επίδραση της προπόνησης 8 εβδομάδων με έκκεντρες και ομόκεντρες συστολές στην αίσθηση της θέσης στο χώρο. 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 ομόκεντρη και η έκκεντρη ροπή αξιολογήθηκαν πριν, αμέσως μετά και 48 ώρες μετά την πρώτη και την τελευταία προπόνηση. Την 1<sup>η</sup> εβδομάδα τόσο η ομόκεντρη όσο και η έκκεντρη προπόνηση προκάλεσαν μυϊκό τραυματισμό και είχαν αρνητική επίδραση στην αίσθηση της θέσης στο χώρο, με την έκκεντρη άσκηση να προκαλεί τις μεγαλύτερη αλλοιώσεις σε σχέση με την ομόκεντρη. Την 8<sup>η</sup> εβδομάδα, οι δείκτες του μυϊκού τραυματισμού δεν επηρεάστηκαν από την ομόκεντρη ή την έκκεντρη προπόνηση. Επίσης την 8<sup>η</sup> εβδομάδα η ομόκεντρη και η έκκεντρη προπόνηση δεν επηρέασαν την αίσθηση θέσης στο χώρο τόσο σε απόλυτες όσο και σε σχετικές τιμές. Στην 8<sup>η</sup> εβδομάδα, και οι δύο οι 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.

## Summary

The aim of this study was to investigate the effect of 8 weeks training with eccentric and concentric contractions on position sense 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 immediately after as well as 48 hours post exercise. The 1<sup>st</sup> week both concentric and eccentric exercise caused muscle damage and affect negatively the position sense at 30° knee flexion, while eccentric exercise caused more muscle damage and affected more the position sense compared to the concentric exercise. The 8<sup>th</sup> week of training muscle damage indicators were altered neither from the concentric nor by the eccentric exercise. Additionally, the 8<sup>th</sup> week of training concentric and eccentric exercise didn't affect the position sense 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 and vice versa.

## 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 συστελλόμενο 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 πλειομετρικές συστολές. Κατά την έκκεντρη συστολή ενεργοποιείται ο κύκλος των εγκάρσιων γεφυρών, με τη διάφορα 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 αρνητικά την αίσθηση της θέσης στο χώρο των μυών της άρθρωσης του γόνατος (Paschalis et al. 2007). Η αίσθηση της θέσης στο χώρο είναι η ικανότητα προσδιορισμού της θέσης του μέλους στο χώρο κατά τη διάρκεια της κίνησης και είναι απαραίτητη για την ασφαλή και ικανοποιητική ανθρώπινη κίνηση.

## **Σκοπός της εργασίας**

Σκοπός της μελέτης είναι να ερευνηθεί η επίδραση της προπόνησης με έκκεντρες συστολές που θα προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό στην αίσθηση της θέσης στο χώρο σε υγιείς γυναίκες.

## **Ερευνητικές υποθέσεις**

1. Η έκκεντρη μορφή άσκησης θα προκαλέσει σημαντικό μυϊκό τραυματισμό στους συμμετέχοντες στη συστολή μυών και δεν θα επηρεάσει την αίσθηση της θέσης στο χώρο.
2. Η έκκεντρη μορφή άσκησης θα προκαλέσει μυϊκό τραυματισμό και θα επιδράσει αρνητικά στην αίσθηση της θέσης στο χώρο.

## **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**

### ***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 (έκκεντρη, σύγκεντρη, ισομετρική) 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 – μειομετρική(μείωση του μήκος του μυός) και έκκεντρη – πλειομετρική (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- μειομετρική 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- πλειομετρική συστολή* συμβαίνει όταν οι μύες δεν μπορούν να αναπτύξουν σημαντική τάση και 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 (Hoppele 1986). Ο μυϊκός τραυματισμός, περιλαμβάνει καταστροφή του σαρκειλήματος (Armstrong 1990), πρήξιμο ή καταστροφή του σαρκοπλασματικού δικτύου (Armstrong 1990), παραμόρφωση των συστατών 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 (Armstrog 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 οίδηματος και πίεσης μέσα στο μυ. Ερευνητές (Fríden 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 παρατηρείτε 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 απόδοση δύναμης.** Η παρατεταμένη μείωση της δύναμης μετά από έκκεντρη άσκηση θεωρείτε μια από τις πιο αξιόπιστες μετρήσεις του μυϊκού τραυματισμού στους ανθρώπους (Warren et al. 1999). Η μείωση της δύναμης που παρατηρείτε 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- μυοσίνης 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).

### ***Αίσθηση της θέσης στο χώρο***

Η συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες ειδικά όταν αυτές περιλαμβάνουν έκκεντρες συστολές οδηγούν σε μυϊκό τραυματισμό (Nosaka and Sakamoto 2001), ενώ παράλληλα έχει βρεθεί και αλλοίωση της αίσθησης της θέσης του μέλους στο χώρο (Paschalis et al. 2007). Μετά από άσκηση που προκαλεί μυϊκό τραυματισμό αισθανόμαστε ασταθή τα πόδια μας και έχουμε δυσκολία στην εκτέλεση κοινών κινήσεων, όπως για παράδειγμα ανεβοκατέβασμα σκαλοπατιών. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με μειωμένη αίσθηση στο χώρο των κάτω άκρων και μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο για τραυματισμούς. Τα κάτω άκρα παίζουν σημαντικό ρόλο στην κίνηση του ανθρώπινου σώματος κατά τη διάρκεια της άσκησης καθώς και σε καθημερινές δραστηριότητες. Μια τέτοια κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή του κινητικού προτύπου και κατά συνέπεια να αυξήσει την πιθανότητα τραυματισμών κατά τη διάρκεια της αθλητικής δραστηριότητας. Παρόλο που υπάρχουν μελέτες για την αρνητική επίδραση της έκκεντρης άσκησης στην αίσθηση της θέσης στο χώρο (Paddon-Jones et al. 2001; Paschalis et al. 2010), δεν είναι γνωστές οι επιδράσεις της ομόκεντρης και έκκεντρης προπόνησης όσον αφορά την αίσθηση της θέσης στο χώρο.

## 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 η αίσθηση της

θέσης στο χώρο στις 30° 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 εκτεινόντες του γόνατος με γωνιακή ταχύτητα 60°/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  $120^\circ$ ) 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 ( $0^\circ$ ) και της κάμψης του στις  $90^\circ$  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.

### ***Αίσθηση της θέσης στο χώρο***

Οι δοκιμαζόμενοι από την καθιστή θέση (γωνία ισχίων  $120^\circ$ ) στο ίδιο ισοκινητικό δυναμόμετρο αξιολογήθηκαν για την αίσθηση της θέσης στο χώρο στους εκτεινόντες του γόνατος. Οι γωνίες από την αξιολόγηση της αίσθησης της θέσης στο χώρο καταγραφότανε αυτόματα από το δυναμόμετρο. Ο ερευνητής τοποθετούσε με παθητική κίνηση το κάτω άκρο στις  $30^\circ$  (κάμψη γόνατος-θέση αναφοράς) και το κρατούσε στη θέση αυτή για 10s. Όλες οι εθελόντριες κλήθηκαν να ξαναβρούν τη θέση αναφοράς. Η κίνηση πραγματοποιήθηκε ενεργητικά από την κάμψη μέχρι την γωνία στόχο και, στο σημείο που οι δοκιμαζόμενες αισθανότανε ικανοποιημένες με τη γωνία που επιλέξανε, η γωνία αυτή καταγραφότανε. Τέσσερις δοκιμές πραγματοποιήθηκαν και η καλύτερη (κοντινότερη στη γωνία στόχο) χρησιμοποιήθηκε στα αποτελέσματα της έρευνας. Το πόδι κινούνταν από τον ερευνητή από τις  $90^\circ$  μέχρι την πλήρη έκταση  $0^\circ$  μετά στη γωνία στόχο και έπειτα πάλι πίσω στις  $90^\circ$  πριν από κάθε προσπάθεια.

Δύο τύποι γωνιών υπολογίστηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί η αίσθηση της θέσης στο χώρο: η γωνία σε απόλυτες και σε σχετικές τιμές. Η απόλυτη τιμή προσδιορίζει

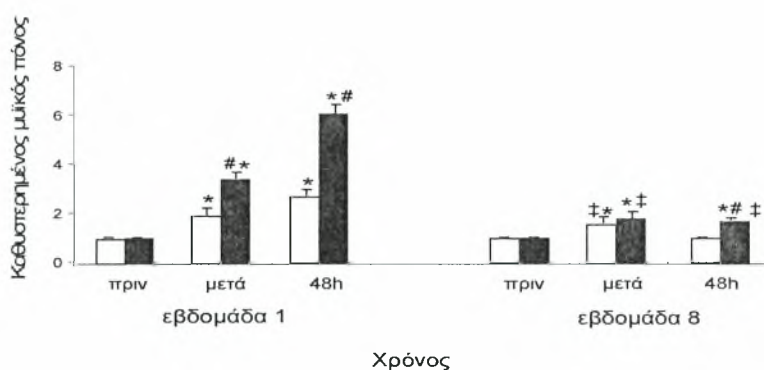
το μέγεθος του λάθους στην επιλογή της γωνίας ενώ η σχετική τιμή προσδιορίζει την κατεύθυνση του λάθους στην επιλογή της γωνίας αναφοράς, αν δηλαδή οι δοκιμαζόμενες τοποθετούσαν το μέλος τους σε έκταση ή σε κάμψη σε σχέση με τη γωνία αναφοράς.

## **Αποτελέσματα**

Οι δείκτες του μυϊκού τραυματισμού επηρεάστηκαν σημαντικά μετά από την άσκηση και στις δύο ομάδες στην πρώτη εβδομάδα άσκησης, αλλά οι διαφοροποιήσεις ήταν μεγαλύτερες μετά από την έκκεντρη απ' ότι μετά από την ομόκεντρη προπόνηση. Μέχρι την όγδοη εβδομάδα, η ομόκεντρη και έκκεντρη προπόνηση δεν επηρέασαν τους δείκτες του μυϊκού τραυματισμού. Στην 8<sup>η</sup> εβδομάδα, και οι δύο ομάδες προπονήσεις δεν είχαν επιπτώσεις στη αίσθηση θέσης στο χώρο, είτε μετρήθηκε στις απόλυτες είτε στις σχετικές τιμές.

Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος (Γράφημα 1) 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 αμέσως μετά ( $P<0,001$ ) καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P=0,001$ ).

Στην 8η εβδομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές αμέσως μετά την άσκηση τόσο στην ομόκεντρη όσο και στην έκκεντρη προπόνηση ( $P=0,015$  και  $P=0,001$  αντίστοιχα) ενώ στις 48 ώρες μετά την άσκηση σημαντική αλλαγή παρουσιάστηκε μόνο στην έκκεντρη προπόνηση ( $P=0,001$ ). 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 στις 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P<0,001$ ) και στην έκκεντρη προπόνηση αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά ( $P<0,001$  και  $P<0,001$  αντίστοιχα).



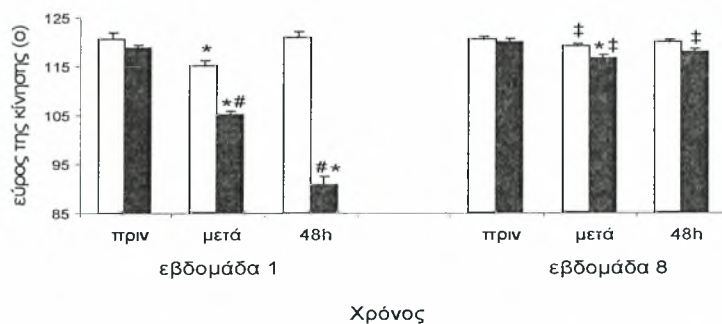
\* Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας.  
 # Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή.  
 ‡ Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης & 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή.

**Γράφημα 1:** Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος την 1<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> εβδομάδα μετά από ομόκεντρη (□) και έκκεντρη προπόνηση (■).



Το *εύρος της κίνησης* (Γράφημα 2) 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 αμέσως μετά καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P<0,001$ ).

Στην 8η εβδομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές αμέσως μετά την άσκηση στην έκκεντρη προπόνηση ( $P=0,016$ ). Μεταξύ των 2 ομάδων δεν παρουσιάστηκαν παρουσιάστηκε σημαντικές διαφορές ( $P>0,05$ ). Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην ομόκεντρη προπόνηση αμέσως μετά την άσκηση ( $P=0,022$ ) και στην έκκεντρη αμέσως μετά την άσκηση καθώς και 48 ώρες μετά ( $P<0,001$ ).



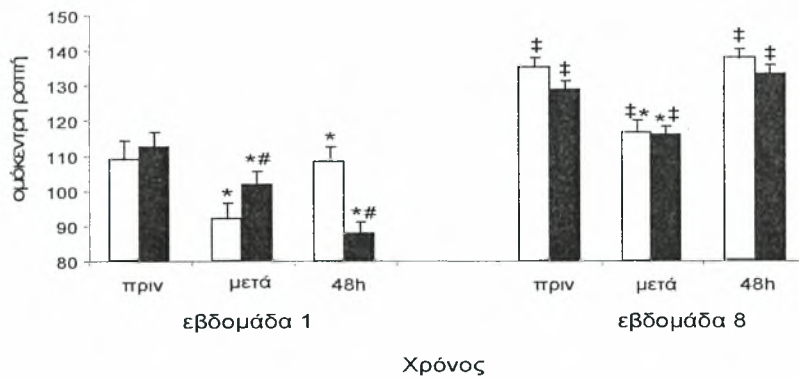
\* Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας.  
 # Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή.  
 ‡ Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης & 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή.

**Γράφημα 2:** Το εύρος κίνησης την 1<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> εβδομάδα μετά από ομόκεντρη (□) και έκκεντρη προπόνηση(■).



Η **ομόκεντρη ροπή** (Γράφημα 3) 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 8η 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 δεν παρουσιάστηκαν παρουσιάστηκε σημαντικές διαφορές ( $P>0,05$ ). 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).

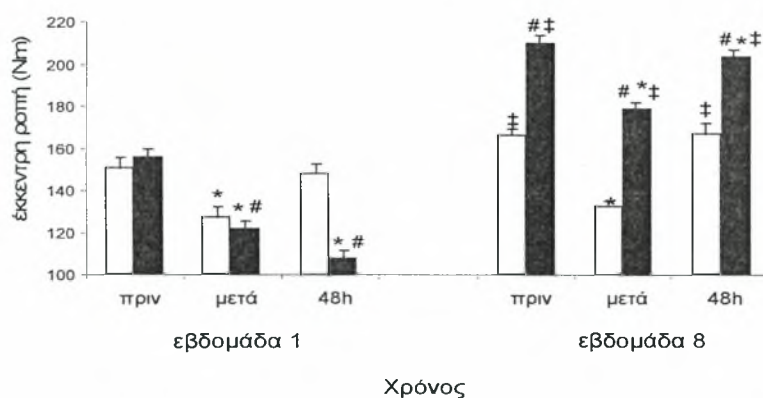


\* Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας.  
 # Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή.  
 ‡ Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης & 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή

**Γράφημα 3:** Η ομόκεντρη ροπή την 1<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> εβδομάδα μετά από ομόκεντρη (□) και έκκεντρη προπόνηση (■).

Η **έκκεντρη ροπή** (Γράφημα 4) 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 αμέσως μετά καθώς και 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P < 0,001$ ).

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



\* Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας.

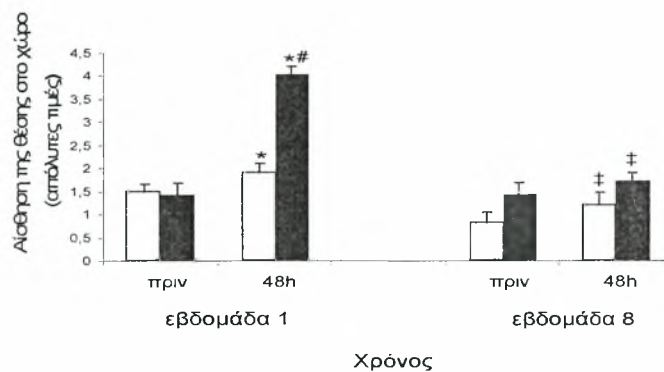
# Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή.

‡ Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης & 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή.

**Γράφημα 4:** Η έκκεντρη ροπή την 1<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> εβδομάδα μετά από ομόκεντρη (□) και έκκεντρη προπόνηση (■).

Η *αίσθηση της θέσης στο χώρο (απόλυτες τιμές)* (Γράφημα 5) την 1η εβδομάδα παρουσίασε σημαντική μείωση 48 ώρες μετά την άσκηση στην ομόκεντρη προπόνηση ( $P=0,013$ ) και στην έκκεντρη προπόνηση ( $P<0,001$ ) Μεταξύ των 2 ομάδων την 1η εβδομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P<0,001$ ).

Στην 8η εβδομάδα δεν παρουσιάστηκε σημαντική αλλοίωση μετά από την ομόκεντρη και την έκκεντρη προπόνηση ( $P>0,05$ ) Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην ομόκεντρη και στην έκκεντρη προπόνηση 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P=0,009$  και  $P<0,001$  αντίστοιχα).

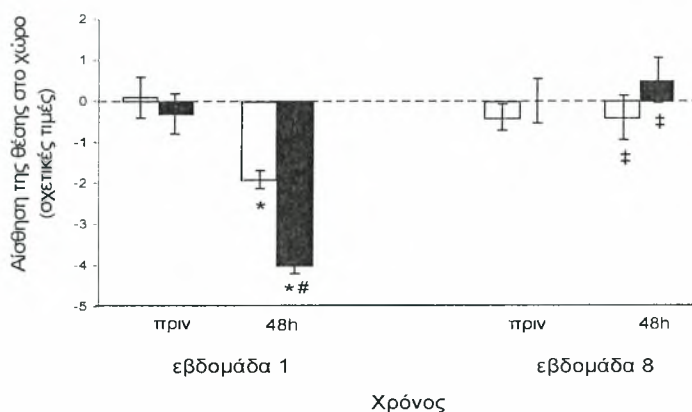


\* Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας.  
 # Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή.  
 ‡ Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης & 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή.

**Γράφημα 5:** Η αίσθηση της θέσης στο χώρο σε απόλυτες τιμές την 1<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> εβδομάδα μετά από ομόκεντρη (□) και έκκεντρη προπόνηση (■).

Η *αίσθηση της θέσης στο χώρο (σχετικές τιμές)* (Γράφημα 6) την 1η εβδομάδα παρουσίασε σημαντική μείωση 48 ώρες μετά την άσκηση στην ομόκεντρη προπόνηση ( $P=0,013$ ) και στην έκκεντρη προπόνηση ( $P<0,001$ ) Μεταξύ των 2 ομάδων την 1η εβδομάδα παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P<0,001$ ).

Στην 8η εβδομάδα δεν παρουσιάστηκε σημαντική αλλοίωση μετά από την ομόκεντρη και την έκκεντρη προπόνηση ( $P>0,05$ ) Μεταξύ των 2 εβδομάδων σημαντικές διαφορές βρέθηκαν στην ομόκεντρη και στην έκκεντρη προπόνηση 48 ώρες μετά την άσκηση ( $P=0,009$  και  $P<0,001$  αντίστοιχα).



\* Σημαντικές διαφορές με τις τιμές ηρεμίας.

# Σημαντικές διαφορές μεταξύ ομόκεντρης και έκκεντρης άσκησης την ίδια χρονική στιγμή.

‡ Σημαντικές διαφορές μεταξύ 1ης & 8ης εβδομάδας στην ίδια χρονική στιγμή.

**Γράφημα 6:** Η αίσθηση της θέσης στο χώρο σε σχετικές τιμές τη 1<sup>η</sup> και 8<sup>η</sup> εβδομάδα μετά ομόκεντρη(□) και έκκεντρη προπόνηση (■).

## **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<sup>η</sup> 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 αίσθηση της θέσης στο χώρο***

Η έκκεντρη άσκηση σε σχέση με την ομόκεντρη προκαλεί μεγαλύτερες αλλοιώσεις στην αίσθηση της θέσης στο χώρο τόσο σε απόλυτες όσο και σε σχετικές τιμές. Όμως οκτώ εβδομάδες ομόκεντρης ή έκκεντρης άσκησης δεν προκαλούν σημαντική μείωση της αίσθησης της θέσης στο χώρο είτε σε απόλυτες είτε σε σχετικές τιμές. Φαίνεται από τα αποτελέσματα της έρευνάς μας ότι η ομόκεντρη και η έκκεντρη άσκηση μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικά την αίσθηση της θέσης στο χώρο αλλά

η επαναλαμβανόμενη άσκηση μπορεί να βελτιώσει τη δύναμη και την αίσθηση της θέσης στο χώρο.

## **Πρακτικές εφαρμογές και συμπεράσματα**

Η παρούσα έρευνα είναι η πρώτη που παρακολούθησε την επίδραση της χρόνιας έκκεντρης άσκησης στην αίσθηση της θέσης 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 την αίσθηση της θέσης στο χώρο. Η ομόκεντρη και η έκκεντρη άσκηση μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικά την αίσθηση της θέσης στο χώρο 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 άνθρωποι που επιθυμούν να συμμετέχουν στις δραστηριότητες που περιέχουν έκκεντρη μορφή μυϊκών συστολών μπορούν να πραγματοποιήσουν δραστηριότητες που περιλαμβάνουν κατηφορικό περπάτημα, ή μπορούν να δίνουν έμφαση στην αρνητική φάση των κλασικών ασκήσεων που περιλαμβάνει η προπόνηση με αντιστάσεις.

Από τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης γίνεται κατανοητό ότι οι ασκούμενοι πρέπει να ελαττώσουν την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης τις μέρες μετά την έκκεντρη άσκηση για να αποφύγουν τυχόν τραυματισμούς που μπορούν να προκληθούν εξαιτίας της μειωμένης αίσθησης στο χώρο. Τα ευνοϊκά αποτελέσματα της έκκεντρης άσκησης που πραγματοποιείται μια φορά την εβδομάδα με διάρκεια περίπου μιας ώρας, είναι πιθανώς ίσα ή και καλύτερα από κλασικούς τρόπους

άσκησης όπως η άσκηση με αντιστάσεις και η αερόβια άσκηση που πραγματοποιούνται τρεις έως πέντε φορές την εβδομάδα (Paschalis et al. 2010).

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. Είναι η πρώτη μελέτη που παρουσιάζει τα ευνοϊκά αποτελέσματα της έκκεντρης άσκησης που πραγματοποιείται μια φορά την εβδομάδα με διάρκεια περίπου μιας ώρας, και που είναι πιθανώς ίσα ή και καλύτερα από κλασσικούς τρόπους άσκησης όπως η άσκηση με αντιστάσεις και η αερόβια άσκηση που πραγματοποιούνται τρεις έως πέντε φορές την εβδομάδα (Paschalis et al. 2010).

## 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. 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.
26. 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.
27. 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.

28. 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.
29. 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.
30. Μπαλτόπουλος Παναγιώτης. Ανατομία του ανθρώπου. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλίδη, 2003.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. Mizrahi J, Verbitsky O & Isakov E. (Fatigue- induced changes in decline running. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2001;16:207-212.



37. Morgan D & Allen DG. Early events in stretch- induced muscle damage. *Journal of Applied Physiology*. 1999;87:2007-2015.
38. 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.
39. Newham DJ, Jones DA & Edwards RH. Large delayer plasma creatine kinase changes after stepping exercise. *Muscle and nerve*. 1983a;6:380-385.
40. Newham DJ, MacPhail G, Mills KR & Edwards RH. Ultrastructural changers after concentric and eccentric contractions of human muscle. *Journal of Neurological Science*. 1983b;61:109-122.
41. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM & Edwards RH. Pain and fatigue after eccentric and concentric muscle contraction. *Clinical Science*. 1983c;64:55-62.
42. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM & Edwards RH. Pain and fatigue after eccentric and concentric muscle contraction, *Clinical Science*. 1983c;64:55-62.
43. Nordin M & Frankel VH. *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Lippincott Williams and Wilkins and Wilkins, Third Edition. 2001;149-171.
44. Nosaka K & Clarkson PM. Muscle damage following repeated boots of high force eccentric exercise. *Medicine and science in sports and Exercise*. 1995;27:1263-1269.
45. 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.

46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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]
52. Peake J, Nosaka K, Suzuki K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. *Exercise Immunol Rev*. 2005;11:64-85.
53. 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.

54. 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.
55. Schwane JA & Armstrong RB. Effect of training on skeletal muscle injury from downhill running in rats. *Journal of Applied Physiology*. 1983;55:969-975.
56. Stauber WT. Eccentric action of muscles: physiology, injury, and adaptation. *Exercise and Science Review*. 1989;17:157-185.
57. 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.
58. Vander MD, Sherman Ph. D & Luciano, Ph. D. Τσακόπουλος. Μ. Φυσιολογία του ανθρώπου. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλίδη, 2001.
59. 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.
60. 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.
61. Warren GL, Lowe DA & Armstrog R B.). Measurements tools used in the study of eccentric contraction induced injury. *Sports Medicine*. 1999;27:43-59.