



## Επίδραση ισοαδρανειακής προπόνησης ισχύος σε περιορισμένο εύρος κίνησης στην ισοκινητική ροπή του γόνατος και σε μηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος

Π. Μαναβέλη, Ν. Αγγελούσης, Β. Γούργουλης, Α. Χατζηνικολάου  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετήσει την επίδραση ενός προγράμματος προπόνησης που περιελάμβανε εκτάσεις γόνατος σε περιορισμένο εύρος κίνησης ( $30^\circ$ ), με πολύ μεγάλη ένταση (65% MVC στις  $45^\circ$  γόνατος) και με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης (προπόνηση ισχύος), στην μέγιστη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος και σε επιλεγμένες μηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με υποχωρητική φάση. Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 16 φοιτητές του Τ.Ε.Φ.Α.Α.- Δ.Π.Θ., χωρίς ιστορικό τραυματισμού, που δεν συμμετείχαν κατά τη διάρκεια της έρευνας σε άλλο πρόγραμμα φυσικής δραστηριότητας. Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν πέντε επαναλήψεις μέγιστης ισοκινητικής έκτασης στις  $180^\circ/\text{sec}$  και τρία κατακόρυφα άλματα με υποχωρητική φάση, πριν και μετά από την προπόνηση ισχύος διάρκειας έξι εβδομάδων. Για την καταγραφή της ισοκινητικής ροπής χρησιμοποιήθηκε ένα ισοκινητικό δυναμόμετρο ενώ για την μέτρηση της δύναμης αντίδρασης του εδάφους από όπου στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι μηχανικές παράμετροι των αλμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένα πιεζοηλεκτρικό δυναμοδάπεδο. Για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε ανάλυση T-test για ζευγαρωτές παρατηρήσεις στις τιμές των μεταβλητών πριν και μετά την προπόνηση. Βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές αυξήσεις στις τιμές της μέσης μέγιστης ροπής και της μέγιστης ροπής. Αντίθετα, δεν βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στις παραμέτρους του άλματος εκτός από την μηχανική ισχύ. Συμπερασματικά, η σημαντική αύξηση της ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος, σε διάστημα μόλις έξι εβδομάδων πιθανά οφείλεται σε συνδυασμένη αύξηση της μυϊκής ενεργοποίησης και της φυσιολογικής εγκάρσιας διατομής των εν λόγω μυών, λόγω των πολύ μεγάλων επιβαρύνσεων που ήταν δυνατόν να εφαρμοστούν στο περιορισμένο εύρος κίνησης κατά τη προπόνηση. Επιπλέον η σημαντική αύξηση της μηχανικής ισχύος του κατακόρυφου άλματος πιθανά οφείλεται στο ότι η παραπάνω προπόνηση πραγματοποιούνταν με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης.

**Λέξεις κλειδιά:** προπόνηση σε περιορισμένο εύρος κίνησης, δύναμη, αλτική ικανότητα.

Διεύθυνση αλληλογραφίας:

Πελαγία Μαναβέλη  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού  
Πανεπιστημιούπολη, 69100 Κομοτηνή

E-mail:

[pmanavel@phyed.duth.gr](mailto:pmanavel@phyed.duth.gr)

## Εισαγωγή

Η βελτίωση της αθλητικής απόδοσης αποτελεί τον τομέα στον οποίο η προπόνηση δύναμης εμφανίζει το μεγαλύτερο φάσμα τρόπων και μέσων υλοποίησης, ανάλογα με τον αθλητικό στόχο, ο βαθμός επίτευξης του οποίου εξαρτάται από το κατά πόσο το είδος της προπόνησης που επιλέγεται είναι το βέλτιστο. Η προπόνηση δύναμης αποσκοπεί κυρίως στη βελτίωση της λειτουργίας του νευρικού και μυοσκελετικού συστήματος προκειμένου να επιτευχθεί στον απαιτούμενο κάθε φορά βαθμό η δύναμη που μπορεί να αναπτύσσει ο κινητικός μηχανισμός κατά τη διάρκεια στάσεων και κινήσεων με απώτερους στόχους την βελτίωση της υγείας, της φυσικής κατάστασης και της αθλητικής απόδοσης (Faigenbaum et al., 2009). Μία από τις μορφές προπόνησης δύναμης περιλαμβάνει την προοδευτική χρήση ποικίλων φορτίων αντίστασης, χρησιμοποιώντας διάφορα μέσα και τρόπους εφαρμογής, που καθορίζουν το είδος και τα χαρακτηριστικά της συστολής των ενεργών μυών. Ο όρος σταθερή εξωτερική αντίσταση υποδηλώνει ότι το βάρος ή η αντίσταση η οποία χρησιμοποιείται, παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της κίνησης. Όπως είναι γνωστό (Kreighbaum & Barthels, 1996), η συνολική εξωτερική επιβάρυνση και, κατά συνέπεια, η δύναμη που αναπτύσσουν οι μυοτενόντιες ενότητες μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης. Η μέθοδος της δυναμικής προπόνησης με σταθερή εξωτερική αντίσταση (ισοαδρανειακή) περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση του ασκούμενου με ελεύθερα βάρη ή με διάφορα μηχανήματα αντίστασης κατά τη διάρκεια μονοαρθρικών ή πολυαρθρικών κινήσεων καθώς επίσης και ασκήσεις που εκτελούνται κυρίως με μειομετρικές ή/ και πλειομετρικές συστολές των συμμετεχόντων μυών.

Η ισοαδρανειακή προπόνηση έχει βρεθεί ότι βελτιώνει σημαντικά την δύναμη διαφόρων μυϊκών ομάδων (Kovaleski, Heitman, Scaffidi, & Fondren 1992), οδηγεί σε βελτίωση της κινητικής απόδοσης σε διάφορες αθλητικές δεξιότητες όπως τα κατακόρυφα άλματα (Tricoli, Lamas, Carnevale, & Ugrinowitsch, 2005) και έχει θετική επίδραση στη σύσταση του σώματος (Kraemer et al., 2000). Παρά τον αριθμό των σχετικών μελετών, παραμένουν αναπάντητα αρκετά ερωτήματα που αφορούν τα χαρακτηριστικά αυτού του είδους προπόνησης, όπως η συχνότητα, ο αριθμός των σετ και ο αριθμός των επαναλήψεων που πρέπει να εκτελεσθούν για να μεγιστοποιηθούν τα θετικά αποτελέσματα στους παραπάνω τομείς. Αναφέρεται πως κατά τη διάρκεια μιας σύντομης χρονικής περιόδου προπόνησης, διάφοροι συνδυασμοί σετ και επαναλήψεων μπορούν να επιφέρουν παρόμοιες βελτιώσεις στην ανάπτυξη της μυϊκής δύναμης (Marx et al., 2001). Για παράδειγμα, η εφαρμογή μη περιοδικών προγραμμάτων προπόνησης με αντιστάσεις που περιελάμβαναν 1 έως 6 σετ με 1-20 επαναλήψεις, έχουν οδηγήσει σε αύξηση της μυϊκής δύναμης, ιδιαίτερα σε αγύμναστους πληθυσμούς. Επιπλέον, έχει αναφερθεί αύξηση στη μέγιστη δύναμη με την εκτέλεση ενός μόνο σετ μιας άσκησης σε κάθε προπονητική μονάδα, σε υγιείς ενήλικες που ασκούνται για την ανάπτυξη της γενικής φυσικής τους κατάστασης για περίοδο 7 έως 14 εβδομάδες (Kraemer et al., 2000).

Τα κατακόρυφα άλματα χρησιμοποιούνται συχνά για την αξιολόγηση της αθλητικής ικανότητας, τον εντοπισμό της δύναμης και των αδυναμιών των αθλητών και για την εκτίμηση των προπονητικών προγραμμάτων που στοχεύουν στην βελτίωση αυτών των χαρακτηριστικών (McLellan, 2011). Η απόδοση του κατακόρυφου άλματος καθορίζεται από μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων παραγόντων: της μέγιστης δύναμης που αναπτύσσεται από τους μύες που συμμετέχουν στην κίνηση, τον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης και τον νευρομυϊκό συντονισμό (McLellan, 2011). Ο υψηλός ρυθμός ανάπτυξης δύναμης και η ικανότητα των μυών να συνεχίσουν να παράγουν υψηλές δυνάμεις καθώς αυξάνεται η ταχύτητα συστολής τους, είναι



μηχανικές ιδιότητες που κυριαρχούν και αποτελούν το ζητούμενο στην προπόνηση και εκτέλεση των παραπάνω δραστηριοτήτων (Kraemer & Newton, 1994).

Προκειμένου να σχεδιαστεί ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα προπόνησης για τη μεγιστοποίηση της δύναμης των αγωνιστών μυών, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της εν λόγω δύναμης μεταξύ των οποίων κυρίαρχο ρόλο έχουν οι μηχανικοί παράγοντες. Από τη βιβλιογραφία (Fitts, McDonald, & Schluter, 1991) είναι γνωστό πως οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της δύναμης είναι κυρίως το μέγεθος της μυϊκής ενεργοποίησης, η φυσιολογική εγκάρσια διατομή του μυός, το ποσοστό των ινών τύπου I και II του μυός, η σχέση μήκους-δύναμης και η σχέση ταχύτητας-δύναμης. Η βελτιστοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων και ιδανικά όλων των παραπάνω παραγόντων, αποτελεί την ορθότερη και συντομότερη οδό για την μεγιστοποίηση των βιολογικών προσαρμογών που θα οδηγήσουν στην επιθυμητή αύξηση της δύναμης.

Στο πλαίσιο αυτό, θεωρήθηκε, πως ένα πρόγραμμα προπόνησης με εκτάσεις γόνατος σε περιορισμένο εύρος κίνησης, που να αντιστοιχεί: α) σε μήκη μυϊκών ινών των εκτεινόντων μυών του γόνατος στα οποία, με βάση τη σχέση μήκους δύναμης των εν λόγω μυών εμφανίζεται μεγάλη ικανότητα εφαρμογής της δύναμης, και β) σε μεγάλες τιμές του μοχλοβραχίονα του επιγονατιδικού τένοντα, όπου θα είναι δυνατή η χρήση πολύ υψηλών εξωτερικών φορτίων κατά την προπόνηση. Τα πολύ υψηλά φορτία πιθανά να προκαλούν αύξηση της μυϊκής ενεργοποίησης και της φυσιολογικής εγκάρσιας διατομής των εκτεινόντων μυών, και αναλογικά σε σημαντικές αυξήσεις της μέγιστης δύναμης ακόμα και σε εύρος κίνησης διαφορετικό από το εύρος κίνησης που χρησιμοποιήθηκε κατά την προπόνηση. Επιπλέον, ο συνδυασμός των υψηλών φορτίων με την απαίτηση για μέγιστη ταχύτητα εκτέλεσης σε κάθε επανάληψη μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγή μυϊκής ισχύος καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης (Cormie, McCaulley, & McBride, 2007).

Στη βιβλιογραφία εντοπίστηκαν ελάχιστες έρευνες σχετικά με την επίδραση της προπόνησης με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι Alegre, Ferri-Morales, Rodriguez-Casares και Aguado (2014), μελέτησαν την επίδραση της ισομετρικής προπόνησης σε γωνίες γόνατος που αντιστοιχούσαν σε μεγάλα (90°) και μικρά (50°) μήκη μυϊκών ινών των κεφαλών του τετρακεφάλου μυός και ανέφεραν αύξηση της ισοκινητικής δύναμης στις 60°/sec μόνο μετά από προπόνηση στα μεγάλα μήκη μυός. Επίσης, διαπίστωσαν ότι, μετά την προπόνηση η μέγιστη ροπή μετατοπίστηκε προς την γωνία του γόνατος στην οποία έγινε η προπόνηση. Επιπλέον, οι McMahon, Morse, Burden, Winwood, και Onambele (2014), μελέτησαν την επίδραση ισοαδρανειακής προπόνησης με περιορισμένο εύρος έκτασης γόνατος, αφενός μεταξύ 40°-90° (μεγάλα μήκη μυών) και αφετέρου μεταξύ 0°-50° (μικρά μήκη μυών), στην ισομετρική δύναμη που αναπτύσσεται στη γωνία των 70° και διαπίστωσαν σημαντικότερη αύξηση της δύναμης κατά την προπόνηση σε μεγάλα μήκη μυών. Δεν έχει όμως μελετηθεί η επίδραση μιας ανάλογης ισοαδρανειακής προπόνησης, διάρκειας έξι εβδομάδων και σε εύρος κίνησης που αντιστοιχεί στο βέλτιστο μήκος των μυϊκών ινών του τετρακεφάλου (de Brito Fontana & Herzog, 2016) στην ικανότητα παραγωγής μυϊκής ροπής σε μονοαρθρικές και πολυαρθρικές κινήσεις.

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετηθεί η επίδραση της προπόνησης σε περιορισμένο εύρος κίνησης της άρθρωσης του γόνατος και με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης, στη μέγιστη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος και στις μηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με υποχωρητική φάση. Η ερευνητική υπόθεση ήταν ότι η συγκεκριμένη



προπόνηση, θα αυξήσει σημαντικά τη μέγιστη ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος και τις παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος, σε διάστημα έξι εβδομάδων.

## **Μέθοδος**

### ***Συμμετέχοντες***

Στην έρευνα συμμετείχαν εθελοντικά 16 φοιτητές του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης (ηλικία:  $20,8 \pm 0,8$  έτη, ύψος:  $176,4 \pm 4,6$ cm, βάρος:  $76,7 \pm 2,8$ kg). Όλοι οι συμμετέχοντες είχαν εμπειρία στην προπόνηση με βάρη για τουλάχιστον δύο χρόνια και δεν είχαν μυοσκελετικούς τραυματισμούς στα κάτω άκρα τα τελευταία δύο χρόνια.

### ***Όργανα Μέτρησης***

Για την καταγραφή της ροπής των εκτεινόντων του γόνατος, χρησιμοποιήθηκε το ισοκινητικό δυναμόμετρο Cybex 6000, (Cybex International Medway, MA). Για την καταγραφή της γωνιακής θέσης και της γωνιακής ταχύτητας της έκτασης του γόνατος χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα εμβιομηχανικής ανάλυσης της κίνησης (Vicon, Oxford Metrics Ltd, Oxford, UK) που περιελάμβανε: οχτώ κάμερες υπερύθρων με συχνότητα δειγματοληψίας 100 εικόνες το δευτερόλεπτο. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ένα πιεζοηλεκτρικό δυναμοδάπεδο διαστάσεων 40x 60cm εφοδιασμένο με τέσσερις πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς (Kistler, τύπος 9281B11, Kistler Group, Winterthur, Switzerland) για την καταγραφή των τριών συνιστωσών (κατακόρυφη, προσθιοπίσθια και εγκάρσια) της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των κατακόρυφων αλμάτων με υποχωρητική φάση. Επιπλέον, για την καταγραφή της ηλεκτρομυογραφικής δραστηριότητας των ανταγωνιστών μυών της έκτασης του γόνατος χρησιμοποιήθηκε ασύρματος ηλεκτρομυογράφος (Myon 320, Myon AG, Schwarzenberg Switzerland) με δύο ζεύγη επιφανειακών ηλεκτροδίων με προενισχυτή. Το ισοκινητικό δυναμόμετρο, το δυναμοδάπεδο και ο ασύρματος ηλεκτρομυογράφος συνδέθηκαν στην κεντρική υπολογιστική μονάδα του συστήματος εμβιομηχανικής ανάλυσης μέσω κατάλληλου μετατροπέα αναλογικού/ψηφιακού σήματος με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz (Giganet, Oxford Metrics Ltd., Oxford, UK). Τέλος, για την μέτρηση του ύψους των ασκούμενων χρησιμοποιήθηκε ένα αναστημόμετρο (Seca) και για την μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ ανατομικών σημείων χρησιμοποιήθηκε ένα ανθρωπομετρικό παχύμετρο ((Lafayette Instrument Co., Lafayette, IN).

### ***Διαδικασία***

Οι μετρήσεις και η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Φυσικής Αγωγής και Άθλησης του Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ, (κατεύθυνση Εμβιομηχανικής). Οι εξεταζόμενοι προσέρχονταν χωριστά στο χώρο των μετρήσεων τρεις ώρες τουλάχιστον μετά την τελευταία λήψη γεύματος και χωρίς προηγουμένως να έχουν συμμετάσχει σε κάποια δραστηριότητα. Κατά την προσέλευσή τους φορούσαν αθλητικό σορτς, έβγαζαν τα παπούτσια και τις κάλτσες τους και ενημερώνονταν λεπτομερώς για τους σκοπούς της έρευνας και τη διαδικασία των μετρήσεων. Στη συνέχεια καταγραφόταν το ύψος τους με ένα αναστημόμετρο (χωρίς παπούτσια), το μήκος του κυρίαρχου κάτω άκρου τους (από την πρόσθια άνω λαγόνια άκανθα μέχρι τον έσω σφυρό του αντίστοιχου άκρου), η εγκάρσια απόσταση των δύο μηριαίων επικονδύλων στην άρθρωση του γόνατος (πλάτος γόνατος) και των δύο σφυρών στην ποδοκνημική άρθρωση (πλάτος ποδοκνημικής) με ένα ανθρωπομετρικό παχύμετρο με ακρίβεια 0,1cm. Ως κυρίαρχο ορίστηκε το



άκρο με το οποίο σούταραν αυθόρμητα μια μπάλα που τοποθετήθηκε μπροστά τους και επιλέχθηκαν οι εξεταζόμενοι που εκτελούσαν τη εν λόγω δεξιότητα με το δεξί πόδι. Το βάρος των εξεταζομένων καταγράφονταν από το δυναμοδάπεδο με ακρίβεια 0,1kg. Όλα τα παραπάνω δεδομένα καταγράφονταν στην προσωπική καρτέλα δεδομένων κάθε εξεταζόμενου. Στη συνέχεια σημειώνονταν με ανεξίτηλο μαρκαδόρο τα εξής ανατομικά σημεία: κεφαλή του 2ου μεταταρσίου, έξω σφυρό κνήμη, (50% της απόστασης μεταξύ του μηριαίου επικόνδουλου και έξω σφυρού), έξω μηριαίος επικόνδουλος, μέσο του μηρού (50% της απόστασης μεταξύ της πρόσθιας άνω λαγόνια άκανθας και του μηριαίου επικόνδουλου) και πρόσθια άνω λαγόνια άκανθα της δεξιάς πλευράς του σώματος των εξεταζομένων, σύμφωνα με το πρωτόκολλο plug-in-gait του συστήματος εμβιομηχανικής ανάλυσης. Για να καταγραφεί η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα των ανταγωνιστών μυών κατά την διάρκεια των μετρήσεων τοποθετήθηκαν στους ασκούμενους επιφανειακά ηλεκτρόδια με επιφάνεια επαφής 1cm<sup>2</sup>, σε διπολική διάταξη, με ενδιάμεση απόσταση 1,5 cm. Για τον εντοπισμό των περιοχών επικόλλησης των ηλεκτροδίων στους μύες ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM). Τα σημεία επικόλλησης σημειώνονταν με ανεξίτηλο μαρκαδόρο. Ακολούθησε προθέρμανση 5 λεπτών σε κυκλοεργόμετρο και αμέσως μετά καθάρισμα των ξυρισμένων περιοχών με οινόπνευμα. Στη συνέχεια, επικολλούνταν τα επιφανειακά ηλεκτρόδια στον δικέφαλο μηριαίο και τον ημιτενοντώδη μυ του δεξιού ποδιού. Έπειτα, τοποθετούνταν σφαιρικοί αυτοκόλλητοι ανακλαστήρες διαμέτρου 8 mm στα σημειωμένα ανατομικά σημεία που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η όλη διαδικασία είχε διάρκεια λιγότερο από ένα λεπτό. Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για πιθανές παρεμβολές στα ΗΜΓ σήματα των δύο μυών.

Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας, οι συμμετέχοντες τοποθετούνταν στο ισοκινητικό δυναμόμετρο και δένονταν με ιμάντες στο θώρακα, στην λεκάνη και τον δεξί μηρό, για την πλήρη ακινητοποίησή τους. Ο άξονας περιστροφής του βραχίονα του δυναμόμετρου ευθυγραμμιζόταν με τον έξω μηριαίο επικόνδουλο του δεξιού γόνατος που θεωρήθηκε ότι αντιστοιχεί με το κέντρο της εν λόγω άρθρωσης. Για να διασφαλιστεί ότι η ποδοκνημική άρθρωση θα βρίσκεται στην ίδια γωνία προκειμένου να μην επηρεάζεται διαφορετικά για κάθε εξεταζόμενο η παραγόμενη ροπή έκτασης του γόνατος από ενδεχόμενη ραχιαία ή πελματιαία κάμψη της ποδοκνημικής, τοποθετήθηκε νάρθηκας που διατηρούσε την παραπάνω γωνία σταθερή στις 90° σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης.

Στη συνέχεια οι εξεταζόμενοι εκτέλεσαν αρχικά πέντε υπομέγιστες ισομετρικές προσπάθειες (100-120Nm, περίπου 50% της μέγιστης ισομετρικής συστολής), διάρκειας 20 sec με ενδιάμεσο διάλλειμα 60 sec σε πέντε διαφορετικές γωνίες κάμψης του γόνατος (40°, 60°, 70°, 80°, 90°) για λόγους προθέρμανσης (Mademli, Arampatzis, Morey-Klapsing, & Bruggemann, 2004). Στη συνέχεια, εκτέλεσαν πέντε υπομέγιστες (15-30Nm) ισοκινητικές έκκεντρες κάμψεις (παθητική έκταση του γόνατος) σε γωνιακή ταχύτητα 180°/sec, για τον υπολογισμό της ανταγωνιστικής ροπής των οπίσθιων μηριαίων μυών. Ακολούθησε μία μέγιστη ισομετρική έκταση γόνατος στη γωνία των 45° για τον προσδιορισμό της αρχικής έντασης της προπόνησης ισχύος και μετά πέντε μέγιστες ισοκινητικές σύγκεντρες εκτάσεις γόνατος, σε όλο το εύρος κίνησης του γόνατος (0°-90°) με ταχύτητα 180°/sec για τον προσδιορισμό της μέγιστης ισοκινητικής ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος. Κατά τις ισοκινητικές εκτάσεις καταγράφηκε η καμπύλη της ισοκινητικής ροπής και οι θέσεις των ανακλαστήρων.

Από τα δεδομένα αυτά, υπολογίστηκε η πραγματική ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος. Για το σκοπό αυτό, η ροπή που κατέγραψε το δυναμόμετρο διορθώθηκε ως προς τη βαρύτητα και την απόκλιση του μοχλοβραχίονα του γόνατος από τον μοχλοβραχίονα του δυναμομέτρου. Στη





συνέχεια, προστέθηκε η ανταγωνιστική ροπή του δικέφαλου μηριαίου και του ημιτενοντώδη μυός. Για τον υπολογισμό της ανταγωνιστικής ροπής των οπίσθιων μηριαίων μυών, αρχικά υπολογίστηκε η σχέση της διορθωμένης ως προς τη βαρύτητα μέσης ροπής και της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγώνου του ηλεκτρομυογραφήματος (rmsEMG) των οπίσθιων μηριαίων μυών κατά την έκκεντρη συστολή τους, για κάθε διάστημα  $10^\circ$  του εύρους κίνησης κατά την παθητική έκταση του γόνατος μέσω ενός πολυώνυμου  $2^{\text{ου}}$  βαθμού ( $y=b_0+b_1x+b_2x^2$ ) (Kellis & Baltzopoulos, 1997). Με βάση αυτό το πολυώνυμο υπολογίστηκε η ανταγωνιστική ροπή των οπίσθιων μηριαίων μέσω της rmsEMG τιμής των οπίσθιων μηριαίων μυών κατά τη διάρκεια των προσπαθειών της μέγιστης ισοκινητικής έκτασης. Από τα τελικώς διορθωμένα δεδομένα της ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος, στη συνέχεια υπολογίστηκαν η μέγιστη και η μέση μέγιστη ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος.

Επίσης, οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν τρία μέγιστα κατακόρυφα άλματα με υποχωρητική φάση με διάλλειμα ενός λεπτού μεταξύ των αλμάτων. Οι εξεταζόμενοι έπρεπε να πηδήξουν όσο ψηλότερα μπορούν, χωρίς αιώρηση των χεριών και να προσγειωθούν επάνω στο δυναμοδάπεδο. Σε κάθε άλμα υπολογίστηκαν το ύψος του άλματος με βάση την ταχύτητα απογείωσης, η μέγιστη κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, η μέγιστη κατακόρυφη ταχύτητα του κέντρου μάζας σώματος και η μέγιστη μηχανική ισχύς. Πριν την εκτέλεση των μέγιστων αλμάτων οι συμμετέχοντες πραγματοποιούσαν 2-3 υπομέγιστα επιτόπια επαναλαμβανόμενα άλματα για την ενεργοποίηση του μυϊκού συστήματος.

Όλες οι παραπάνω μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πριν και μετά από την προπόνηση ισχύος, ώστε να ερευνηθεί αφενός η επίδραση της προπόνησης ισχύος στη μέγιστη ικανότητα παραγωγής ροπής από τους εκτεινόντες μύες του γόνατος και αφετέρου, εάν η ενδεχόμενη μεταβολή της ροπής σε μία μονοαρθρική κίνηση μπορεί να προκαλέσει μεταβολή της επίδοσης σε μία πολυαρθρική κίνηση.

Η προπόνηση ισχύος που μεσολάβησε μεταξύ της αρχικής και της τελικής μέτρησης είχε συνολική διάρκεια έξι εβδομάδων, με συχνότητα τρεις φορές την εβδομάδα και μία ημέρα ανάπαυση ανάμεσα στις προπονήσεις. Η προπόνηση πραγματοποιήθηκε σε ισοκινητικό δυναμόμετρο το οποίο είχε ρυθμιστεί σε ισοτονική λειτουργία. Το εύρος της κάθε έκτασης του γόνατος κατά την προπόνηση ήταν  $15^\circ$ , εκατέρωθεν της γωνίας γόνατος των  $60^\circ$  (δηλαδή από  $45^\circ$  έως  $75^\circ$ ) κατά την οποία αρχίζει να μεγιστοποιείται η μέγιστη ισομετρική δύναμη κατά την έκταση του γόνατος στους ενήλικες (Margison & Eston, 2001). Η αρχική ένταση της προπόνησης ορίστηκε στο 65% της μέγιστης ισομετρικής ροπής έκτασης γόνατος στη γωνία των  $45^\circ$ , η οποία είχε αξιολογηθεί για τον κάθε εξεταζόμενο όπως προαναφέρθηκε. Η συγκεκριμένη ένταση επιλέχθηκε διότι ήταν η μέγιστη επιβάρυνση με την οποία μπορούσαν οι εξεταζόμενοι να εκτελέσουν την έκταση του γόνατος στο συγκεκριμένο εύρος κίνησης που επιλέχτηκε για την προπόνηση. Η πρώτη εβδομάδα προπονήσεων αποτελούνταν από 5 σετ των 5 επαναλήψεων. Ανά εβδομάδα τα σετ, οι επαναλήψεις και άρα η συνολική επιβάρυνση αυξάνονταν προοδευτικά. Ανά ημέρα προπόνησης αυξάνονταν οι επαναλήψεις και ανά εβδομάδα τα σετ. Πιο αναλυτικά, την πρώτη εβδομάδα, στην πρώτη συνεδρία οι εξεταζόμενοι εκτελούσαν 5 σετ εκτάσεων γόνατος με 5 επαναλήψεις/σετ. Στην δεύτερη συνεδρία εκτελούσαν τον ίδιο αριθμό σετ με 6 επαναλήψεις/σετ και στη τρίτη συνεδρία εκτελούσαν τον ίδιο αριθμό σετ με 7 επαναλήψεις/σετ. Την δεύτερη εβδομάδα εκτελούσαν 6 σετ εκτάσεων γόνατος με 5 επαναλήψεις στην πρώτη συνεδρία, 6 επαναλήψεις την δεύτερη συνεδρία και 7 επαναλήψεις την τρίτη συνεδρία. Την τρίτη εβδομάδα προπόνησης εκτελούνταν 7 σετ εκτάσεων γόνατος με 5 επαναλήψεις στην πρώτη συνεδρία, 6 επαναλήψεις την δεύτερη συνεδρία



και 7 επαναλήψεις την τρίτη συνεδρία. Μετά τις τρεις εβδομάδες προπόνησης πραγματοποιήθηκε επαναξιολόγηση της μέγιστης ισομετρικής ροπής έκτασης γόνατος στις 45° και αναπροσαρμόστηκε η επιβάρυνση εκκίνησης (65% της νέας MVC) για τις υπόλοιπες τρεις εβδομάδες, με την ίδια προοδευτική αύξηση επαναλήψεων και σετ όπως στο πρώτο μέρος του προγράμματος. Ανάμεσα στα σετ πραγματοποιούνταν διάλειμμα 90sec. Κατά τη διάρκεια της προπόνησης οι συμμετέχοντες ενθαρρύνονταν ώστε να εκτελούν τις επαναλήψεις με μέγιστη ταχύτητα και να επιστρέφουν το άκρο τους στην αρχική θέση ελεγχόμενα κάθε φορά.

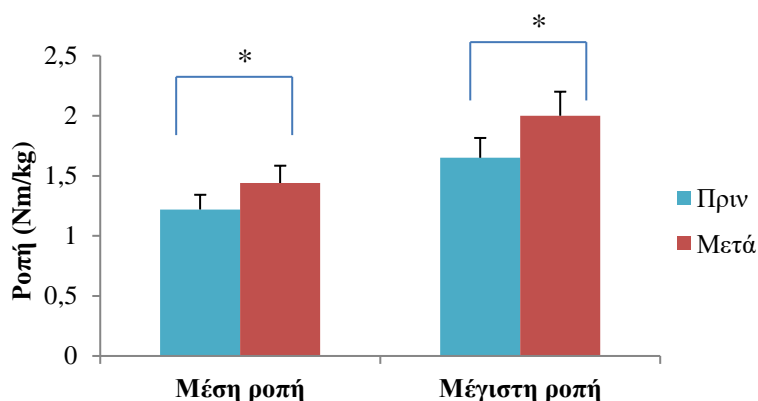
### Στατιστική Ανάλυση

Για τον έλεγχο της επίδρασης της προπόνησης στη μέση και μέγιστη ισοκινητική ροπή του γόνατος χρησιμοποιήθηκε T-test για ζευγαρωτές παρατηρήσεις. Για τον έλεγχο της επίδρασης της προπόνησης στις μηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος πραγματοποιήθηκε T-test για ζευγαρωτές παρατηρήσεις στο μέσο όρο των τιμών των παραπάνω μεταβλητών, στις προσπάθειες που εκτελέστηκαν, πριν και μετά την εφαρμογή του προπονητικού προγράμματος. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε ως  $p=.05$ .

### Αποτελέσματα

Από τα αποτελέσματα, διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση στις τιμές της μέσης ροπής ( $t_{14}=-3.773$ ,  $p<.01$ ), και της μέγιστης ροπής ( $t_{14}=-7.352$ ,  $p<.001$ ), μετά την προπόνηση ισχύος που εφαρμόστηκε (Σχήμα 1).

Όσον αφορά στις παραμέτρους της αλτικής ικανότητας δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στο ύψος του άλματος ( $t_{14}=-0.407$ ,  $p=.690$ ) Επίσης, δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη μέγιστη κατακόρυφη δύναμη ( $t_{14}=0.607$ ,  $p=.554$ ) και στη μέγιστη κατακόρυφη ταχύτητα ( $t_{14}=-0.706$ ,  $p=.491$ ). Αντίθετα, υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέγιστη ισχύ του άλματος ( $t_{14}=-6.363$ ,  $p<.01$ ) η οποία ήταν σημαντικά αυξημένη, μετά την εφαρμογή του προπονητικού προγράμματος (Πίνακας 1).



**Σχήμα 1.** Σχετικές τιμές και γραμμές τυπικού σφάλματος της μέσης και μέγιστης ισοκινητικής ροπής, ως προς το σωματικό βάρος, κατά την ισοκινητική έκταση του γόνατος στις 180°/sec, πριν και μετά την προπόνηση (\* $p<.01$ )



**Πίνακας 1.** Μέσοι όροι των μηχανικών παραμέτρων του άλματος σε σχέση με το σωματικό βάρος στο σύνολο των προσπαθειών, πριν και μετά την προπόνηση.

	Πριν	Μετά
Ύψος άλματος με βάση την ταχύτητα απογείωσης (cm/kg)	.432 ± .092	.435 ± .091
Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη άλματος (N/kg)	13.64 ± 2.56	13.97 ± .001
Μέγιστη κατακόρυφη ταχύτητα (m/s·kg)	.038 ± .003	.039 ± .003
Μέγιστη σχετική ισχύς άλματος (W/kg)	25.42 ± 3.21	27.54 ± 3.16

### Συζήτηση

Στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκε η επίδραση της ισοαδρειακής προπόνησης ισχύος, σε περιορισμένο εύρος κίνησης και με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα εκτέλεσης, στη μέγιστη ισοκινητική ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος στις 180°/sec και στις μηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με υποχωρητική φάση.

Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκε πλήρως η ερευνητική υπόθεση, όσον αφορά στην ικανότητα παραγωγής ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος, καθώς η συγκεκριμένη προπόνηση ισχύος αύξησε σημαντικά τη μέγιστη ροπή των εκτεινόντων μυών κατά την έκταση του γόνατος με ταχύτητα 180°/sec σε διάστημα μόλις έξι εβδομάδων. Ειδικότερα, η μέση αύξηση της μέγιστης μυϊκής ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος μετά την εφαρμογή του προπονητικού προγράμματος ήταν 15,6%, ενώ η μεγαλύτερη αύξηση που παρατηρήθηκε σε έναν εξεταζόμενο ήταν 52,3% σε σχέση με την αρχική μέτρηση. Η σημαντική αυτή αύξηση της μυϊκής ροπής των εκτεινόντων μυών του γόνατος, οφείλεται πιθανότατα στην αύξηση της δύναμης των συγκεκριμένων μυών καθώς ο μοχλοβραχίονας του επιγονατιδικού τένοντα δεν θεωρείται ότι διαφοροποιήθηκε σημαντικά στην τελική μέτρηση, αφού το εύρος κίνησης της έκτασης του γόνατος ήταν το ίδιο με αυτό της αρχικής μέτρησης (Kreighbaum & Barthels, 1996). Επιπλέον, μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν τη μυϊκή δύναμη, τις περισσότερες πιθανότητες για τη σημαντική αύξησή της μετά την προπόνηση ισχύος συγκεντρώνουν η αύξηση της μυϊκής ενεργοποίησης και της φυσιολογικής εγκάρσιας διατομής των εκτεινόντων μυών του γόνατος. Αντίθετα, το μήκος των μυϊκών ινών και η ταχύτητα συστολής των παραπάνω μυών δεν θεωρείται (Alegre, Ferri-Morales, Rodriquez, & Aguado, 2014) ότι συνέβαλλαν σημαντικά, αφού τόσο το εύρος κίνησης, όσο και η ταχύτητα της έκτασης του γόνατος ήταν περίπου ίδια μεταξύ αρχικής και τελικής μέτρησης. Επίσης, η σχετικά μικρή χρονική διάρκεια της προπόνησης δεν θεωρείται ικανή να επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις στο ποσοστό ή στις μεταβολικές ιδιότητες των μυϊκών ινών τύπου I και II των εκτεινόντων του γόνατος (Andersen et al., 2005). Βέβαια οι παραπάνω παράμετροι (μήκος μυϊκών ινών, ταχύτητα συστολής τους και ποσοστό ινών τύπου II), αποτελούν περιορισμούς της έρευνας καθώς δεν κατέστη δυνατή η μέτρηση τους.

Σε σχετική μελέτη των Alegre και των συνεργατών τους (2014) διαπιστώθηκε αύξηση της ισοκινητικής ροπής των ασκούμενων στις 60°/sec, μετά από ισομετρική προπόνηση 8 εβδομάδων σε γωνίες γόνατος που αντιστοιχούσαν σε μεγάλα μήκη των εκτεινόντων μυών (90°). Αντίθετα, δε βρέθηκε στην παραπάνω μελέτη αύξηση της ισοκινητικής ροπής μετά από ισομετρική προπόνηση σε μικρά μήκη μυός (50°). Επίσης, διαπιστώθηκε ότι μετά την προπόνηση η γωνία στην οποία





εμφανίστηκε η μέγιστη ροπή μετατοπίστηκε σε γωνία που αντιστοιχούσε στα μήκη των μυών στα οποία έγινε η προπόνηση σε κάθε ομάδα.

Επίσης, σε έρευνα των McMahon και συν. (2014), βρέθηκε σημαντική αύξηση της μέγιστης ισομετρικής ροπής στις 70° του γόνατος μετά από ισοαδρανειακή προπόνηση διάρκειας οκτώ εβδομάδων σε περιορισμένο εύρος έκτασης του γόνατος. Επιπλέον, οι εξεταζόμενοι που προπονήθηκαν με εύρος κίνησης 40°-90° (μεγάλα μήκη μυών), είχαν σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση από αυτούς που προπονήθηκαν σε εύρος κίνησης 0°-50° (μικρά μήκη μυών).

Όσον αφορά στα κατακόρυφα άλματα, από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η μόνη μηχανική παράμετρος που παρουσίασε στατιστικά σημαντική αύξηση μετά από την προπόνηση ισχύος ήταν η μηχανική ισχύς του άλματος. Η μηχανική ισχύς του άλματος εμφανίστηκε σημαντικά αυξημένη πιθανότατα λόγω των συνδυασμένων μη σημαντικών αυξήσεων στην μέγιστη κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης του εδάφους και στην μέγιστη ταχύτητα μετά από την προπόνηση (Aragón-Vargas & Gross, 1997).

Μια πιθανή εξήγηση για την εύρεση μη σημαντικών διαφορών στις υπόλοιπες παραμέτρους ίσως να είναι πως η προπόνηση πραγματοποιήθηκε μόνο στο ένα άκρο και μόνο στον τετρακέφαλο μυ. Είναι γενικά αποδεκτό ότι η αύξηση της ισχύος που προκαλεί η προπόνηση με αντιστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της κινητικής απόδοσης. Ωστόσο, για να συμβεί αυτό, ο ασκούμενος πρέπει να προπονει όλες τις μυϊκές ομάδες που συμμετέχουν στην πραγματοποίηση μιας αθλητικής κίνησης και ιδιαίτερα τους λιγότερο ισχυρούς μύες, γιατί εκείνοι ίσως περιορίσουν την εφαρμογή της δύναμης των ισχυρότερων μυϊκών ομάδων (Fleck & Kreamer, 2004). Ένας άλλος πιθανός λόγος, που δεν βρέθηκαν διαφορές, ίσως να είναι η έλλειψη τεχνικής και πρακτικής εξάσκησης των εξεταζομένων, η οποία μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αποτελεσματική εφαρμογή της μυϊκής δύναμης και άρα την επίδοση σε κινητικές δεξιότητες (Schultz, 1967).

Στη βιβλιογραφία αρκετές μελέτες έχουν διαπιστώσει αύξηση ορισμένων παραμέτρων του άλματος μετά από προπόνηση με αντιστάσεις του συνόλου των ενεργών μυϊκών ομάδων. Μεταξύ αυτών οι Arabatzi, Kellis, και Saez de Villarreal (2010) μελέτησαν τη μεταβολή της επίδοσης αλμάτων με υποχωρητική φάση, μετά από προπόνηση με ολυμπιακές άρσεις, πλειομετρικές ασκήσεις και συνδυαστική προπόνηση διάρκειας οχτώ εβδομάδων. Από τα αποτελέσματά τους διαπιστώθηκε ότι το ύψος του κατακόρυφου άλματος με υποχωρητική φάση αυξήθηκε σημαντικά με όλα τα παραπάνω ήδη προπόνησης. Όσον αφορά στην ισχύ, αυτή αυξήθηκε σημαντικά στην έκκεντρη φάση του άλματος μετά από όλα τα είδη προπόνησης. Μόνο η προπόνηση με ολυμπιακές άρσεις βελτίωσε σημαντικά την μηχανική ισχύ του άλματος στη σύγκεντρη φάση (Arabatzi et al., 2010). Στην παρούσα εργασία η μηχανική ισχύς μελετήθηκε στο σύνολο της κίνησης και όπως αναφέρθηκε εμφανίστηκε σημαντικά αυξημένη μετά από την προπόνησης ισχύος, παρόλο που αυτή αφορούσε μία μόνο μυϊκή ομάδα του κυρίαρχου άκρου. Στην έρευνα των Bogdanis και συν. (2019) μελετήθηκε η επίδραση της μονόπλευρης και της αμφίπλευρης πλειομετρικής προπόνησης στα κάτω άκρα, στη μέγιστη δύναμη, στον ρυθμό ανάπτυξης δύναμης και στην αλτική ικανότητα. Συγκεκριμένα, για την αλτική ικανότητα αξιολογήθηκε η επίδοση του άλματος με υποχωρητική φάση και του άλματος πτώσης από ύψος. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε πως η μονόπλευρη προπόνηση αύξησε το ύψος του κατακόρυφου άλματος με υποχωρητική φάση στον ίδιο βαθμό με την αμφίπλευρη προπόνηση των κάτω άκρων (Bogdanis et al., 2019).

Επίσης, οι Lamas και συν. (2012) αξιολόγησαν μεταξύ άλλων, το μέγιστο ύψος του άλματος με υποχωρητική φάση μετά από προπόνησης δύναμης (ένταση μεταξύ 10RM και 4RM) και προπόνηση ισχύος (ένταση μεταξύ 30% και 60% του 1RM) οι οποίες περιλάμβαναν ασκήσεις



ημικαθίσματος με μπάρα. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι το ύψος του κατακόρυφου άλματος με υποχωρητική φάση, βελτιώθηκε σημαντικά μόνο μετά από την προπόνηση ισχύος. Επίσης, ανεξαρτήτως του είδους προπόνησης, καμία σημαντική αλλαγή δεν παρατηρήθηκε στη διάρκεια της σύγκεντρης και έκκεντρης φάσης, στον ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης και στην μέγιστη ροπή έκτασης των αρθρώσεων του κάτω άκρου (Lamas et al., 2012).

### Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, από τα αποτελέσματα της εργασίας διαπιστώθηκε ότι η προπόνηση σε περιορισμένο εύρος κίνησης του γόνατος με πολύ μεγάλη επιβάρυνση και με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα, αυξάνει σημαντικά την ροπή των αγωνιστών μυών, σε διάστημα μόλις έξι εβδομάδων και παράλληλα την μηχανική ισχύ του κατακόρυφου άλματος. Ως πιθανότερες προσαρμογές του βιολογικού μηχανισμού για την επίτευξη των παραπάνω ευρημάτων μπορούν να θεωρηθούν η αύξηση της μυϊκής ενεργοποίησης ή/και η υπερτροφία των συμμετεχόντων μυών. Ο βαθμός της συνεισφοράς των παραπάνω προσαρμογών μπορεί να προσδιοριστεί σε μελλοντική έρευνα με την αξιολόγηση των μεταβολών της μυϊκής ενεργοποίησης και της φυσιολογικής εγκάρσιας διατομής των εκτεινόντων μυών του γόνατος. Σε κάθε περίπτωση τα ευρήματα της παρούσας εργασίας συνηγορούν υπέρ της χρήσης πολύ υψηλών φορτίων εξωτερικής επιβάρυνσης με μέγιστη ταχύτητα κίνησης στην προπόνηση δύναμης.

### Βιβλιογραφία

- Alegre, L. M., Ferri-Morales A., Rodriguez, R., & Aguado, X. (2014). Effects of isometric training on the knee extensor moment–angle relationship and vastus lateralis muscle architecture. *European Journal of Applied Physiology* 114, (11), 2437–2446.
- Andersen, L. L., Andersen J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J L., Christensen, L. R., et al. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *Journal Applied Physiology*, 99(1), 87-94.
- Arabatzi, F., Kellis E., & Saez de Villarreal, S. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2440–2448
- Aragón-Vargas, L. F., & Gross, M. M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: Differences among individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(1), 24-44.
- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Kaloheri, O., Terzis, G., Veligekas, P., & Brown, L. E. (2019). Comparison between unilateral and bilateral plyometric training on single-and double-leg jumping performance and strength. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(3), 633-640.
- Cormie, P., Mccauley, G., & McBride J. M. (2007). Power versus strength-power jump squat training: Influence on the load-power relationship. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(6), 996-1003.
- De Brito Fontana, H., & Herzog, W. (2016). Vastus lateralis maximum force-generating potential occurs at optimal fascicle length regardless of activation level. *European Journal Applied Physiology*, 116(6), 1267-1277.
- Faigenbaum, A.D., Kraeme,r W.J., Blimkie, C.J., Jeffreys, I., Micheli, L.J., Nitka, M., et al., (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Condition Research*, 23(5):60-79.



- Fitts, R.H., McDonald, K.S., & Schluter, J. M. (1991). Determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *Journal of Biomechanics*, 24(Supp. 1), 111-122.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs, 3rd Edition*, (pp. 26-32). Champaign-Urbana: Human Kinetics.
- Kellis, E., & Baltzopoulos, V. (1997). The effects of antagonist moment on the resultant knee joint moment during isokinetic testing of the knee extensors. *European Journal of Applied Physiology*, 76(3), 253-259.
- Kovaleski, J. E., Heitman, R. J., Scaffidi, F. M., & Fondren III, F. B. (1992). Effects of isokinetic velocity spectrum exercise on average power and total work. *Journal of Athletic Training*, 27(1), 54-56.
- Kraemer W.J., Ratamess, N.A., Fry, A. C., Triplett- McBride, T., Koziris, L. P., Bauer, J.A., et al. (2000). Influence of resistance training volume periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *American Journal of Sports Medicine* 28(5), 626-633.
- Kraemer, W.J. & Newton, R. U. (1994). Training for improvement vertical jump. *Sport Science Exchange*, 7(6), 1-12.
- Kreighbaum, E. & Barthels, K. M. (1996). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human movement, 4th edition* (pp.152-155). Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.
- Mademli L., Arampatzis D., Morey-Klapsing G., & Bruggemann G.P. (2004). Effect of ankle joint position and electrode placement on the estimation of the antagonistic moment during maximal plantarflexion *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(5), 591–597.
- Marginson, V. & Eston, R. (2001). The relationship between torque and joint angle during knee extension in boys and men. *Journal of Sports Sciences*, 19(11), 591-597.
- Marx, J. O., Ratamess, N. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Dohi, K., et al. (2001). Low- volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 635-643.
- McLellan, Ch. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011). The role of rate of force development on vertical jump performance. *Journal of Strength and Condition Research*, 25(2), 379-85.
- McMahon, G., Morse, Ch. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambele, L. G. (2014). Muscular adaptations and insulin-like growth factor-1 responses to resistance training are stretch-mediated. *Muscle & Nerve*, 49(1), 108–119.
- Lamas, L., Ugrinowitsch, C., Rodacki, A., Pereira, G., Mattos, E. C. T., Kohn, A. F., et al. (2012). Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *Journal of Strength and Condition Research*, 26(12), 3335–3344.
- Schultz, R. W. (1967). Effect of direct practice and repetitive sprinting and weight training on selected motor performance tasks. *Research Quarterly*, 38(1), 108-118.
- Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Ugrinowitsch, C. (2005). Short- term effects on lower-body functional power development: Weight lifting vs. vertical jump training programs. *Journal of Strength and Condition Research*, 19(2), 433-437.





## Effect of isoinertial power training with limited range of motion in isokinetic knee torque and mechanical parameters of vertical jump

P. Manaveli, N. Aggeloussis, V. Gourgoulis, A. Xatzinikolaou  
Democritus University of Thrace

### ABSTRACT

The purpose of the present research was to study the effect of a training program involving knee extensions on a limited range of motion (30°), under heavy loading (65% MVC in 45° knee angle) and at the maximum movement speed (power training) in the maximum isokinetic torque of knee extensors and selected mechanical parameters of the countermovement jump. The sample was 16 students of Democritus University of Thrace, Department of Physical Education and Sport Sciences without a record of injuries, who did not participate during the research into another physical activity program. The participants performed five repetitions of maximum isokinetic extension at 180°/sec and three countermovement jumps before and after a six-week power training program. An isokinetic dynamometer was used to record the isokinetic torque while a piezoelectric force platform was used to measure the ground reaction force for the calculation of the mechanical parameters of the countermovement jumps. For the statistical processing of the data, a T-test analysis was performed for paired observations in the values of variables before and after training. Statistically significant increases in the values of the average maximum torque and maximum torque were found. In contrast, no statistically significant difference was found in the parameters of the jump other than mechanical power. In conclusion, the significant increase in the torque of the extended knee muscles over a period of just six weeks is likely due to a combined increase in muscle activation and the normal cross-section of these muscles due to very large the limited range of movement during training. Moreover, the significant increase in the mechanical power of the vertical jump is likely due to the fact that the above training was carried out at the maximum possible speed of execution.

**Key words:** training in limited range of motion; strength; jumping performance.

Corresponding address:

Pelagia Manaveli  
Democritus University of Thrace  
Department of Physical Education and Sport Sciences  
University Campus, 69100 Komotini

E-mail:

[pmanavel@phyed.duth.gr](mailto:pmanavel@phyed.duth.gr)