

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΤΡΙΚΑΛΩΝ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΑΣ ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΗΣ  
ΠΟΔΟΚΝΗΜΙΚΗΣ ΣΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

της

Αντωνίου Βαρσάμω

Επιβλέπων καθηγητής

Γιάκας Ιωάννης

Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Άσκηση και Υγεία» του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΤΡΙΚΑΛΑ 2009

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### Η Επίδραση της Κόπωσης και της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής στον Δυναμικό Έλεγχο της Θέσης του Σώματος

Η Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής έχει συνδυαστεί με την ύπαρξη ιδιοδεκτικών ελλειμμάτων και ισορροπιστικών διαταραχών στα κάτω άκρα. Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να εξετασθεί η πιθανή επίδραση της κόπωσης στην δυναμική ισορροπία των ατόμων αυτών. Η αρχική ερευνητική υπόθεση ήταν ότι θα παρουσιάζονταν αρνητικές αλλαγές στην ισορροπία υπό συνθήκες κόπωσης. Επελέχθησαν 12 άτομα με παθολογία συχνών διαστρεμμάτων στην ποδοκνημική άρθρωση ως πειραματική ομάδα και άλλα 12 άτομα ως ομάδα ελέγχου. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν τρία άλματα σε βάθος από ύψος 30 εκατ και προσγειώθηκαν με μονοποδική στήριξη σε δυναμοδάπεδο, διατηρώντας την ισορροπία τους για 20''. Οδηγήθηκαν στο ισοκινητικό δυναμόμετρο όπου και υπέβαλλαν σε κόπωση τους ραχιαίους και πελματιαίους καμπτήρες μύες της ποδοκνημικής στις 60° /sec ομόκεντρα και κατόπιν επανέλαβαν τα τρία άλματα. Η πειραματική ομάδα εξετάστηκε και στα δύο πόδια. Ακολούθησε στατιστική ανάλυση των δεδομένων με το πακέτο SPSS 15.0 και τα αποτελέσματα οδήγησαν σε απόρριψη της αρχικής ερευνητικής υπόθεσης καθώς δεν εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμιά πειραματική μεταβλητή. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο το άλμα σε βάθος από ύψος 30 εκατ όσο και το κατώφλι του 50% της μέγιστης δύναμης που χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο ισοκινητικής κόπωσης, εικάζεται ότι δεν επιβάρυναν ικανοποιητικά το ισορροπιστικό σύστημα των δοκιμαζομένων.

Λέξεις κλειδιά: Δυναμική ισορροπία, Ισοκινητική κόπωση, Διάστρεμμα ποδοκνημικής

# SUMMARY

## **The Effects of Fatigue and Chronic Ankle Instability on Dynamic Postural Control**

Chronic ankle instability has been associated with the existence of proprioceptive deficits and balance disorders at the lower extremities. The purpose of this study was to examine the possible effects of fatigue on the dynamic balance of people with CAI. It was hypothesized that there would be negative changes on dynamic balance capability under fatigue conditions. 12 volunteers were chosen as the test group, under specific criteria and 12 more as the control group. Both groups performed three drop jumps from 30cm height and landed on single leg on a force plate for 20''. An isokinetic fatigue protocol followed for both the ankle plantarflexors and dorsiflexors muscles at a concentric 60°/sec mode. At the completion of the fatigue protocol, the volunteers repeated the three drop jumps. Both the test group's legs were tested. A statistical analysis of the data followed, using the SPSS 15.0 package. The results revealed no statistical significant differences between any of the covariates. The original research hypothesis was rejected. However, it must be mentioned that it is thought that both the 30cm height drop jump and the 50% Fmax fatigue threshold that were used in this study, might not have sufficiently enough provoked the volunteers balance systems.

Key words: Dynamic balance, Isokinetic fatigue, ankle ligament injury

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΠΙΝΑΚΕΣ – ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ.....	1
2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	6
3.1 Χρόνια Αστάθεια Ποδοκνημικής Αιτιολογία.....	8
3.2 Μηχανική Αστάθεια Ποδοκνημικής.....	8
3.3 Λειτουργική Αστάθεια Ποδοκνημικής.....	11
3.4 Σχέση Χρόνιας Αστάθειας Ποδοκνημικής και Ικανότητας Ελέγχου Σώματος .....	11
3.5 Κόπωση- Ισορροπία- Χρόνια Αστάθεια Ποδοκνημικής.....	13
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	17
4.1 Δείγμα.....	17
4.2 Διαδικασία Μέτρησης.....	18
5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	21
6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	21
7 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	23
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	28
9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29

## ΠΙΝΑΚΕΣ

<b>Πίνακας 1</b>	<b>Παρουσίαση τυπικών αποκλίσεων και Μέσων όρων</b>	<b>σελ 22</b>
<b>Πίνακας 2</b>	<b>Παρουσίαση αποτελεσμάτων ANOVA Επαναλαμβανόμενων μετρήσεων</b>	<b>σελ 22</b>

## ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

ANOVA	Analysis Of Variation
SEBT	Star Excursion Balance Training
ΤΕΦΑΑ	Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
TTSX	Χρόνος σταθεροποίησης στο μετωπιαίο επίπεδο
TTSY	Χρόνος σταθεροποίησης στο προσθιοπίσθιο επίπεδο

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συνδεδεμένοι τραυματισμοί στην ποδοκνημική άρθρωση αποτελούν έναν από τους συνηθέστερους τραυματισμούς των κάτω άκρων (Brown & Mynark, 2007; Gribble & Hertel, 2004; Verhagen et al., 2004) ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια αθλητικών δραστηριοτήτων, όπως είναι η πετοσφαίριση (Verhagen et al., 2004), το ποδόσφαιρο και η καλαθοσφαίριση (Fong, Hong, Chan, Yung, & Chan, 2007).

Ο συνδυασμός της γρήγορης και απότομης πελματιαίας κάμψης και υπτιασμού της ποδοκνημικής άρθρωσης αποτελεί τον κύριο παθολογοανατομικό μηχανισμό για την πλειονότητα των διαστρεμμάτων που παρουσιάζονται στην συγκεκριμένη άρθρωση. Αποτέλεσμα της κίνησης αυτής είναι ο τραυματισμός του εξωτερικού θυλακοσυνδεδεμένου συστήματος της ποδοκνημικής και ειδικότερα του έξω πλαγίου συνδέσμου (Gribble, Hertel, Denegart, & Buckley, 2004; McKeon & Hertel, 2008a; Olmsted, Carciat, Hertel, & Shultz, 2002).

Ένα σημαντικό ποσοστό των τραυματισμένων αυτών αθλητών, που κυμαίνεται ακόμα και στο 73% των περιπτώσεων (Yeung et al, 2004), θα οδηγηθεί σύντομα σε επανατραυματισμό της ίδιας άρθρωσης, εκδηλώνοντας τα συμπτώματα του χρόνιου πόνου, της αστάθειας και ενός αισθήματος «γενικότερης χαλάρωσης» στην ποδοκνημική (Brown & Mynark, 2007; Gribble et al., 2004; Riemann, 2002; Verhagen et al., 2004).

Με τον όρο «Χρόνια Αστάθεια Ποδοκνημικής» περιγράφεται μια νοσολογική οντότητα, κατά την οποία παρατηρείται μια τροποποίηση στην μηχανική σταθερότητα της άρθρωσης, ως αποτέλεσμα της επαναλαμβανόμενης διαταραχής της φυσικής της ακεραιότητας (συχνά διαστρέμματα), συνδυαζόμενη και με τα ελλείμματα που παρατηρούνται στον νευρομυϊκό έλεγχο της περιοχής.

Το 1965 ο Freeman και οι συνεργάτες του, διατυπώνοντας μια πρωτοπόρα και επαναστατική θεωρία, απέδιδαν το αίτιο της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής στην αρθρική αποδιοργάνωση που δημιουργούνταν, καθώς οι νευρικές ίνες του συνδέσμου και του θύλακα τραυματίζονταν κατά τη διάρκεια των επανειλημμένων διαστρεμμάτων της συγκεκριμένης άρθρωσης (Freeman, Dean, & Hanham, 1965).

Έκτοτε, πολλοί ερευνητές έχοντας συνταχθεί με τη θεωρία του Freeman και των συνεργατών του, αποδίδουν στα ιδιοδεκτικά ελλείμματα που παρατηρούνται στην ποδοκνημική άρθρωση την κύρια ευθύνη για τη δημιουργία της Χρόνιας Αστάθειας σε αυτήν (Kaminski, 1999; Lentell, 1990). Στην αρχική αυτή θεωρία, ως αιτιολογικοί παράγοντες, έχουν προστεθεί η ύπαρξη μηχανικής αστάθειας στην πάσχουσα ποδοκνημική άρθρωση καθώς και η μειωμένη λειτουργία των σύστοιχων περονιαίων μυών.

Συνοπτικά, η Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής χαρακτηρίζεται από τραυματισμό των μηχανουποδοχέων της άρθρωσης, ιδιοδεκτικά ελλείμματα, μηχανική αστάθεια, ελαττωμένη λειτουργία των περονιαίων μυών και μειωμένη ικανότητα ελέγχου της στάσης του σώματος (Doherty, Valovich, & Shultz, 2006; Gribble et al., 2004; Hale, Hertel, & Olmsted-Kramer, 2007; Hertel & Olmsted-Kramer, 2007; Hubbard, Kramer, Denegar, & Hertel, 2007a; Olmsted et al., 2002; Riemann, 2002).

Ο έλεγχος της στάσης του σώματος αναλύεται στην στατική και στη δυναμική ισορροπία. Η στατική ισορροπία είναι η προσπάθεια σταθεροποίησης του κέντρου μάζας του σώματος πάνω από μια σταθερή βάση στήριξης. Σε αντίθεση, η δυναμική ισορροπία αναφέρεται στην ικανότητα διατήρησης του κέντρου μάζας του σώματος πάνω σε μια κινούμενη βάση στήριξης, ή όταν εφαρμόζεται πάνω στο σώμα μια

δύναμη παρέκκλισης (Brown & Mynark, 2007; Gribble et al., 2004; Verhagen et al., 2004).

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μια ικανοποιητική διερεύνηση της επίδρασης της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής στο στατικό αλλά και στο δυναμικό σκέλος του ελέγχου της στάσης του σώματος. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών υποδηλώνουν μια μείωση της ισορροπιστικής ικανότητας, τόσο υπό στατικές, όσο και υπό δυναμικές συνθήκες, και η οποία οδηγεί σε αξιοσημείωτους λειτουργικούς περιορισμούς (Doherty et al., 2006; Gribble et al., 2004; Hale et al., 2007).

Η πρόκληση κόπωσης σε μια ανατομική περιοχή επηρεάζει τα ιδιοδεκτικά και κιναισθητικά χαρακτηριστικά της, αυξάνοντας το κατώφλι εκφόρτισης της μυϊκής ατράκτου, διακόπτοντας την προσαγωγή ανατροφοδότηση και οδηγώντας σε μείωση της κιναισθητικής ικανότητας (Gribble et al., 2004).

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση επιβεβαιώνει την εκτεταμένη διερεύνηση της επίδρασης της κόπωσης στο στατικό σκέλος της ισορροπίας. Η πλειονότητα των ερευνητών συμφωνεί με τη διαπίστωση ότι η κόπωση επιβαρύνει όλες τις παραμέτρους ταλάντωσης της στατικής ισορροπίας, μειώνοντας κατά πολύ την ισορροπιστική ικανότητα.

Εν αντιθέσει, όμως, παραμένει ανεπαρκώς διερευνημένος ο τρόπος με τον οποίον το δυναμικό σκέλος της ισορροπιστικής ικανότητας επηρεάζεται υπό συνθήκες κόπωσης (Wikstrom, Powers, & Tillman, 2004).

Μεγαλύτερο -δε- ερευνητικό κενό παρατηρείται στη διερεύνηση της επίδρασης της κόπωσης αλλά και της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής στην δυναμική ισορροπία, με τις ελάχιστες έρευνες που υπάρχουν να αφήνουν πολλά ερευνητικά ερωτήματα.



Σκοπός λοιπόν της συγκεκριμένης έρευνας είναι η αναζήτηση της όποιας επίδρασης της κόπωσης στην δυναμική ικανότητα για ισορροπία αθλητών με Χρόνια Αστάθεια Ποδοκνημικής Άρθρωσης.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας ενδέχεται να δώσουν σημαντικές πληροφορίες ώστε να εμποδιστούν αλλά και να αποκατασταθούν πληρέστερα τα ιδιοδεκτικά ελλείμματα που παρατηρούνται στα άτομα αυτά. Με τον τρόπο θα διασφαλίζεται πληρέστερα η επιστροφή και η συμμετοχή των αθλητών στις αγωνιστικές τους δραστηριότητες, καθώς θα έχει διευκρινισθεί ο βαθμός επίδρασης του παράγοντα της κόπωσης (που εμπεριέχεται σε όλες τις μορφές άθλησης) στην δυναμική ισορροπία και κατά συνέπεια στην ικανότητα αποφυγής επανατραυματισμού.

Η υπόθεση είναι ότι η κόπωση σε συνδυασμό με την Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής θα μειώσουν σημαντικά τις παραμέτρους που ορίζουν τη δυναμική ισορροπία , αυξάνοντας -ταυτόχρονα- τον χρόνο που απαιτείται προκειμένου να επιτευχθεί η ισορροπία υπό δυναμικές συνθήκες.

## ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Οι τραυματισμοί των συνδεσμικών κατασκευών της ποδοκνημικής άρθρωσης αποτελούν μια από τις συχνότερες αιτίες αποχής πολλών αθλητών από τις αθλητικές τους δραστηριότητες.

Οι Fong και οι συνεργάτες του το 2007 μέσα από μια συστηματική ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας από το 1977-2005 και η οποία περιελάμβανε 70 αθλήματα από 37 χώρες, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε 24 / 70 αθλήματα η ποδοκνημική άρθρωση ήταν η συχνότερα τραυματιζόμενη ανατομική περιοχή. Παράλληλα, στα 33 / 43 αθλήματα που παρουσίαζαν τα χαρακτηριστικά των αλμάτων, απότομων αλλαγών κατεύθυνσης και προσγειώσεων, οι συνδεσμικές κακώσεις της ποδοκνημικής άρθρωσης ήταν οι κυρίαρχες (Fong et al., 2007).

Επιπρόσθετα, η Εθνική Κολεγιακή Αθλητική Οργάνωση ανέφερε ότι τα διαστρέμματα της ποδοκνημικής άρθρωσης παρουσιάζονταν ιδιαίτερα αυξημένα, τόσο στον ανδρικό όσο και στον γυναικείο πληθυσμό, και ειδικότερα στα αθλήματα της καλαθοσφαίρισης, της πετοσφαίρισης και του ποδοσφαίρου (Injury Surveillance System, 2004).

Η πλειονότητα των συνδεσμικών τραυματισμών στην άρθρωση αυτή αφορούσε τραυματισμό των εξωτερικών συνδεσμικών κατασκευών και πιο συγκεκριμένα του έξω πλαγίου συνδέσμου. Ο κύριος μηχανισμός κάκωσης του συγκεκριμένου συνδέσμου ήταν ο συνδυασμός του αυξημένου υπτιασμού ή της ανάσπασης του έσω χείλους του άκρου ποδός, όταν το κάτω άκρο βρισκονταν σε έξω στροφή κατά τη βάδιση ή κατά την προσγείωση από άλμα (Wolfe, Uhl, Mattacola, & McCluskey, 2001). Η πιθανότητα για διάστρεμμα του έξω πλαγίου συνδέσμου αυξάνονταν όταν συνυπήρχε και υπέρμετρη πελματιαία κάμψη στην ποδοκνημική (Wright et al, 2000).

Το ιδιαίτερο αυτό κινησιολογικό πατέντο συναντάται κατά κόρον σε αθλήματα σάλας όπως είναι η καλαθοσφαίριση, η πετοσφαίριση, το χάντμπολ αλλά και σε

αθλήματα επαφής όπως είναι το ποδόσφαιρο. Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών των αθλημάτων ήταν η συχνή παρουσία αλμάτων, προσγειώσεων και αλλαγών κατεύθυνσης που εμπεριείχαν το προαναφερθέν πατέντο κάκωσης.

Η πιθανότητα πολλαπλών επανατραυματισμών, ύστερα από μια αρχική συνδεσμική κάκωση στην ποδοκνημική, παρουσιάζονταν ιδιαίτερα αυξημένη τόσο στον ενεργά αθλητικό πληθυσμό, όσο και στους αθλητές αναψυχής.

Σε μια επιδημιολογική μελέτη του Yeung και των συνεργατών του το 1994 που περιλάμβανε αθλητές από τρεις κατηγορίες (εθνικές ομάδες, αγωνιστικές ομάδες και ερασιτέχνες αθλητές), το 73% των αθλητών αυτών δήλωνε την παρουσία επαναλαμβανόμενων διαστρεμμάτων στην ποδοκνημική τους άρθρωση. Το 59% -δε- αυτών παραπονιόταν για ανικανότητα και επίμονα συμπτώματα, λόγω των συχνών διαστρεμμάτων, και τα οποία είχαν ως τελικό αποτέλεσμα την μείωση της αθλητικής τους επίδοσης (Yeung, Chan, So, & Yuan, 1994).

Σύμφωνα με άλλες μελέτες το 31-40% των αθλητών με διάστρεμμα του έξω πλαγίου συνδέσμου της ποδοκνημικής θα κατέληγε σε Χρόνια Αστάθεια της άρθρωσης, εμφανίζοντας τα συμπτώματα του χρόνιου πόνου, της αρθρικής αστάθειας και ενός αισθήματος «γενικότερης χαλάρωσης» (Hubbard, Kramer, Denegar, & Hertel, 2007b; Messina, Farney, & DeLee, 1999).

## Χρόνια Αστάθεια Ποδοκνημικής – Αιτιολογία

Για την πρόκληση της Χρόνιας Αστάθειας στην άρθρωση της ποδοκνημικής έχει ενοχοποιηθεί μια πληθώρα παραγόντων οι οποίοι ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες : αυτούς που προκαλούν μηχανική αστάθεια και αυτούς που προκαλούν λειτουργική αστάθεια στην συγκεκριμένη ανατομική περιοχή.

Αν και ορισμένοι ερευνητές παρατηρούν διαφορές ανάμεσα στη λειτουργικά και στη μηχανικά προκαλούμενη αστάθεια της ποδοκνημικής (Brown, Padua, Marshall, & Guskiewicz, 2008), εντούτοις οι περισσότεροι ερευνητές επιλέγουν το δείγμα τους βάση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της αστάθειας και θεωρούν ότι οι δύο αυτές κατηγορίες συνυπάρχουν σε όλες τις περιπτώσεις Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής (Gribble et al., 2004; Hubbard et al., 2007b).

### I Μηχανική αστάθεια ποδοκνημικής

Η διαταραχή της μηχανικής σταθερότητας της ποδοκνημικής άρθρωσης παρουσιάζεται ως απόρροια πολλών παραγόντων που συμβάλλουν στην αλλαγή της μηχανικής εικόνας μιας ή περισσότερων αρθρώσεων που συμμετέχουν στο αρθρικό σύμπλεγμα της ποδοκνημικής. Η παθολογική αρθρική χαλάρωση, η διαταραγμένη αρθροκινηματική, η θυλακική φλεγμονή καθώς και η εμφάνιση εκφυλιστικών αλλαγών είναι μερικοί από αυτούς.

Αναλυτικότερα, μετά από κάθε συνδεσμικό τραυματισμό, παρατηρήθηκε η παρουσία *παθολογικής χαλάρωσης* στην αστραγαλοπτερνική και υπαστραγαλικές αρθρώσεις (Hertel, 2002). Το μέγεθος αυτής της χαλάρωσης εκτιμήθηκε με διάφορα μέσα, όπως η φυσική εξέταση με τη δοκιμασία του πρόσθιου συρταριού στην ποδοκνημική, η λήψη ακτινογραφίας της άρθρωσης υπό στρες ή η χρήση ειδικών αρθρομέτρων (Kovaleski, Gurchiek, Heitman, Hollis, & Pearsall, 1999). Η εμφάνιση υπερβολικού πρόσθιου συρταριού υποδήλωνε χαλάρωση στο εγκάρσιο επίπεδο, ενώ

η αυξημένη κλίση του αστραγάλου υποδείκνυε χαλάρωση στο εγκάρσιο επίπεδο (Hertel, 2002).

Επιπρόσθετη αιτία μηχανικής αστάθειας στο σύμπλεγμα της ποδοκνημικής ήταν η ύπαρξη *διαταραγμένης αρθροκινηματικής* και στις τρεις αρθρώσεις που την απαρτίζουν. Αυτή συνίστατο από τη λανθασμένη θέση της κάτω κνημοπερονιαίας άρθρωσης, καθώς το κάτω άκρο της περόνης ήρθε μπροστά και κάτω σε σχέση με την κνήμη. Με τον τρόπο αυτό οδηγήθηκε σε χαλαρή θέση ο πρόσθιος κνημοπερονιαίος σύνδεσμος, μειώνοντας του την ικανότητα να περιορίζει τον υπέρμετρο υπτιασμό του άκρου ποδός και συμβάλλοντας έτσι στην εμφάνιση συχνών διαστρεμμάτων (Denegar & Miller, 2002; Kavanagh, 1999).

*Η υποκινητικότητα και το μειωμένο εύρος τροχιάς*, ειδικότερα η περιορισμένη ραχιαία κάμψη, αυξάνουν τις πιθανότητες τραυματισμού του έξω πλάγιου συνδέσμου. Με τον άκρο πόδα σε μειωμένη ραχιαία κάμψη, η ποδοκνημική αδυνατεί να «κλειδώσει» κατά τη φάση στήριξης του ποδιού, επιτρέποντας μεγαλύτερη ανάσπαση έσω χείλους αλλά και έσω στροφής, ωθώντας έτσι τον έξω πλάγιο σύνδεσμο σε μεγάλη τάση και σε θέση τραυματισμού (Tabrizi, McIntyre, Quesnel, & Howard, 2000).

Τέλος, *η εμφάνιση φλεγμονής στον υμένα της άρθρωσης της ποδοκνημικής* (Hertel, 2002) αλλά και *η παρουσία οστεόφυτων και υποχόνδριων αλλοιώσεων στα οστά της* (Gross & Marti, 1999) έχουν συσχετισθεί θετικά με την δημιουργία της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής.

## II Λειτουργική αστάθεια ποδοκνημικής

Πρώτος το 1965 ο Freeman και οι συνεργάτες του εισήγαγαν τον όρο της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής προκειμένου να περιγράψουν τη παθολογική εκείνη κλινική κατάσταση που χαρακτηριζόταν από πολλαπλά διαστρέμματα του έξω

πλαγίου συνδέσμου της συγκεκριμένης άρθρωσης και από διαταραχή στον έλεγχο της στάσης του σώματος. Σε αυτή την εργασία ανέφεραν ως αίτιο για τη παρατηρούμενη έλλειψη ισορροπιστικής ικανότητας ο τραυματισμός των αρθρικών μηχανοποδοχέων του έξω πλαγίου συνδέσμου, που οδηγούσε σε ιδιοδεκτικά ελλείμματα (Freeman et al., 1965).

Έκτοτε αρκετοί ερευνητές έχουν συνταχθεί με την θεωρία του Freeman και των συνεργατών του και επιβεβαιώνουν την ύπαρξη *διαταραγμένης κιναισθησίας αλλά και ιδιοδεκτικότητας* στην ποδοκνημική, ύστερα από επαναλαμβανόμενους συνδεσμικούς τραυματισμούς. Τονίζεται η ανάγκη εστίασης της προσοχής για μια σωστή αποκατάσταση στην βελτίωση αυτών των ιδιοδεκτικών ελλειμμάτων (Forkin, Koczur, Battle, & Newton, 1996; Lentell et al., 1995).

Εν τούτοις, αν και σημαντική, η ύπαρξη της διαταραγμένης ιδιοδεκτικότητας δεν αρκεί από μόνη της να εξηγήσει πλήρως το λόγο που τα συχνά διαστρέμματα της ποδοκνημικής οδηγούν τους αθλητές να εμφανίζουν λειτουργική αστάθεια. Για μια καλύτερη εικόνα κρίθηκε σκόπιμο να προστεθεί και ο παράγοντας του *διαταραγμένου νευρομυϊκού ελέγχου*, ο οποίος ευθύνεται για την ανεπαρκή λειτουργία του δυναμικού μηχανισμού αντίστασης των μυών ενάντια στην υπερέκταση του άκρου ποδός (Hertel, 2002; Lephart, Pincivero, & Rozzi, 1998).

Σε αντίθεση, άλλες ερευνητικές εργασίες μελέτησαν *την μειωμένη αντανακλαστική μυϊκή δραστηριότητα των περνιαίων μυών* σε γρήγορες κινήσεις υπτιασμού ή ανάσπασης έσω χείλους, ύστερα από κάθε συνδεσμικό τραυματισμό (Konradsen & Ravn, 1990; Lofvenberg, Karrholm, Sundelin, & Ahlgren, 1995; Lynch, Eklund, Gottlieb, Renstrom, & Beynnon, 1996; Van Deun et al., 2007). Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί *μείωση της μυϊκής δύναμης των συγκεκριμένων μυϊκών ομάδων* (Hartsell & Spaulding, 1999; Tropp, 1986) αν και ορισμένοι

ερευνητές την αμφισβητούν, καθώς δεν βρήκαν μυϊκά ελλείμματα (Lentell et al., 1995; Lentell, Katzman, & Walters, 1990; Olmsted et al., 2002).

Ιδιαίτερος σημαντικός εμφανίζεται και ο ρόλος της διαταραγμένης ικανότητας ελέγχου της στάσης του σώματος, τόσο σαν αίτιο, όσο και σαν αποτέλεσμα της Χρόνιας Αστάθειας της Ποδοκνημικής.

### Σχέση Χρόνιας Αστάθειας Ποδοκνημικής και ικανότητας ελέγχου θέσης του σώματος

Με τον όρο «έλεγχος στάσης του σώματος» περιλαμβάνονται όλες εκείνες οι κινήσεις και οι ενέργειες που απαιτούνται από το μυοσκελετικό αλλά και από το νευρικό σύστημα, προκειμένου να επιτευχθεί η σταθεροποίηση του κέντρου μάζας του σώματος είτε πάνω σε μια σταθερή βάση στήριξης (στατικός έλεγχος), είτε σε μια αντίστοιχη ασταθή (δυναμικός έλεγχος) (Gribble et al., 2004).

Ο τρόπος με τον οποίο ο έλεγχος της στάσης του σώματος επηρεάζεται από την Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής έχει αποτελέσει αντικείμενο διερεύνησης πολλών ερευνητικών εργασιών.

Πρωτοπόρος ο Freeman και οι συνεργάτες του χρησιμοποιώντας την υποκειμενική δοκιμασία ισορροπίας του Romberg παρατήρησαν μείωση της στατικής ισορροπιστικής ικανότητας σε άτομα με Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής (Freeman et al., 1965).

Στην συνέχεια και άλλοι ερευνητές με τη χρήση δυναμοδαπέδων και ηλεκτρομυογράφων επιβεβαίωσαν με ένα αντικειμενικότερο τρόπο τα παρατηρηθέντα -από τον Freeman και τους συνεργάτες του -ιδιοδεκτικά ελλείμματα, τόσο στην στατική όσο και στη δυναμική ισορροπία (Hertel, Buckley, & Denegar, 2001; Isakov & Mizrahi, 1997; Lentell et al., 1990; Tropp, Askling, & Gillquist, 1985). Μια επιπρόσθετη παρατήρηση ήταν ότι τα άτομα με συχνά διαστρέμματα

ποδοκνημικής βασίζονται πολύ περισσότερο στην στρατηγική του ισχίου προκειμένου να επιτύχουν τον έλεγχο της στάσης του σώματος, συγκριτικά με τα υγιή (Perrin, Bene, Perrin, & Durupt, 1997; Tropp & Odenrick, 1988).

Η επινόηση και εφαρμογή συγκεκριμένων πρωτοκόλλων αξιολόγησης της δυναμικής κυρίως ισορροπιστικής ικανότητας επέτρεψε την αντικειμενικότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφόρων ερευνών και την εξαγωγή πιο αξιόπιστων συμπερασμάτων. Αναλυτικότερα, ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο του Star Excursion Balance Test (δοκιμασία κατά την οποία ο εξεταζόμενος-σε μονοποδική στήριξη με το πάσχον πόδι- προσπαθεί να αγγίξει όσο το δυνατόν πιο μακριά με το υγιές του πόδι σε 8 διαφορετικές κατευθύνσεις) παρατήρησαν ελλείμματα στην δυναμική ισορροπία των ατόμων με Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής (Hertel, Braham, Hale, & Olmsted-Kramer, 2006; Kinjey & Armstrong, 1998; McKeon et al., 2008; Olmsted et al., 2002).

Μείωση των δεικτών που ορίζουν την δυναμική ισορροπία παρουσιάστηκαν και στα αντίστοιχα πρωτόκολλα του TTB (Time to Boundary): μέτρηση μετατόπισης κέντρου πίεσης του σώματος σε δυναμοδάπεδο (Hertel & Olmsted-Kramer, 2007; McKeon & Hertel, 2008b), του BESS (Balance Error Scoring System): ισορροπία σε σταθερή – ασταθή βάση στήριξης με το ένα πόδι, με τα δύο πόδια και εναλλάξ (Doherty et al., 2006) και του Biodex Stability System (πλατφόρμα ισορροπίας με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης της) (Testerman & Vander Griend, 1999).

Τέλος, το πρωτόκολλο του TTS (Time To Stabilization) - το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη έρευνα - εμφανίζεται να παρουσιάζει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα στην αξιολόγηση της δυναμικής ισορροπίας, τόσο σε υγιή δείγματα όσο και σε δείγματα με παθολογία στα κάτω άκρα.



Ειδικότερα, σε Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής, η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποκάλυψε ότι ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου τα συγκεκριμένα άτομα να επιτύχουν ισορροπία υπό δυναμικές συνθήκες είναι σημαντικά μεγαλύτερος συγκριτικά με τους υγιείς πληθυσμούς (Brown & Mynark, 2007; Ross & Guskiewicz, 2004; Ross, Guskiewicz, Gross, & Yu, 2009; Ross, Guskiewicz, & Yu, 2001; Ross, Guskiewicz, & Yu, 2005; Wikstrom, Tillman, & Borsa, 2005).

## ΚΟΠΩΣΗ – ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ - ΧΡΟΝΙΑ ΑΣΤΑΘΕΙΑ ΠΟΔΟΚΝΗΜΙΚΗΣ

Η μυϊκή κόπωση έχει ορισθεί ως ένα πολύπλοκο φαινόμενο, που χαρακτηρίζεται από τη μείωση της ικανότητας παραγωγής μυϊκής ενέργειας (Corbeil, Blouin, Begin, Nougier, & Teasdale, 2003; Gribble & Hertel, 2004). Η πρόκληση μυϊκής κόπωσης σε μια ανατομική περιοχή είναι το αποτέλεσμα μεταβολών αλλά και νευρολογικών παραγόντων, οι οποίοι ελέγχονταν τόσο από το Περιφερικό όσο και από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (Gribble & J Hertel, 2004).

Σε περιφερικό επίπεδο, στη δημιουργία της κόπωσης εμπλέκονταν προσυναπτικοί και μετασυναπτικοί μηχανισμοί, όπως μια αποτυχία στην μεταφορά της νευρικής ώσης σε κεντρικότερες δομές του Νευρικού Συστήματος, καθώς και μια αδυναμία του μύος να απαντήσει στον νευρικό ερεθισμό.

Σε κεντρικό επίπεδο, η κόπωση ενδεχομένως οδηγεί σε έναν αποτυχημένο ερεθισμό των κινητικών νευρώνων του μύος. Το φαινόμενο οφείλεται στις σημαντικές αλλαγές που παρατηρούνται στο Νευρικό Σύστημα και επηρεάζουν τόσο

την ανιούσα αισθητική ανατροφοδότηση αλλά και την αντίστοιχη κατιούσα ανατροφοδότηση από ανατομικά τμήματα που εντοπίζονταν μέσα αλλά και πάνω από το επίπεδο της Σπονδυλικής Στήλης. Η παλίνδρομη αναστολή των νευρικών ώσεων προς το κυτταρικό παρέγχυμα του κινητικού νευρώνα από το κύτταρο Renshaw σε συνδυασμό με τη μειωμένη προώθηση των καθοδικών ώσεων προς τον κινητικό νευρώνα πιθανολογείται ότι ερμηνεύουν την μείωση της παρατηρούμενης μυϊκής ενέργειας, υπό συνθήκες κόπωσης (Corbeil et al., 2003; Taylor, Butler, & Gandevia, 2000).

Επιπρόσθετα, σε καταστάσεις παρατεταμένης μυϊκής δραστηριότητας έχει παρατηρηθεί μια μείωση της συχνότητας εκφόρτισης της μυϊκής ίνας, με αποτέλεσμα τη ελαττωμένη προσαγωγό ανατροφοδότηση και τη συνεπακόλουθη διαταραχή της αρθρικής κιναισθησίας (Macefield, Hagbarth, Gorman, Gandevia, & Burke, 1991; Nardone, Tarantola, Giordano, & Schieppati, 1997).

Η επίδραση της μυϊκής κόπωσης στην στατική ισορροπία και στην κιναισθησία διαφόρων αρθρώσεων έχει διεξοδικά μελετηθεί από πληθώρα ερευνητών. Κοινή διαπίστωση όλων αυτών των ερευνών είναι η επιβεβαίωση της αρνητικής σχέσης της κόπωσης και των παραμέτρων που οριοθετούσαν την στατική ισορροπία (Carpenter, Blasier, & Pellizzon, 1998; Ochsendorf, Mattacola, & Arnold, 2000; Voight, Hardin, Blackburn, Tippet, & Canner, 1996).

Η μυϊκή κόπωση των κάτω άκρων οδηγεί σε μείωση της ικανότητας για στατικό έλεγχο του σώματος. Πιο συγκεκριμένα, αυξάνει τον αντανεκλαστικό χρόνο αντίδρασης των σχετικών μυών και μειώνει την κιναισθησία όλων των αρθρώσεων των κάτω άκρων (Adlerton & Moritz, 1996; Forestier, Teasdale, & Nougier, 2002; Jackson, Gutierrez, & Kaminski, 2009; Lepers, Bigard, Diard, Gouteyron, &

Guezennec, 1997; Shaw, Gribble, & Frye, 2008) με την μεγαλύτερη επιβάρυνση να τη δέχονται τα ισχία και τα γόνατα (Corbeil et al., 2003; Gribble & Hertel, 2004).

Ειδικότερα, ο Corbeil και οι συνεργάτες του -αφού προκάλεσαν κόπωση στην ποδοκνημική άρθρωση με επαναλαμβανόμενες ραχιαίες και πελματιαίες κάμψεις- ζήτησαν από το υγιές του δείγμα να διατηρήσει την όρθια διποδική στάση για 60΄΄. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε τόσο με τα μάτια ανοικτά όσο και κλειστά. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι μετά την κόπωση παρατηρήθηκε μια αύξηση στις κινητικές ενέργειες που απαιτούνταν για τη διατήρηση της όρθιας στάσης. Με τον τρόπο αυτό επιβαρύνονταν ακόμα περισσότερο το σύστημα ελέγχου της στάσης του σώματος (Corbeil et al., 2003).

Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και η αντίστοιχη έρευνα του Lundin και των συνεργατών του και οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση των ταλαντώσεων στην στατική μονοποδική στήριξη, ύστερα από πρόκληση κόπωσης των πελματιαίων-ραχιαίων καμπτήρων μυών της ποδοκνημικής στο ισοκινητικό δυναμόμετρο (Lundin, Feuerbach, & Grabiner, 1993).

Οι Yaggie & McGregor (2002) προχωρώντας λίγο περισσότερο την έρευνα οδήγησαν σε κόπωση όχι μόνο τους πελματιαίους και ραχιαίους καμπτήρες μύες της ποδοκνημικής αλλά και τους ανασπαστές έσω και έξω χείλους της συγκεκριμένης άρθρωσης. Κατόπιν, ζήτησαν από τους 24 υγιείς άνδρες που συνιστούσαν το ερευνητικό τους δείγμα να ισοροπήσουν σε μονοποδική στήριξη πάνω σε δυναμοδάπεδο για τα πρώτα 0΄΄,10΄΄,20΄΄, 30΄΄ μετά την κόπωση. Τα τελικά αποτελέσματα φανέρωσαν μια αύξηση στο μέγεθος των ταλαντώσεων σε προσθιοπίσθιο και μετωπιαίο επίπεδο μετά την κόπωση. Αξιοσημείωτη ήταν και η παρατήρηση ότι η συγκεκριμένη αυτή αύξηση επανέρχονταν στα προ κόπωσης επίπεδα μέσα στα επόμενα 20΄ (Yaggie & McGregor, 2002).

Σε αντίθεση με την εκτεταμένη διερεύνηση της σχέσης της κόπωσης με το στατικό σκέλος του ελέγχου του σώματος, το αντίστοιχο δυναμικό σκέλος δεν έχει λάβει την ίδια δέουσα προσοχή.

Από τις λίγες υπάρχουσες έρευνες που εντοπίστηκαν στην σχετική βιβλιογραφία προκύπτει το συμπέρασμα ότι η κόπωση, ύστερα από μια δυναμική προσπάθεια, αυξάνει σημαντικά τον χρόνο σταθεροποίησης του κέντρου πίεσης του σώματος, ειδικότερα στο προσθιοπίσθιο επίπεδο (Jackson et al., 2009; Shaw et al., 2008; Wikstrom et al., 2004).

Μεγαλύτερο -δε- εμφανίστηκε το ερευνητικό κενό όταν πρόκειται να συνδυασθούν οι μεταβλητές της κόπωσης και της δυναμικής ισορροπίας με την ύπαρξη κάποιας παθολογίας στα κάτω άκρα, όπως είναι η Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής.

Οι δύο σχετικές έρευνες της κοινής ομάδας επιστημόνων των Gribble & Hertel χρησιμοποίησαν για τον έλεγχο της δυναμικής ισορροπίας των πάσχοντων ποδοκνημικών τη δοκιμασία του SEBT (Gribble, Hertel, & Denegar, 2007; Gribble et al., 2004). Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία της δοκιμασίας κρίνεται υπό αμφισβήτηση καθώς κάποιοι ερευνητές τη δέχονται ενώ κάποιοι άλλοι την απορρίπτουν.

# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

## ΔΕΙΓΜΑ

Για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας συμμετείχαν 24 εθελοντές χωρισμένοι σε δύο ομάδες (πειραματική και ελέγχου) των 12 ατόμων η κάθε μία. Οι εθελοντές ήταν φοιτητές του Τμήματος Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού Τρικάλων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Όλοι τους υπέγραψαν το έντυπο συναίνεσης στην έρευνα που είχε εγκριθεί από την Επιτροπή Βιοηθικής και Δεοντολογίας του Πανεπιστημιακού Ιδρύματος.

Η πειραματική ομάδα (Ηλικία:  $22.75 \pm 2.73$  έτη , Ύψος:  $1.82 \pm 0.12$  εκ , Βάρος:  $76.75 \pm 16.55$  κιλά) συμμετείχε σχεδόν σε καθημερινή βάση σε διάφορες αθλητικές δραστηριότητες (π.χ. ποδόσφαιρο, καλαθοσφαίριση, άλμα τριπλούν, χορός). Τα κριτήρια εισαγωγής ήταν:

1. να έχουν εμφανίσει ένα (1) τουλάχιστον σοβαρό διάστρεμμα στην ποδοκνημική άρθρωση, το οποίο θα είχε ως αποτέλεσμα τη διακοπή των αθλητικών και καθημερινών τους δραστηριοτήτων για τουλάχιστον μία εβδομάδα
2. να παρουσιάζουν επαναλαμβανόμενα διαστρέμματα στην ποδοκνημική άρθρωση- του ίδιου ή και μικρότερου βαθμού σοβαρότητας σε σχέση με το προηγούμενο κριτήριο
3. να δηλώνουν την παρουσία ενός αισθήματος χαλάρωσης στην ποδοκνημική ύστερα από κάθε τραυματισμό. Ειδικότερα, να αισθάνονται ότι το πόδι τους «φεύγει» σε απλές κινήσεις.

4. να μην υπάρχουν άλλα ορθοπεδικά ή νευρολογικά προβλήματα στα κάτω άκρα (χειρουργεία, κατάγματα, διαστρέμματα) τους τελευταίους τέσσερις μήνες.

5. να μην συμμετέχουν σε κάποιο πρόγραμμα εκπαίδευσης της ισορροπίας τους τη στιγμή της διεξαγωγής της έρευνας.

Η ομάδα ελέγχου (Ηλικία:  $23.5 \pm 2.67$  έτη, Ύψος:  $175.41 \pm 8.12$  εκατ, Βάρος:  $72.33 \pm 12.75$  κιλά) είχε τα παρακάτω κριτήρια εισαγωγής:

1. απουσία οποιοδήποτε τραυματισμού, κάκωσης ορθοπεδικής ή νευρολογικής στα κάτω άκρα.

2. συμμετοχή σε κάποια μορφή αθλητικής δραστηριότητας για τουλάχιστον 30', τρεις φορές την εβδομάδα.

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Όλα τα υποκείμενα του δείγματος χρειάστηκε να προσέλθουν για μέτρηση στις εγκαταστάσεις του ΤΕΦΑΑ Τρικάλων μόνο μια φορά. Ξεκίνησαν με προθέρμανση διάρκειας 5' σε στατικό ποδήλατο για σωστή προετοιμασία των μυών των κάτω άκρων. Κατόπιν, εφαρμόστηκε ένα πεντάλεπτο (5') διατατικό πρόγραμμα των ίδιων μυϊκών ομάδων, με έμφαση στον γαστροκνήμιο και στον πρόσθιο κνημιαίο μυ. Στην συνέχεια, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν τρία (3) άλματα από βάθρο ύψους 30 εκατοστών και προσγειώνονταν σε μονοποδική στήριξη σε δυναμοδάπεδο τύπου Bertec, αρχικά με το υγιές πόδι και κατόπιν και με το πάσχον.

Η ομάδα ελέγχου εκτελούσε το ίδιο πρωτόκολλο μέτρησης μόνο για το πόδι προτίμησης.

Ως πόδι προτίμησης ορίστηκε αυτό με το οποίο

- ◆ οι εξεταζόμενοι κλώτσησαν μια μπάλα που τους ερχόταν ξαφνικά
- ◆ έβγαλαν μπροστά προκειμένου να ισοροπήσουν όταν κάποιος τους έσπρωχνε ξαφνικά από πίσω.

Τους ζητήθηκε να βρουν και να διατηρήσουν την ισορροπία τους για 20΄΄, έχοντας τα χέρια τους κατά μήκος του κορμού, το ελεύθερο πόδι σε 90° κάμψη στο γόνατο και παράλληλα με το πόδι στήριξης ενώ το κεφάλι κοιτάζε μπροστά.

Η προσπάθεια κατά την οποία χανόταν η μονοποδική στήριξη και το αιωρούμενο πόδι πατούσε στο έδαφος θεωρείτο άκυρη.

Ανάμεσα στις προσπάθειες υπήρχε διάλειμμα 20΄΄, ενώ δόθηκε στους δοκιμαζόμενους η δυνατότητα δοκιμαστικών προσπαθειών πριν την εφαρμογή του πρωτοκόλλου μέτρησης, προκειμένου να εξοικειωθούν με την πειραματική διαδικασία.

Ακολούθως, υποβλήθησαν σε κόπωση οι ραχιαίοι και οι πελματιαίοι καμπήρες μύες της ποδοκνημικής άρθρωσης στο ισοκινητικό μηχάνημα Cybex Norm. Η εγκυρότητα αλλά και η αξιοπιστία του συγκεκριμένου μηχανήματος είναι ευρέως αποδεδειγμένη και αποδεκτή (Impellizzeri et al, 2008; Wilcock et al, 2008).

Χρησιμοποιήθηκαν ιμάντες προκειμένου να σταθεροποιηθεί σωστά η λεκάνη αλλά και ο άκρος πόδας, ώστε η αντίσταση από το ισοκινητικό μηχάνημα να εστιαστεί στις προεπιλεγμένες μυϊκές ομάδες του γαστροκνημίου μύος και των πρόσθιων μυών της κνήμης. Για το πρωτόκολλο κόπωσης επιλέχθηκε η τοποθέτηση των δοκιμαζομένων στην πρηνή θέση και η ισοκινητική ομόκεντρη- ομόκεντρη συστολή των μυϊκών ομάδων στις 60° /sec. Το κινητικό πατέντο των ομόκεντρων συστολών στις 60° / sec είναι καθιερωμένο βιβλιογραφικά από προηγούμενες έρευνες για την

πρόκληση κόπωσης στην ποδοκνημική άρθρωση (Gribble et al, 2004; Ochsendorf et al., 2000; Yaggie & McGregor, 2002).

Αρχικά, εκτέλεσαν 5 δοκιμαστικές προσπάθειες για εξοικείωση τόσο με το είδος της εκτελούμενης κίνησης όσο και με το ίδιο το ισοκινητικό μηχάνημα.

Κατόπιν, ο εξεταζόμενος εκτελούσε τρεις μέγιστες προσπάθειες προκειμένου να υπολογιστεί η μέγιστη ροπή του. Ως «μέγιστη» υπολογίζονταν η μεγαλύτερη τιμή από τις τρεις προσπάθειες.

Τέλος, ακολουθούσε η διαδικασία της κόπωσης με επαναλαμβανόμενες ραχιαίες-πελματιαίες κάμψεις, μέχρι η ροπή και για τις δύο κινήσεις να πέσει κάτω από το 50% της μέγιστης για τρεις συνεχόμενες προσπάθειες.

Μετά την κόπωση και χωρίς διάλειμμα, οι δοκιμαζόμενοι εκτελούσαν άλλα τρία άλματα υπό συνθήκες κόπωσης πλέον.



## ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS (έκδοση 15.0) για στατιστικές αναλύσεις. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο .05 προκειμένου να υποδεικνύει στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι εξαρτημένες μεταβλητές ήταν οι χρόνοι σταθεροποίησης στο μετωπιαίο επίπεδο (X) και στο προσθιοπίσθιο επίπεδο (Y), τόσο πριν όσο και μετά την κόπωση. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν η κόπωση (προ και μετά) και η ομάδα (ελέγχου και πειραματική). Υπολογίσθηκαν οι μέσοι όροι των χρόνων για σταθεροποίηση (TTS) από τις τρεις προσπάθειες πριν και μετά την κόπωση, για κάθε επίπεδο (προσθιοπίσθιο, μετωπιαίο) και για κάθε υποκείμενο. Ακολούθησε ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated Measures ANOVA) με ένα within παράγοντα (κόπωση) και ένα between παράγοντα (ομάδα).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Repeated Measures ANOVA) προκειμένου να εξετασθεί εάν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον χρόνο σταθεροποίησης στο προσθιοπίσθιο (Y) και στο μετωπιαίο επίπεδο (X), πριν και μετά την εφαρμογή κόπωσης, ανάμεσα στην πειραματική ομάδα και στην ομάδα ελέγχου. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι χρόνοι σταθεροποίησης στο μετωπιαίο επίπεδο πριν και μετά την κόπωση αλλά και οι αντίστοιχοι χρόνοι σταθεροποίησης στο προσθιοπίσθιο επίπεδο ανάμεσα στην πειραματική ομάδα αλλά και στην ομάδα ελέγχου δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους κάτωθι πίνακες.

Πίνακας 1 Παρουσίαση Μ.Ο. και τυπικών αποκλίσεων στους χρόνους για σταθεροποίηση στο μετωπιαίο επίπεδο (TTSX) και στο προσθιοπίσθιο επίπεδο (TTSY), πριν και μετά την κόπωση

<b>ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ</b>	<b>ΚΟΠΩΣΗ</b>	<b>ΟΜΑΔΑ</b>	<b>M</b>	<b>SD</b>
<b>TTSX</b>	Πριν	Ελέγχου	1.12	0.56
		πειραματική	1.20	0.61
	Μετά	Ελέγχου	1.33	0.42
		πειραματική	1.34	0.59
<b>TTSY</b>	Πριν	Ελέγχου	0.87	0.16
		πειραματική	0.88	0.26
	Μετά	Ελέγχου	0.93	0.17
		πειραματική	0.86	0.08

Πίνακας 2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ANOVA επαναλαμβανόμενων μετρήσεων

	<b>SIG</b>	
	<b>TTSX</b>	<b>TTSY</b>
<b>ΚΟΠΩΣΗ</b>	0.198	0.682
<b>ΚΟΠΩΣΗ *ΟΜΑΔΑ</b>	0.814	0.378

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν να εξακριβωθεί η επίδραση της κόπωσης στη δυναμική ισορροπία σε άτομα με Χρόνια Αστάθεια Ποδοκνημικής. Η αρχική υπόθεση ήταν ότι η ισοκινητική κόπωση των μυϊκών ομάδων της ποδοκνημικής άρθρωσης θα επηρέαζε αρνητικά το χρόνο σταθεροποίησης, τόσο στο προσθιοπίσθιο, όσο και στο μετωπιαίο επίπεδο. Ειδικότερα, στο πάσχον πόδι της πειραματικής ομάδας αναμένονταν ένας μεγαλύτερος χρόνος σταθεροποίησης και στα δύο επίπεδα, τόσο σε σύγκριση με το υγιές τους πόδι, όσο και με την ομάδα ελέγχου. Παρ' όλα αυτά, η ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν φανέρωσε καμιά στατιστικά σημαντική διαφορά ούτε ανάμεσα στις δύο ομάδες, ούτε και στην αμφοτερόπλευρη σύγκριση των ποδιών της πειραματικής ομάδας..

Ο χρόνος για σταθεροποίηση (TTS) αποτελεί μια μέθοδο η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την διερεύνηση και την πιθανή ανακάλυψη δυναμικών ισορροπιστικών ελλειμμάτων και σε υγιείς και σε τραυματισμένους πληθυσμούς. Ειδικότερα, τα άτομα με Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής εμφάνισαν μεγαλύτερο χρόνο σταθεροποίησης στο προσθιοπίσθιο επίπεδο (A/P TTS) σε σύγκριση με τα υγιή υποκείμενα υπό συνθήκες κόπωσης. Η ισορροπιστική δοκιμασία αποτελούνταν από ένα άλμα στο 50% του μέγιστου ύψους άλματος και προσγείωση σε μονοποδική στήριξη σε δυναμοδάπεδο από απόσταση 70 εκ για 20'' (Ross & Guskiewicz, 2004; Ross et al., 2001). Σε παρόμοια αποτελέσματα και χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο κατέληξαν και οι αντίστοιχες έρευνες των Brown και Mynark (2007) και του Wikstrom, Tilman και Borsa (2005). Το συγκεκριμένο είδος άλματος απαιτούσε μεγαλύτερες μετατοπίσεις του σώματος προς τα εμπρός και πάνω σε σύγκριση με το άλμα σε βάθος από ύψος 30 εκατοστών που χρησιμοποιήθηκε στη δική μας έρευνα Έτσι λοιπόν οι επιβαρύνσεις που προκάλεσε στο ισορροπιστικό σύστημα του

οργανισμού ήταν σε ικανοποιητικότερο βαθμό και η διαφορά αυτή στην λειτουργική επιβάρυνση εικάζεται ότι οδήγησε και στην έλλειψη στατιστικά σημαντικών αποτελεσμάτων από τη δική μας έρευνα.

Εν τούτοις, σε μία παρόμοια έρευνα των Wikstrom, Powers και Tillman (2004) στην οποία εξετάστηκε η δυναμική ισορροπία 20 υγιών ατόμων ύστερα από ισοκινητική κόπωση των πελματιαίων και των ραχιαίων καμπτήρων μυών της ποδοκνημικής τους, δεν υπήρξε καμιά σημαντική διαφορά στους αντίστοιχους χρόνους σταθεροποίησης. Το αποτέλεσμα αυτής της έρευνας επιβεβαιώνει μερικώς τα αποτελέσματα της δικής μας έρευνας.

Η ικανότητα για δυναμική ισορροπία εξαρτάται κύρια από τον όγκο και την ποιότητα της σωματοαισθητικής και ιδιοδεκτικής ανατροφοδότησης από τους ανάλογους υποδοχείς σε περιφερικό και κεντρικό επίπεδο. Η όποια διαταραχή ή και διακοπή σε αυτή την ανατροφοδοτική ουσία θα δημιουργήσει σοβαρά ισορροπιστικά προβλήματα, ιδιαίτερα στο δυναμικό σκέλος αυτής. Η ύπαρξη ιδιοδεκτικών ελλειμμάτων σε άτομα με Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής έχει επιβεβαιωθεί από τη διεθνή βιβλιογραφία (Freeman et al., 1965; Kaminski & Hartsell, 2002). Εν τούτοις κάποιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η μειωμένη αυτή ιδιοδεκτικότητα δεν είναι σε τέτοιο βαθμό που να μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργική ικανότητα των συγκεκριμένων αυτών ατόμων, ιδιαίτερα σε δραστηριότητες με μέτριο βαθμό δυσκολίας στην εκτέλεσή τους (Demeritt, Shultz, Docherty, Gansneder, & Perrin, 2002). Με βάση την παρατήρηση αυτή μπορεί να αιτιολογηθεί και η απουσία αποτελεσμάτων από την παρούσα έρευνα, καθώς το άλμα σε βάθος από ύψος 30 εκατοστών, πιθανόν, να μην ήταν μια τόσο απαιτητική δοκιμασία για τη λειτουργική και κατά συνέπεια και για την ισορροπιστική ικανότητα του συγκεκριμένου δείγματος.

Αποδεδειγμένα η κόπωση μιας ανατομικής περιοχής μπορεί να οδηγήσει σε πτώση του νευρομυϊκού ελέγχου, αύξηση του αντανακλαστικού χρόνου αντίδρασης των μυών και μείωση της ισορροπιστικής ικανότητας (Adlerton & Moritz, 1996; Forestier et al., 2002). Παρ' όλα αυτά, οι Wilson και Madigan (2007), αφού υπέβαλλαν σε ισοκινητική κόπωση τους περωναίους μύες της ποδοκνημικής σε υγιές δείγμα, δεν παρατήρησαν καμιά διαφορά στους αντίστοιχους αντανακλαστικούς χρόνους (Wilson & Madigan, 2007).

Σε αυτήν την ερευνητική εργασία επελέχθη ο ισοκινητικός τρόπος πρόκλησης κόπωσης στην ποδοκνημική άρθρωση, για μια αντικειμενικότερη αξιολόγηση του πειραματικού δείγματος. Η χρήση του ισοκινητικού δυναμομέτρου επιτρέπει τον χειρισμό αλλά και τον έλεγχο των περισσότερων μεταβλητών του πρωτοκόλλου κόπωσης (θέση σώματος, όγκος επιβάρυνσης, διάρκεια, απομόνωση μυϊκών ομάδων). Έτσι, εξασφαλίζεται μια ομοιογενή βάση για την πρόκληση κόπωσης σε όλους τους δοκιμαζομένους.

Η ισοκινητική κόπωση ορίσθηκε ως η ανικανότητα του δοκιμαζομένου να διατηρήσει – τουλάχιστον - το 50% της μέγιστης δύναμης για ραχιαία-πελματιαία κάμψη για τρεις συνεχόμενες προσπάθειες. Το κατώφλι αυτό του 50% της μέγιστης δύναμης επελέχθη ως δείκτης κόπωσης, καθώς μια πληθώρα ερευνών που το έχουν χρησιμοποιήσει έχουν καταφέρει να τεκμηριώσουν την αρνητική επίδραση της κόπωσης στην ισορροπία. Αξίζει να αναφερθεί –όμως- και μια έρευνα στην οποία προτείνεται η χρήση του 30% της μέγιστης δύναμης και όχι του προαναφερθέντος 50%, για την εξαγωγή πληρέστερων αποτελεσμάτων για τον τρόπο επίδρασης της κόπωσης στην ισορροπιστική ικανότητα.(Harkins, Mattacola, Uhl, Malone, & McCrory, 2005).

Επιπρόσθετα, οι Yaggie και McGregor (2002) συμπέραναν ότι η δύναμη των πελματιαίων και ραχιαίων καμπτήρων μυών επανέρχονταν στα προ κόπωσης επίπεδα μέσα στα επόμενα 20' από τη λήξη της διαδικασίας κόπωσης (Yaggie & McGregor, 2002). Παράλληλα, σε μια άλλη έρευνα ο χρόνος αυτός ανάκαμψης της δύναμης των μυϊκών ομάδων των ραχιαίων-πελματιαίων καμπτήρων της ποδοκνημικής ήταν ακόμα συντομότερος και άγγιζε μόλις το 1.5 λεπτό μετά την κόπωση (Milner-Brown, Mellenthin, & Miller, 1986). Στην παρούσα έρευνα, και όσον αφορά την ομάδα ελέγχου και το υγιές πόδι της πειραματικής ομάδας, η ανωτέρω επισήμανση δεν μπορεί να επηρέασε τα αποτελέσματα, καθώς τα υποκείμενα ολοκλήρωναν τις αλματικές προσπάθειες -το μέγιστο- μέσα σε 10' από τη λήξη της κόπωσης.

Για το πάσχον πόδι, όμως, υπήρξε η ιδιαιτερότητα των πολλών άκυρων προσπαθειών, οι οποίες και είχαν καταγραφεί. Έτσι, αρκετοί δοκιμαζόμενοι χρειάστηκε να επαναλάβουν 1 ή και 2 φορές το άλμα, καθώς είτε έχαναν την ισορροπία τους, είτε αδυνατούσαν να εκτελέσουν ένα έγκυρο άλμα σε βάθος. Έτσι, υπήρξε μια μεγάλη χρονοκαθυστέρηση στην ολοκλήρωση των έγκυρων αλματικών προσπαθειών μετά την κόπωση σε αυτήν την ομάδα. Υποθέτουμε, λοιπόν, ότι οι παράγοντες της μυϊκής ανάκαμψης αλλά και της καλύτερης εξοικείωσης με τη δοκιμασία (εκτέλεση περισσότερων αλμάτων) μπορεί να συνετέλεσαν στην απουσία στατιστικά σημαντικών αποτελεσμάτων για το πάσχον πόδι της πειραματικής ομάδας.

Επιπρόσθετα, σε ένα άλμα προς τα κάτω, το μυοσκελετικό σύστημα πρέπει να επιβραδύνει και να ισορροπήσει το κέντρο μάζας του σώματος, καθώς αυτό κινείται προς τα κάτω. Μια επιτυχημένη προσγείωση εξαρτάται από την ικανότητα των εκτεινόντων μυών των κάτω άκρων να εφαρμόσουν την απαιτούμενη ροπή δύναμης, ώστε να μειώσουν την προς τα κάτω ταχύτητα του σώματος (Devita & Skelly, 1992).

Ουσιαστικά, η έκκεντρη σύσπαση των εκτεινόντων μυϊκών ομάδων του ισχίου και του γόνατος είναι αυτή που θα απορροφήσει την κινητική ενέργεια σε μια προσγείωση. Βάση αυτής της επισήμανσης, και καθώς οι μυϊκές ομάδες του γόνατος και του ισχίου- στην παρούσα έρευνα -ήταν ξεκούραστες, εικάζεται ότι κατάφεραν να παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος της σταθεροποίησης στην προσγείωση και δεν επέτρεψαν την διαφοροποίηση μεταξύ των ομάδων.

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι τα άτομα με Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής στηρίζονται περισσότερο στην στρατηγική του ισχίου για να ισορροπήσουν. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται και η απαιτούμενη συμμετοχή των μυϊκών ομάδων της ποδοκνημικής στην ισοροπιστική διαδικασία μετά από άλμα (Pintsaar, Brynhildsen, & Tropp, 1996; Tropp & Odenrick, 1988). Επομένως, μια πιθανή κόπωση εντοπισμένη μόνο στις μυϊκές ομάδες της ποδοκνημικής άρθρωσης, μπορεί να μην ήταν ικανή να εμφανίσει αποτελέσματα για την ικανότητα ελέγχου της θέσης του σώματος.

Τέλος, η πειραματική ομάδα αποτελούνταν από άτομα που η αθλητική τους ενασχόληση απαιτούσε την εκτέλεση πολλών αλμάτων σε καθημερινή βάση (τριπλούν, άλμα σε μήκος, μπάσκετ) και μάλιστα σε επαγγελματικό επίπεδο. Επομένως, οι μυϊκές ομάδες των κάτω άκρων και ειδικά του ισχίου και του γόνατος παρουσιάζονταν ιδιαίτερα αναπτυγμένες και επέτρεπαν, έτσι, μια ακόμα μεγαλύτερη απορρόφηση της κινητικής ενέργειας κατά την προσγείωση.

Εν τούτοις, στην παρούσα έρευνα υπήρχαν ορισμένοι περιορισμοί όπως ήταν το μικρό μέγεθος του πειραματικού δείγματος, κάτι που μειώνει τη δυνατότητα γενίκευσης των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων στον γενικότερο αθλητικό πληθυσμό.

Επιπρόσθετα, αν και είχε ορισθεί η κόπωση ως η πτώση της δύναμης κάτω από το 50% της μέγιστης για 3 συνεχόμενες προσπάθειες, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η

πιθανότητα της εκούσιας έλλειψης προσπάθειας από τους δοκιμαζομένους, αυτό δεν κατέστη απόλυτα εφικτό. Πιο συγκεκριμένα, δεν ελέχθησαν παράγοντες όπως είναι η χρήση καφεΐνης, φαρμάκων, η αϋπνία, η ψυχολογική κατάσταση που μπορούν να προκαλέσουν κόπωση είτε υπερδιέγερση στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα επηρεάζοντας -εν συνεχεία- και την παρατηρηθείσα περιφερική κόπωση.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και η διαταραχή της ιδιοδεκτικότητας και του κιναισθητικού ελέγχου των κάτω άκρων σε άτομα με Χρόνια Αστάθεια της Ποδοκνημικής έχει αποδειχθεί στο παρελθόν, η κόπωση των ραχιαίων και πελματιαίων καμπτήρων μυών της άρθρωσης αυτής δε φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά τη δυναμική ικανότητα για ισορροπία. Προκειμένω, όμως, να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα για τον τρόπο επίδρασης της κόπωσης στον δυναμικό έλεγχο του σώματος, προτείνεται μια διεξοδικότερη μελέτη, στο μέλλον, με ένα εντονότερο πρωτόκολλο κόπωσης, που να περιλαμβάνει τα ισχία και τα γόνατα, καθώς και μια απαιτητικότερη ισορροπιστική δοκιμασία.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adleron, A. K., & Moritz, U. (1996). Does calf-muscle fatigue affect standing balance? *Scand J Med Sci Sports*, 6(4), 211-215.
- Brown, C., & Mynark, R. (2007). Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability  
*Journal of athletic training*, 42(3), 367-373.
- Brown, C., Padua, D., Marshall, S. W., & Guskiewicz, K. (2008). Individuals with mechanical ankle instability exhibit different motion patterns than those with functional ankle instability and ankle sprain copers. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 23(6), 822-831.
- Brown, C. N., & Mynark, R. (2007). Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train*, 42(3), 367-373.
- Carpenter, J. E., Blasier, R. B., & Pellizzon, G. G. (1998). The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense. *Am J Sports Med*, 26(2), 262-265.
- Corbeil, P., Blouin, J., Begin, F., Nougier, V., & Teasdale, N. (2003). Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait Posture*, 18(2), 92-100.
- Demeritt, K. M., Shultz, S. J., Docherty, C. L., Gansneder, B. M., & Perrin, D. H. (2002). Chronic Ankle Instability Does Not Affect Lower Extremity Functional Performance. *J Athl Train*, 37(4), 507-511.
- Denegar, C. R., & Miller, S. (2002). Can chronic ankle instability be prevented? Rethinking management of lateral ankle sprains. *J of athletic training*, 37(4), 430-435.

- Devita, P., & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc*, 24(1), 108-115.
- Doherty, C., Valovich, T., & Shultz, S. J. (2006). Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by the balance error scoring system. *Clinic Journal Sports Medicine*, 16(3), 203-208.
- Fong, D. T., Hong, Y., Chan, L. K., Yung, P. S., & Chan, K. M. (2007). A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Med*, 37(1), 73-94.
- Forestier, N., Teasdale, N., & Nougier, V. (2002). Alteration of the position sense at the ankle induced by muscular fatigue in humans. *Med Sci Sports Exerc*, 34(1), 117-122.
- Forkin, D. M., Koczur, C., Battle, R., & Newton, R. A. (1996). Evaluation of kinesthetic deficits indicative of balance control in gymnasts with unilateral chronic ankle sprains. *J Orthop Sports Phys Ther*, 23(4), 245-250.
- Freeman, M., Dean, M., & Hanham, I. (1965). The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surgery*, 47, 678-685.
- Gribble, P. A., & Hertel, J. (2004). Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control. *J Electromyography Kinesiology*, 14(6), 641-646.
- Gribble, P. A., & Hertel, J. (2004). Effect of lower extremity muscle fatigue on postural control. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(4), 589-592.
- Gribble, P. A., Hertel, J., & Denegar, C. R. (2007). Chronic ankle instability and fatigue create proximal joint alterations during performance of the Star Excursion Balance Test. *Int J Sports Medicine*, 28(3), 236-242.
- Gribble, P. A., Hertel, J., Denegart, C. R., & Buckley, W. E. (2004). The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *Journal of athletic training*, 39(4), 321-329.

- Gross, P., & Marti, B. (1999). Risk of degenerative ankle joint disease in volleyball players: study of former elite athletes. *Int J Sports Med*, 20(1), 58-63.
- Hale, S. A., Hertel, J., & Olmsted-Kramer, L. C. (2007). The effect of a 4-week comprehensive rehabilitation program on postural control and lower extremity function in individuals with chronic ankle instability. *J Orthop Sports Phys Therapy*, 37(6), 303-311.
- Harkins, K. M., Mattacola, C. G., Uhl, T. L., Malone, T. R., & McCrory, J. L. (2005). Effects of 2 ankle fatigue models on the duration of postural stability dysfunction. *J Athl Train*, 40(3), 191-194.
- Hartsell, H. D., & Spaulding, S. J. (1999). Eccentric/concentric ratios at selected velocities for the invertor and evertor muscles of the chronically unstable ankle. *Br J Sports Med*, 33(4), 255-258.
- Hertel, J. (2002). Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train*, 37(4), 364-375.
- Hertel, J., Braham, R. A., Hale, S. A., & Olmsted-Kramer, L. C. (2006). Simplifying the star excursion balance test: analyses of subjects with and without chronic ankle instability. *J Ortop Sports Physical Therapy*, 36(3), 131-137.
- Hertel, J., Buckley, W. E., & Denegar, C. R. (2001). Serial Testing of Postural Control After Acute Lateral Ankle Sprain. *J Athl Train*, 36(4), 363-368.
- Hertel, J., & Olmsted-Kramer, L. C. (2007). Deficits in time-to-boundary measures of postural control with chronic ankle instability. *Gait Posture*, 25(1), 33-39.
- Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R., & Hertel, J. (2007a). Contributing factors to chronic ankle instability. *Foot Ankle International*, 28(3), 343-354.

- Hubbard, T. J., Kramer, L. C., Denegar, C. R., & Hertel, J. (2007b). Correlations among multiple measures of functional and mechanical instability in subjects with chronic ankle instability. *J Athl Train*, 42(3), 361-366.
- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Rampinini, E., Cereda, F., & Maffiuletti, N. A. (2008). Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28(2), 113-119.
- Isakov, E., & Mizrahi, J. (1997). Is balance impaired by recurrent sprained ankle? *Br J Sports Med*, 31(1), 65-67.
- Jackson, N. D., Gutierrez, G. M., & Kaminski, T. (2009). The effect of fatigue and habituation on the stretch reflex of the ankle musculature. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(1), 75-84.
- Kaminski, T. W., & Hartsell, H. D. (2002). Factors Contributing to Chronic Ankle Instability: A Strength Perspective. *J Athl Train*, 37(4), 394-405.
- Kavanagh, J. (1999). Is there a positional fault at the inferior tibiofibular joint in patients with acute or chronic ankle sprains compared to normals? *Man Ther*, 4(1), 19-24.
- Kinjev, S. J., & Armstrong, C. W. (1998). The reliability of the star excursion test in assessing dynamic balance. *J Orthop Sports Phys Therapy*, 27(5), 356-360.
- Konradsen, L., & Ravn, J. B. (1990). Ankle instability caused by prolonged peroneal reaction time. *Acta Orthop Scand*, 61(5), 388-390.
- Kovaleski, J. E., Gurchiek, L. R., Heitman, R. J., Hollis, J. M., & Pearsall, A. W. t. (1999). Instrumented measurement of anteroposterior and inversion-eversion laxity of the normal ankle joint complex. *Foot Ankle Int*, 20(12), 808-814.
- Lentell, G., Baas, B., Lopez, D., McGuire, L., Sarrels, M., & Snyder, P. (1995). The contributions of proprioceptive deficits, muscle function, and anatomic laxity

- to functional instability of the ankle. *J Orthop Sports Phys Ther*, 21(4), 206-215.
- Lentell, G., Katzman, L. L., & Walters, M. R. (1990). The Relationship between Muscle Function and Ankle Stability. *J Orthop Sports Phys Ther*, 11(12), 605-611.
- Lepers, R., Bigard, A. X., Diard, J. P., Gouteyron, J. F., & Guezennec, C. Y. (1997). Posture control after prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(1), 55-61.
- Lephart, S. M., Pincivero, D. M., & Rozzi, S. L. (1998). Proprioception of the ankle and knee. *Sports Med*, 25(3), 149-155.
- Lofvenberg, R., Karrholm, J., Sundelin, G., & Ahlgren, O. (1995). Prolonged reaction time in patients with chronic lateral instability of the ankle. *Am J Sports Med*, 23(4), 414-417.
- Lundin, T. M., Feuerbach, J. W., & Grabiner, M. D. (1993). Effect of plantarflexors and dorsiflexors fatigue on unilateral postural control. *J Appl Biomech*, 9, 191-201.
- Lynch, S. A., Eklund, U., Gottlieb, D., Renstrom, P. A., & Beynon, B. (1996). Electromyographic latency changes in the ankle musculature during inversion moments. *Am J Sports Med*, 24(3), 362-369.
- Macefield, G., Hagbarth, K. E., Gorman, R., Gandevia, S. C., & Burke, D. (1991). Decline in spindle support to alpha-motoneurons during sustained voluntary contractions. *J Physiol*, 440, 497-512.
- McKeon, P. O., & Hertel, J. (2008a). Spatiotemporal postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *BMC Musculoskelet Disord*, 9, 76.

- McKeon, P. O., & Hertel, J. (2008b). Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part I: can deficits be detected with instrumented testing. *J Athl Train*, *43*(3), 293-304.
- McKeon, P. O., Ingersoll, C. D., Kerrigan, D. C., Saliba, E., Bennett, B. C., & Hertel, J. (2008). Balance training improves function and postural control in those with chronic ankle instability. *Med Sci Sports Exerc*, *40*(10), 1810-1819.
- Messina, D. F., Farney, W. C., & DeLee, J. C. (1999). The incidence of injury in Texas high school basketball. A prospective study among male and female athletes. *Am J Sports Med*, *27*(3), 294-299.
- Milner-Brown, H. S., Mellenthin, M., & Miller, R. G. (1986). Quantifying human muscle strength, endurance and fatigue. *Arch Phys Med Rehabil*, *67*(8), 530-535.
- Nardone, A., Tarantola, J., Giordano, A., & Schieppati, M. (1997). Fatigue effects on body balance. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *105*(4), 309-320.
- Ochsendorf, D. T., Mattacola, C. G., & Arnold, B. L. (2000). Effect of Orthotics on Postural Sway After Fatigue of the Plantar Flexors and Dorsiflexors. *J Athl Train*, *35*(1), 26-30.
- Olmsted, L. C., Carciat, C. R., Hertel, J., & Shultz, S. J. (2002). Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in detecting reach deficits in subjects with chronic ankle instability. *Journal of athletic training*, *37*(4), 501-506.
- Perrin, P. P., Bene, M. C., Perrin, C. A., & Durupt, D. (1997). Ankle trauma significantly impairs posture control--a study in basketball players and controls. *Int J Sports Med*, *18*(5), 387-392.

- Pintsaar, A., Brynhildsen, J., & Tropp, H. (1996). Postural corrections after standardised perturbations of single limb stance: effect of training and orthotic devices in patients with ankle instability. *Br J Sports Med*, 30(2), 151-155.
- Riemann, B. L. (2002). Is there a link between chronic ankle instability and postural instability? *Journal of athletic training*, 37(4), 386-393.
- Ross, S. E., & Guskiewicz, K. M. (2004). Examination of static and dynamic postural stability in individuals with functionally stable and unstable ankles. *Clin J Sport Med*, 14(6), 332-338.
- Ross, S. E., Guskiewicz, K. M., Gross, M. T., & Yu, B. (2009). Balance measures for discriminating between functionally unstable and stable ankles. *Med Sci Sports Exerc*, 41(2), 399-407.
- Comparison Of Time To Stabilization Measures In Functionally Unstable Versus Stable Ankles, 36 C.F.R. (2001).
- Ross, S. E., Guskiewicz, K. M., & Yu, B. (2005). Single-leg jump-landing stabilization times in subjects with functionally unstable ankles. *J Athl Train*, 40(4), 298-304.
- Shaw, M. Y., Gribble, P. A., & Frye, J. L. (2008). Ankle bracing, fatigue, and time to stabilization in collegiate volleyball athletes. *J Athl Train*, 43(2), 164-171.
- Tabrizi, P., McIntyre, W. M., Quesnel, M. B., & Howard, A. W. (2000). Limited dorsiflexion predisposes to injuries of the ankle in children. *J Bone Joint Surg Br*, 82(8), 1103-1106.
- Taylor, J. L., Butler, J. E., & Gandevia, S. C. (2000). Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol*, 83(2-3), 106-115.

- Testerman, C., & Vander Griend, R. (1999). Evaluation of ankle instability using the Biodex Stability System. *Foot Ankle Int*, 20(5), 317-321.
- Tropp, H. (1986). Pronator muscle weakness in functional instability of the ankle joint. *Int J Sports Med*, 7(5), 291-294.
- Tropp, H., Askling, C., & Gillquist, J. (1985). Prevention of ankle sprains. *Am J Sports Med*, 13(4), 259-262.
- Tropp, H., & Odenrick, P. (1988). Postural control in single-limb stance. *J Orthop Res*, 6(6), 833-839.
- Van Deun, S., Staes, F. F., Stappaerts, K. H., Janssens, L., Levin, O., & Peers, K. K. (2007). Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance. *Am J Sports Med*, 35(2), 274-281.
- Verhagen, E., Beek, A. v. d., Twisk, J., Bouter, L., Bahr, R., & Mechelen, W. v. (2004). The effect of proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(6), 1385-1393.
- Voight, M. L., Hardin, J. A., Blackburn, T. A., Tippet, S., & Canner, G. C. (1996). The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther*, 23(6), 348-352.
- Wikstrom, E. A., Powers, M. E., & Tillman, M. D. (2004). Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue. *J Athletic training*, 39(3), 247-253.
- Wikstrom, E. A., Tillman, M. D., & Borsa, P. A. (2005). Detection of dynamic stability deficits in subjects with functional ankle instability. *Med Sci Sports Exerc*, 37(2), 169-175.



- Wilcock, A., Maddocks, M., Lewis, M., Howard, P., Frisby, J., Bell, S., et al. (2008). Use of a Cybex NORM dynamometer to assess muscle function in patients with thoracic cancer. *BMC Palliat Care*, 7, 3.
- Wilson, E. L., & Madigan, M. L. (2007). Effects of fatigue and gender on peroneal reflexes elicited by sudden ankle inversion. *J Electromyogr Kinesiol*, 17(2), 160-166.
- Wolfe, M. W., Uhl, T. L., Mattacola, C. G., & McCluskey, L. C. (2001). Management of ankle sprains. *Am Fam Physician*, 63(1), 93-104.
- Wright, I. C., Neptune, R. R., van den Bogert, A. J., & Nigg, B. M. (2000). The influence of foot positioning on ankle sprains. *J Biomech*, 33(5), 513-519.
- Yaggie, J. A., & McGregor, S. J. (2002). Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil*, 83(2), 224-228.
- Yeung, M. S., Chan, K. M., So, C. H., & Yuan, W. Y. (1994). An epidemiological survey on ankle sprain. *Br J Sports Med*, 28(2), 112-116.