



Η Επίδραση του Ασκησιογενούς Μυϊκού Τραυματισμού στην Εμβιομηχανική της Προσγείωσης Εξαρτάται από τον Τύπο της Προσγείωσης

Θεμιστοκλής Τσαταλάς¹, Ευαγγελία Καραμπίνα¹, Στέφανος Καλότουχος¹, Ειρήνη Δολαψάκη¹, Νίκη Σύρου¹, Μηνάς Α. Μηνάς², Αθανάσιος Τζιαμούρτας¹, Ιωάννης Κουτεντάκης^{1,3}, & Ιωάννης Γιάκας¹

¹Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

²Human Sciences Research Centre, College of Science and Engineering, University of Derby

³Faculty of Arts, Wolverhampton University

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας ήταν να διερευνήσει την επίδραση της έκκεντρης άσκησης και του επικείμενου μυϊκού τραυματισμού στην κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης του εδάφους (VGRF) και τα κινηματικά και κινητικά χαρακτηριστικά του γόνατος και του ισχίου κατά τη διποδική προσγείωση που συνοδεύεται ή όχι από κατακόρυφο άλμα. Δεκαεπτά αθλητές τοπικών πρωταθλημάτων με προπονητική εμπειρία σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν προσγείωση υπέστησαν μυϊκό τραυματισμό των εκτεινόντων μυών της άρθρωσης του γόνατος και των δύο κάτω άκρων, εκτελώντας έκκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο. Το πρωτόκολλο άσκησης αποτελούνταν από 5 σετ των 15 επαναλήψεων στις 60°/s. Έγινε καταγραφή των εμβιομηχανικών παραμέτρων κατά τη διποδική προσγείωση που συνοδεύεται ή όχι από κατακόρυφο άλμα 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση. Οι δείκτες του μυϊκού τραυματισμού που αξιολογήθηκαν ήταν η ισομετρική ροπή, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος και τα επίπεδα της κρεατινικής κινάσης στον ορό του αίματος. Η έκκεντρη άσκηση οδήγησε σε στατιστικά σημαντική μεταβολή όλων των δεικτών του μυϊκού τραυματισμού, επιβεβαιώνοντας την πρόκλησή του ($p < .05$). Η μέγιστη κάμψη του γόνατος αυξήθηκε, ενώ η VGRF, η μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης του γόνατος και η μέγιστη ισχύς του γόνατος κατά τη φάση απόσβεσης μειώθηκαν μόνο στην προσγείωση με επακόλουθο άλμα 48 ώρες μετά ($p < .05$). Κοινή μεταβολή και στους δύο τύπους προσγείωσης ήταν μόνο η αύξηση της μέγιστης κάμψης του ισχίου ($p < .05$). Συμπερασματικά, η εμβιομηχανική της προσγείωσης όταν οι ασκούμενοι παρουσιάζουν συμπτώματα μυϊκού τραυματισμού διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της εξεταζόμενης προσγείωσης και παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή όταν η διποδική προσγείωση συνοδεύεται από επακόλουθο άλμα.

Λέξεις κλειδιά: *ασκησιογενής μυϊκή βλάβη, διποδική προσγείωση, ισοκίνηση*

Research

The Effects of Exercise-induced Muscle Damage on Landing Biomechanics Vary Depending on the Type of Landing

Themistoklis Tsatalas¹, Evangeliki Karampina¹, Stefanos Kalotyhos¹, Eirini Dolapsaki¹, Niki Syrou¹, Minas A. Mina², Athanasios Z. Jamurtas¹, Yiannis Koutedakis^{1,3}, Giannis Giakas¹

¹Department of Physical Education and Sport Science, University of Thessaly

²Human Sciences Research Centre, College of Science and Engineering, University of Derby

³Faculty of Arts, Wolverhampton University

Abstract

The present study compared the effects of eccentric exercise and knee localized muscle damage on peak vertical ground reaction force (VGRF) and knee and hip biomechanics between drop landing and drop landing with a subsequent vertical jump. Seventeen athletes with training experience in ground-contact sports at a regional level performed 5 sets of 15 maximal eccentric voluntary contractions of the knee extensors of both legs at 60°/s. VGRF and knee and hip joint kinematics and kinetics were measured 24 h pre- and 48 h post eccentric-exercise. The examination of muscle damage indices included isometric torque, muscle soreness and serum creatine kinase activity. All indices changed significantly and confirmed that muscle damage occurred 48 h following eccentric exercise ($p < .05$). Peak knee joint flexion significantly increased, whereas peak VGRF, peak internal knee extension moment and peak knee power during absorption phase significantly decreased during drop landing with a subsequent vertical jump ($p < .05$). The only biomechanical measure that significantly changed during both landing tasks was the peak hip joint flexion ($p < .05$). Therefore, physically active men display a different landing pattern following eccentric exercise of the knee extensors depending on the type of landing.

Keywords: *exercise-induced muscle damage, double landing, isokinetic*

Εισαγωγή

Η εκτέλεση πολλαπλών προσγειώσεων είναι βασικό χαρακτηριστικό σε πολλές αθλητικές δραστηριότητες, όπως είναι η καλαθοσφαίριση και το ποδόσφαιρο και ο ασκούμενος καλείται να μεταβάλει την κινητική κατάσταση του κέντρου μάζας του σώματος. Η μεταβολή αυτή ασκεί στο σώμα υψηλές επιβαρύνσεις που εγκυμονούν σημαντικό κίνδυνο τραυματισμού του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου (ΠΧΣ). Υπολογίζεται ότι περίπου το 70% των περιπτώσεων ρήξης ΠΧΣ συμβαίνουν κατά την προσγείωση ή την αλλαγή κατεύθυνσης (Shimokochi & Shultz, 2008). Η ρήξη ΠΧΣ αποτελεί ένα σοβαρό τραυματισμό που συναντάται ολοένα και περισσότερο στον αθλούμενο πληθυσμό. Ενδεικτικά, εκτιμάται ότι κάθε χρόνο στις ΗΠΑ συμβαίνουν περίπου 250.000 τραυματισμοί ΠΧΣ, με το ιατρικό κόστος να ξεπερνάει τα 3 δισεκατομμύρια δολάρια (Hewett, Myer, Ford, Paterno, & Quatman, 2016). Το κόστος δεν περιορίζεται στην χειρουργική αποκατάσταση του γόνατος των ασθενών, καθώς η ρήξη ΠΧΣ πολύ συχνά οδηγεί σε οστεοαρθρίτιδα που γίνεται εμφανής ακόμα και δέκα χρόνια μετά τον αρχικό τραυματισμό. Με δεδομένο ότι η πλειοψηφία των ασθενών υφίσταται ρήξη σε ηλικία μικρότερη των 30 ετών, η πρόωρη εκδήλωση οστεοαρθρίτιδας επηρεάζει δραματικά τα ποιοτικότερα χρόνια του εργασιακού τους βίου και μειώνει την παραγωγικότητα. Συνεπώς, οι επιπτώσεις για τους ασθενείς, τις οικογένειές τους και το σύστημα υγείας είναι οδυνηρές (Hewett et al., 2016).

Η επιστημονική κοινότητα στην προσπάθεια της να περιορίσει τις περιπτώσεις τραυματισμού ΠΧΣ έχει εστιάσει το ενδιαφέρον της στον προσδιορισμό των παραγόντων που τον προκαλούν. Όσον αφορά την εμβιομηχανική της προσγείωσης έχει διαπιστωθεί ότι άτομα που έχουν υποστεί ρήξη ΠΧΣ παρουσιάζουν διαφορετικές νευρομηχανικές στρατηγικές ελέγχου συγκριτικά με τους υγιείς (Hewett et al., 2016; Shimokochi & Shultz, 2008). Επιπρόσθετα, ανεξάρτητα από το αν προϋπάρχει τραυματισμός, η εμβιομηχανική διαφοροποιείται ανάλογα με το φύλο, το ύψος πτώσης, τον τύπο προσγείωσης και την κόπωση (Barber-Westin & Noyes, 2017; Hewett et al., 2016). Ωστόσο, ένας παράγοντας που παραμένει αδιερεύνητος είναι η επίδραση του ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού (MT) στην εμβιομηχανική της προσγείωσης. Είναι γνωστό ότι η ασυνήθιστη άσκηση υψηλής έντασης ή διάρκειας μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της απόδοσης και σε μυϊκή δυσλειτουργία. Εξ' ορισμού, όταν η μυϊκή λειτουργία επιστρέφει στη φυσιολογική της κατάσταση σε σύντομο διάστημα το φαινόμενο αυτό περιγράφεται ως κόπωση (Barber-Westin & Noyes, 2017). Εφόσον όμως η δυσλειτουργία είναι δύσκολα αντιστρέψιμη για μέρες και σχετίζεται με δομικές αλλαγές του μυός, το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως MT (Peake, Neubauer, Gatta, & Nosaka, 2017).

Η σημασία της διερεύνησης της επίδρασης του MT στην εμβιομηχανική της προσγείωσης κρίνεται σημαντική, δεδομένου ότι ο MT μπορεί να επηρεάσει δραστικά την απόδοση σε αθλητικές δραστηριότητες που περιλαμβάνουν πολλές προσγειώσεις, όπως είναι η καλαθοσφαίριση και το ποδόσφαιρο (Carling, McCall, Le Gall, & Dupont, 2016; Doma et al., 2018). Επιπρόσθετα, θεωρείται ότι ο MT που εντοπίζεται σε μικροσκοπικό επίπεδο, μπορεί να αποτελέσει τον προάγγελο ευρύτερου τραυματισμού (Brockett, Morgan, & Proske, 2004). Στην κλιμάκωση του τραυματισμού πιθανώς να συμβάλλει η διαφοροποιημένη εμβιομηχανική της προσγείωσης όταν κάποιος αθλείται ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει συμπτώματα MT. Δεδομένου ότι η ρήξη ΠΧΣ προκαλείται συχνά σε περιπτώσεις διποδικής προσγείωσης, οι διποδικές προσγειώσεις μετά από πτώση από ύψος α) χωρίς (DL) ή β) με επακόλουθο κατακόρυφο άλμα (DJ) χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση του ρίσκου τραυματισμού του ΠΧΣ (Hewett et al., 2005; Leppänen, Pasanen, Krosshaug, et al., 2017). Η διερεύνηση της εμβιομηχανικής της προσγείωσης στις δύο παραπάνω δραστηριότητες κατά τη διάρκεια παρουσίας συμπτωμάτων MT θα μπορούσε να συμβάλει στην καλύτερη διαχείριση των αθλητών και το σχεδιασμό παρεμβάσεων που θα εστιάσουν στην πρόληψη και αντιμετώπιση του τραυματισμού/επανατραυματισμού ΠΧΣ.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω προβληματισμούς, σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του MT στην εμβιομηχανική των δύο παραπάνω τύπων διποδικής προσγείωσης σε υγιείς άντρες. Υποθέσαμε ότι α) ο MT θα οδηγήσει σε διαφοροποιημένες μεταβολές της εμβιομηχανικής της προσγείωσης ανάλογα με τον τύπο της προσγείωσης (απλή διποδική προσγείωση συγκριτικά με διποδική προσγείωση που ακολουθείται από κατακόρυφο άλμα), δεδομένου των κινηματικών και κινητικών διαφορών που παρουσιάζουν κατά την εκτέλεσή τους (Cruz et al., 2013) και β) η προσγείωση μετά την πρόκληση MT, ανεξάρτητα από τον τύπο της εξεταζόμενης δραστηριότητας, θα σχετίζεται με εμβιομηχανικές παραμέτρους που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία οδηγούν σε μεγαλύτερο κίνδυνο τραυματισμού του ΠΧΣ (Leppänen, Pasanen, Krosshaug, et al., 2017; Leppänen, Pasanen, Kujala, et al., 2017).

Μεθοδολογία

Δείγμα

Στην έρευνα έλαβαν μέρος εθελοντικά 17 αθλητές τοπικών πρωταθλημάτων με προπονητική εμπειρία σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν προσγείωση. Τρεις εξεταζόμενοι παρουσίασαν διαφοροποιημένους δείκτες MT (ισομετρική ροπή και καθυστερημένο μυϊκό πόνο) μεταξύ των δύο κάτω άκρων και αποκλείστηκαν από την μελέτη. Συνολικά στην ανάλυση των δεδομένων συμπεριλήφθηκαν 14 εξεταζόμενοι (ηλικία: 21 ± 3 έτη; σωματικό ύψος: 181.4 ± 6.1 cm; σωματική μάζα: 79.1 ± 8.1 kg). Όλοι οι συμμετέχοντες δήλωσαν υγιείς, χωρίς ιστορικό τραυματισμού της σπονδυλικής στήλης και των κάτω άκρων. Οι εξεταζόμενοι απείχαν από άσκηση που περιλαμβάνει έκκεντρη (πλειομετρική) δράση του μυός για τουλάχιστον 10 ημέρες πριν και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επιπρόσθετα, δόθηκε η οδηγία να μη γίνει χρήση αντιφλεγμονωδών σκευασμάτων για το ίδιο χρονικό διάστημα. Τέλος, οι εξεταζόμενοι παρείχαν την έγγραφη συγκατάθεση τους, ενώ όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν είχαν προηγουμένως εγκριθεί από την επιτροπή δεοντολογίας του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Αρ. Πρωτ: 1524/5-6-2019).

Χρονοδιάγραμμα πειραματικών μετρήσεων

Οι εξεταζόμενοι επισκέφτηκαν το εργαστήριο πέντε φορές σε χρονικό διάστημα μιας εβδομάδας. Η πρώτη συνεδρία διεξάχθηκε 72 ώρες πριν το πρωτόκολλο MT και ξεκίνησε με συμπλήρωση της ειδικής καρτέλας του εξεταζόμενου, που περιελάμβανε το ιατρικό ιστορικό του και τα ανθρωπομετρικά του χαρακτηριστικά. Στην ίδια συνεδρία έγινε εξοικείωση των εξεταζόμενων με τους δύο τύπους προσγείωσης και το ισοκινητικό δυναμόμετρο. Επιπρόσθετα, έγινε καταγραφή της μέγιστης βουλητικής ισομετρικής ροπής. Κατά τη δεύτερη συνεδρία (24 ώρες πριν το πρωτόκολλο MT) έγινε καταγραφή των εμπιομηχανικών παραμέτρων κατά την εκτέλεση των δύο τύπων διποδικής προσγείωσης, ενώ στη τρίτη συνεδρία (ώρα 0) πραγματοποιήθηκε η πρόκληση του MT. Δεδομένου ότι τα κυριότερα συμπτώματα του μυϊκού τραυματισμού παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους 24-72 ώρες μετά την άσκηση (Peake et al., 2017), η επαναμέτρηση των εμπιομηχανικών παραμέτρων έγινε 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση (πέμπτη συνεδρία). Οι δείκτες του μυϊκού τραυματισμού που αξιολογήθηκαν ήταν η μέγιστη ισομετρική ροπή στο ισοκινητικό δυναμόμετρο, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος (delayed onset muscle soreness, DOMS), και τα επίπεδα της κρεατινικής κινάσης στο ορό του αίματος (serum creatine kinase, CK). Η ισομετρική ροπή μετρήθηκε κατά τη πρώτη συνεδρία (αρχικές μετρήσεις), λίγο πριν την έκκεντρη άσκηση (τρίτη συνεδρία), αμέσως μετά την έκκεντρη άσκηση (τρίτη συνεδρία), καθώς ακόμα 24 και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση (τέταρτη και πέμπτη συνεδρία, αντίστοιχα). Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος αξιολογήθηκε 24 ώρες πριν την έκκεντρη άσκηση στη δεύτερη συνεδρία (τιμές ηρεμίας), λίγο πριν την έκκεντρη άσκηση (τρίτη συνεδρία), 24 και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση (τέταρτη και πέμπτη συνεδρία, αντίστοιχα). Τα επίπεδα της κρεατινικής κινάσης μετρήθηκαν λίγο πριν την έκκεντρη άσκηση (τρίτη συνεδρία) και 48 ώρες μετά το πέρας της (πέμπτη συνεδρία).

Έκκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο

Πριν την ισοκινητική αξιολόγηση οι ασκούμενοι εκτέλεσαν ένα τυπικό πρόγραμμα προθέρμανσης που περιελάμβανε τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο (Technogym, Italy) με ταχύτητα 2.5 m/s για 5 λεπτά και διατάσεις των βασικότερων μυϊκών ομάδων των κάτω άκρων. Η πρόκληση του MT πραγματοποιήθηκε με έκκεντρη άσκηση σε ισοκινητικό δυναμόμετρο Cybex Norm (Lumex Corporation, Ronkonkoma, New York). Οι εξεταζόμενοι κάθισαν στην καρέκλα του ισοκινητικού δυναμόμετρου (γωνία ισχίου 100°) και σταθεροποιήθηκε ο κορμός, η λεκάνη και το εξεταζόμενο κάτω άκρο με ελαστικούς ιμάντες. Ο άξονας περιστροφής του δυναμόμετρου ευθυγραμμίστηκε με το κέντρο περιστροφής του γόνατος. Το εύρος κίνησης του γόνατος ήταν $10-100^\circ$ για όλους του εξεταζόμενους (0° = πλήρης έκταση). Το πρωτόκολλο MT αποτελούνταν από 5 σετ των 15 επαναλήψεων έκκεντρης άσκησης μέγιστης έντασης των εκτεινόντων του γόνατος σε γωνιακή ταχύτητα $60^\circ/s$ (Tsatalas et al., 2010; Tsatalas, Giakas, Spyropoulos, Sideris, Kotzamanidis, et al., 2013). Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόστηκε και στα δύο κάτω άκρα με τυχαία σειρά όσον αφορά το κάτω άκρο που ασκήθηκε πρώτο. Μεταξύ των 5 σετ δόθηκε διάλειμμα 3 λεπτών. Όταν ολοκληρώθηκε η έκκεντρη άσκηση στο ένα άκρο ακολούθησε το επόμενο μετά από διάλειμμα 5 λεπτών. Κατά τη διάρκεια των προσπαθειών προσφέρθηκε παρακίνηση από τον εξεταστή και οπτική ανατροφοδότηση των προσπαθειών στην οθόνη του υπολογιστή.

Δείκτες μυϊκού τραυματισμού

Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν στο ισοκινητικό δυναμόμετρο τρεις μέγιστες βουλητικές ισομετρικές προσπά-

θεις των εκτεινόντων του γόνατος και των δύο κάτω άκρων στις 70° (Tsatalas, Giakas, Spyropoulos, Sideris, Lazaridis, et al., 2013). Οι προσπάθειες διήρκησαν 5s και εκτελέστηκαν με διάλλειμα 2 λεπτών μεταξύ τους. Ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών αυτών των προσπαθειών ορίστηκε ως μέγιστη ισομετρική ροπή. Ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος αξιολογήθηκε και στα δύο άκρα σε μία κλίμακα με εύρος τιμών από το 0 (καθόλου πόνος) έως το 10 (αφόρητος πόνος) (Kay et al., 2018; Spyropoulos, Tsatalas, Tsaopoulos, Sideris, & Giakas, 2013). Ζητήθηκε από τους εξεταζόμενους να σημειώσουν στην κλίμακα τον πόνο που αισθάνονταν κατά τη ψηλάφηση από τον ερευνητή της γαστέρας και του περιφερικού τμήματος των πρόσθιων μηριαίων (έσω/έξω κεφαλή του τετρακέφαλου και ορθό μηριαίο). Ως καθυστερημένος μυϊκός πόνος των εκτεινόντων του γόνατος ορίστηκε ο μέσος όρος του πόνου των τριών κεφαλών του τετρακέφαλου. Ο προσδιορισμός των επιπέδων της κρεατινικής κινάσης στον ορό του αίματος έγινε με βάση διαδικασίες που περιγράφονται αναλυτικά στη βιβλιογραφία (Tsatalas, Giakas, Spyropoulos, Sideris, Lazaridis, et al., 2013)

Συλλογή εμβιομηχανικών δεδομένων και δοκιμασίες προσγείωσης

Η καταγραφή της κίνησης έγινε με οπτικο-ηλεκτρονικό σύστημα δέκα καμερών (Vicon T-series, Oxford, UK) με συχνότητα δειγματοληψίας 200 Hz. Η καταγραφή των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους πραγματοποιήθηκε συγχρονισμένα με την ανάλυση κίνησης χρησιμοποιώντας δύο δυναμοδάπεδα (Bertec 4060-10, OH) με συχνότητα δειγματοληψίας 1000 Hz. Πριν την έναρξη των δοκιμασιών τοποθετήθηκαν στην πύελο και στα κάτω άκρα των ασκούμενων 20 ανακλαστήρες και ο προσδιορισμός του κέντρου της άρθρωσης του ισχίου και του άξονα περιστροφής του γόνατος έγινε με διαδικασίες που περιγράφονται στη βιβλιογραφία (Ehrig, Taylor, Duda, & Heller, 2006, 2007; Mina et al., 2019). Εκτελέστηκαν δύο δοκιμασίες διποδικής προσγείωσης με τυχαία σειρά. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της εργασίας η μία περιελάμβανε επακόλουθο κατακόρυφο άλμα (DJ), ενώ η άλλη όχι (DL). Και οι δύο δοκιμασίες έγιναν με πτώση από 30 cm. Αρχικά οι εξεταζόμενοι εκτέλεσαν δύο δοκιμαστικές προσπάθειες για τον κάθε τύπο προσγείωσης. Στη συνέχεια εκτέλεσαν τρεις προσπάθειες DL και τρεις προσπάθειες DJ που χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω ανάλυση των εμβιομηχανικών παραμέτρων. Η διαδικασία εκτέλεσής τους περιγράφεται αναλυτικά στη βιβλιογραφία (Cruz et al., 2013; Hewett et al., 2005).

Επεξεργασία δεδομένων

Η πρώτη επαφή με το έδαφος και η απογείωση από αυτό ορίστηκαν ως οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες η VGRF ξεπερνούσε ή έπεφτε κάτω από την τιμή των 10 N, αντίστοιχα. Η τροχιά των ανακλαστήρων καθώς και οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους ομαλοποιήθηκαν εφαρμόζοντας φίλτρο “Butterworth” με συχνότητα κοπής στα 15 Hz (Kristianslund, Krosshaug, & Van den Bogert, 2012). Για τον προσδιορισμό των κινητικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η κλασική μεθοδολογία αντίστροφης δυναμικής (inverse dynamics). Οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους σχετικοποιήθηκαν ως προς το % του σωματικού βάρους και οι κινητικές παράμετροι ως προς τη σωματική μάζα. Οι αναλύσεις περιορίστηκαν στο κυρίαρχο κάτω άκρο, το οποίο ορίστηκε με βάση ποιο άκρο επιλέγει ο εξεταζόμενος για το λάκτισμα στο ποδόσφαιρο. Η εμβιομηχανική ανάλυση εστιάστηκε και για τους δύο τύπους προσγείωσης στη φάση απόσβεσης που ορίστηκε ως το διάστημα από την πρώτη επαφή με το έδαφος έως τη χρονική στιγμή της μέγιστης κάμψης της άρθρωσης του γόνατος (Peng, 2011). Η επιλογή αυτή έγινε δεδομένου ότι οι τραυματισμοί του ΠΧΣ εντοπίζονται χρονικά στα πρώτα 100 ms μετά την επαφή με το έδαφος (Hewett et al., 2016). Οι κινηματικές και κινητικές παράμετροι που αξιολογήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Στατιστική ανάλυση

Για τον έλεγχο της ομαλότητας της κατανομής των εξεταζόμενων παραμέτρων εφαρμόστηκε το τεστ Shapiro-Wilk. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι εξεταζόμενες παράμετροι ακολουθούν την κανονική κατανομή ($p > .05$) και για αυτό το λόγο στη συνέχεια εφαρμόστηκαν παραμετρικά τεστ. Η αξιοπιστία των δεικτών του MT (ισομετρική ροπή και καθυστερημένος μυϊκός πόνος) πριν την εφαρμογή της έκκεντρης άσκησης αξιολογήθηκε με το συντελεστή διακύμανσης (coefficient of variation). Χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις διακύμανσης μονής κατεύθυνσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις για την αξιολόγηση της επίδρασης της έκκεντρης άσκησης στην ισομετρική ροπή και τον μυϊκό πόνο, ενώ για τα επίπεδα της κρεατινικής κινάσης πραγματοποιήθηκε t-test για εξαρτημένα δείγματα. Τέλος, εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης διπλής κατεύθυνσης με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες (2 χρονικές στιγμές μέτρησης \times 2 δοκιμασίες προσγείωσης) για να διερευνηθεί η επίδραση της έκκεντρης άσκησης στις εξεταζόμενες εμβιομηχανικές παραμέτρους της προσγείωσης. Οι επιμέρους σημαντικές αλληλεπιδράσεις ή κύριες επιδράσεις στις εφαρμοζόμενες αναλύσεις διακύμανσης με επαναλαμβανόμενους παράγοντες

μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας post-hoc ανάλυση με διόρθωση Bonferroni. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε σε $p < .05$.

Αποτελέσματα

Δείκτες MT

Οι τιμές του συντελεστή διακύμανσης για την ισομετρική ροπή και τον καθυστερημένο μυϊκό πόνο ήταν 3.72 και 0%, αντίστοιχα. Η εξέλιξη των δεικτών του MT στις χρονικές στιγμές που αξιολογήθηκαν αποτυπώνεται στον Πίνακα 1. Η έκκεντρη άσκηση οδήγησε σε στατιστικά σημαντική μείωση της ισομετρικής δύναμης, ενώ αύξησε στατιστικά σημαντικά τον μυϊκό πόνο και τα επίπεδα της κρεατινικής κινάσης στον ορό του αίματος ($p < .05$).

Πίνακας 1. Δείκτες MT μετά την έκκεντρη άσκηση. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι \pm τυπικές αποκλίσεις.

Δείκτες MT	0 h	Αμέσως Μετά	+24 h	+48 h
IPE (%)	100	75.8 \pm 7.2*	78.7 \pm 10.7*	80.3 \pm 10.2*
CK (U/l)	202 \pm 125	Δ M	Δ M	2144 \pm 1306*
DOMS	0	Δ M	5.7 \pm 1.4*	6.6 \pm 1.5*

*Στατιστικά σημαντικές διαφορές συγκριτικά με τις τιμές πριν την έκκεντρη άσκηση ($p < .05$). Δ M: Δε μετρήθηκε; IPE (%): Ισομετρική μέγιστη ροπή εκφρασμένη % των τιμών πριν την έκκεντρη άσκηση; DOMS: Καθυστερημένος μυϊκός πόνος.

Εμβιομηχανικές παράμετροι προσγείωσης

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα αναφορικά με τις εξεταζόμενες κινηματικές και κινητικές παραμέτρους για τις δύο δοκιμασίες προσγείωσης στις 0 και 48 ώρες μετά την πρόκληση του MT. Η ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που εφαρμόστηκε έδειξε αλληλεπίδραση των εξεταζόμενων παραγόντων για τις εξής παραμέτρους: Τη μέγιστη VGRF κατά τη φάση απόσβεσης, τη μέγιστη κάμψη του γόνατος κατά τη φάση απόσβεσης, τη μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης του γόνατος και τη μέγιστη ισχύ του γόνατος κατά τη φάση απόσβεσης. Σε όλες τις παραπάνω παραμέτρους παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές μόνο για τη δοκιμασία DVJ 48 ώρες μετά την πρόκληση του MT. Συγκεκριμένα, η μέγιστη κάμψη του γόνατος αυξήθηκε, ενώ η μέγιστη VGRF η μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης του γόνατος και η μέγιστη ισχύς του γόνατος μειώθηκαν ($p < .05$). Επιπρόσθετα, αξιοσημείωτη ήταν η στατιστικά σημαντική αύξηση της μέγιστης κάμψης του ισχίου κατά τη φάση απόσβεσης και στις δύο δοκιμασίες προσγείωσης 48 ώρες μετά την πρόκληση του MT ($p < .05$).

Πίνακας 2. Εμβιομηχανικές παράμετροι 0 και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι \pm τυπικές αποκλίσεις.

	DL		DVJ		Τιμές p		
	24 ώρες πριν	48 ώρες μετά	24 ώρες πριν	48 ώρες μετά	T	M	TM
Μέγιστη VGRF κατά τη φάση απόσβεσης (% ΣΒ)	1.72 \pm 0.3	1.65 \pm 0.2	2.04 \pm 0.4	1.77 \pm 0.3*	MΣ	MΣ	< .05
Κάμψη ισχίου κατά την πρώτη επαφή με το έδαφος (°)	31.8 \pm 7.4	33.2 \pm 7.0	44.0 \pm 6.5	44.5 \pm 8.1	< .05	MΣ	MΣ
Μέγιστη κάμψη ισχίου κατά τη φάση απόσβεσης (°)	66.3 \pm 15.7	74.5 \pm 10.9*	61.8 \pm 11.1	70.2 \pm 10.8*	MΣ	< .05	MΣ
Μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης ισχίου (Nm/kg)	1.63 \pm 0.6	1.73 \pm 0.5	2.50 \pm 0.7	2.39 \pm 0.5	< .05	MΣ	MΣ
Μέγιστη ισχύς ισχίου κατά τη φάση απόσβεσης (W/kg)	9.4 \pm 7.3	9.5 \pm 4.4	10.9 \pm 5.9	10.4 \pm 4.5	MΣ	MΣ	MΣ

Τσαταλάς κ.α. / Αναζητήσεις στη Φ.Α. & τον Αθλητισμό, 18 (2020), 157 – 166

Κάμψη γόνατος κατά την πρώτη επαφή με το έδαφος (°)	32.3 ± 8.1	31.2 ± 8.3	41.8 ± 6.3	40.2 ± 7.9	< .05	ΜΣ	ΜΣ
Μέγιστη κάμψη γόνατος κατά τη φάση απόσβεσης (°)	88.3 ± 10.3	91.1 ± 7.2	84.5 ± 6.5	89.4 ± 6.9*	ΜΣ	ΜΣ	< .05
Μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης γόνατος (Nm/kg)	2.09 ± 0.3	1.93 ± 0.3	3.01 ± 0.4	2.48 ± 0.5*	< .05	< .05	< .05
Μέγιστη ισχύς γόνατος κατά τη φάση απόσβεσης (W/kg)	17.1 ± 3.0	15.4 ± 4.5	20.3 ± 4.1	16.6 ± 4.3*	ΜΣ	ΜΣ	< .05

*Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση ($p < .05$). DL: Διποδική προσγείωση; DJ: Διποδική προσγείωση με επακόλουθο κατακόρυφο άλμα; T: Κύρια επίδραση τύπου προσγείωσης; M: Κύρια επίδραση χρονικής στιγμής μέτρησης; T × M: Αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων; ΜΣ: Μη στατιστικά σημαντική διαφορά; ΣΒ: Σωματικό βάρος.

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη της επίδρασης του MT στην εμβιομηχανική της προσγείωσης μεταξύ των δοκιμασιών DL και DJ. Η υπόθεση που είχε αρχικά τεθεί, σύμφωνα με την οποία ο MT οδηγεί σε διαφοροποιημένες μεταβολές της εμβιομηχανικής ανάλογα με τον τύπο της προσγείωσης (απλή διποδική προσγείωση συγκριτικά με διποδική προσγείωση που ακολουθείται από κατακόρυφο άλμα), επαληθεύτηκε. Ωστόσο, δεν επαληθεύτηκε η υπόθεση σύμφωνα με την οποία η διποδική προσγείωση, ανεξαρτήτως τύπου, σχετίζεται μετά την πρόκληση MT με μεγαλύτερο κίνδυνο τραυματισμού του ΠΧΣ.

Η μεταβολή των δεικτών του MT επιβεβαίωσε την επιδιωκόμενη πρόκλησή του 48 ώρες μετά το πρωτόκολλο της έκκεντρης άσκησης που εφαρμόστηκε (Πίνακας 1). Το μέγεθος άλλα και η χρονική στιγμή έναρξης και εξέλιξης των δεικτών του MT συνάδουν με τα ευρήματα μελετών που χρησιμοποίησαν παραπλήσιο πρωτόκολλο πρόκλησής του (Tsatalas et al., 2010; Tsatalas, Giakas, Spyropoulos, Sideris, Lazaridis, et al., 2013). Επιπρόσθετα, τα ευρήματα αναφορικά με την εμβιομηχανική των δοκιμασιών DL και DJ που πραγματοποιήθηκαν στις αρχικές μετρήσεις πριν την έκκεντρη άσκηση είναι σε συμφωνία με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Cruz et al., 2013; Lazaridis et al., 2018) και δε γίνεται περαιτέρω συζήτησή τους στη συνέχεια.

Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι η δραστηριότητα DJ είναι πιο απαιτητική εμβιομηχανικά σε σχέση με τη δραστηριότητα DL. Έχουν αναφερθεί διαφορές μεταξύ τους σε κινηματικές, κινητικές και ηλεκτρομυογραφικές παραμέτρους (Ambegaonkar, Shultz, & Perrin, 2011; Cruz et al., 2013). Με βάση τα ευρήματα της παρούσας μελέτης φαίνεται ότι σε ελεύθερα αθλούμενους υγιείς άντρες υπάρχει περαιτέρω διαφοροποίηση της εμβιομηχανικής των δύο δραστηριοτήτων όταν υφίστανται συμπτώματα MT. Οι εξεταζόμενοι επέδειξαν περισσότερες μεταβολές στις εμβιομηχανικές παραμέτρους κατά την εκτέλεση του DVJ 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση. Συγκεκριμένα, μόνο στη DJ η μέγιστη κάμψη του γόνατος αυξήθηκε, ενώ η μέγιστη VGRF, η μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης του γόνατος και η μέγιστη ισχύς του γόνατος μειώθηκαν. Η μόνη στατιστικά σημαντική μεταβολή κατά την εκτέλεση της δοκιμασίας DL που παρατηρήθηκε και στη DJ ήταν η αυξημένη κάμψη του ισχίου κατά τη φάση απόσβεσης (Πίνακας 2). Φαίνεται λοιπόν ότι τα εμφανή συμπτώματα του MT 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση δεν μπορούν να διαφοροποιήσουν αισθητά την εμβιομηχανική στη δοκιμασία του DL. Από την άλλη πλευρά, οι αυξημένες απαιτήσεις λόγω κυρίως του επακόλουθου κατακόρυφου άλματος στη δοκιμασία DJ (Cruz et al., 2013) φαίνεται να οδηγούν σε διαφοροποιημένη στρατηγική του νευρομυϊκού συστήματος, που μπορεί να σχετίζεται με την αποφυγή κάποιου επιπροσθέτου τραυματισμού και συζητείται αναλυτικότερα στη συνέχεια του κειμένου. Με δεδομένο πάντως ότι οι δραστηριότητες DL και DJ χρησιμοποιούνται εκτενώς από τους επιστήμονες για τον εντοπισμό εμβιομηχανικών παραμέτρων που συνδέονται με τραυματισμούς, όπως είναι η ρήξη του ΠΧΣ (Hewett et al., 2005; Leppänen, Pasanen, Krosshaug, et al., 2017), είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι η επιλογή διαφορετικού τύπου προσγείωσης μπορεί να οδηγήσει σε διαφοροποιημένα και ίσως εσφαλμένα συμπεράσματα κατά τη διερεύνηση του MT ως παράγοντα κινδύνου για την πρόκληση παρεμφερών μυοσκελετικών τραυματισμών.

Η προσγείωση διαχωρίζεται σε «σκληρή» (stiff) ή «μαλακή» (soft) ανάλογα με το εάν η μέγιστη γωνία κάμψης του γόνατος στη φάση απόσβεσης είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη των 90°, αντίστοιχα (DeVita & Skelly, 1992). Μακροχρόνιες μελέτες έχουν δείξει ότι αθλητές που επιλέγουν μια «σκληρή» προσγείωση σε δραστηριότητες όπως είναι το DJ και DL εμφανίζουν συχνά στη συνέχεια ρήξη του ΠΧΣ (Leppänen, Pasanen, Krosshaug, et

al., 2017; Leppänen, Pasanen, Kujala, et al., 2017). Η «σκληρή» προσγείωση χαρακτηρίζεται εκτός από τη μειωμένη κάμψη του γόνατος και από αυξημένη VGRF και μέγιστη εσωτερική ροπή έκτασης του γόνατος (Leppänen, Pasanen, Kujala, et al., 2017). Στην παρούσα μελέτη οι εξεταζόμενοι παρουσίασαν πριν την έκκεντρη άσκηση ένα σχετικό «μαλακό» πρότυπο προσγείωσης τόσο στο DJ όσο και στο DL. Μετά την πρόκληση του MT παρατηρήθηκε αύξηση της μέγιστης γωνίας κάμψης του γόνατος και μετατόπιση σε ακόμα πιο «μαλακό» πρότυπο προσγείωσης και στις δύο δραστηριότητες. Στατιστικά σημαντική όμως ήταν η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου μόνο για τη δραστηριότητα DJ. Επιπρόσθετα, συνοδεύτηκε μόνο για τη DJ από μειωμένη VGRF, ροπή έκτασης του γόνατος και μέγιστη ισχύ του γόνατος κατά τη φάση της απόσβεσης (Πίνακας 2). Τα ευρήματα αυτά συνηγορούν στο ότι ο MT που προκλήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη δεν οδηγεί τους ελεύθερα αθλούμενους άντρες σε αυξημένο κίνδυνο ρήξης του ΠΧΣ κατά τη διποδική προσγείωση που συνοδεύεται ή όχι από κατακόρυφο άλμα. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι η αυξημένη κάμψη του γόνατος μειώνει τις οριζόντιες δυνάμεις στην άρθρωση του γόνατος και μειώνει την απαγωγή και στροφική κίνησή του, που σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τη ρήξη του ΠΧΣ (Decker, Torry, Wyland, Sterett, & Steadman, 2003; Hewett et al., 2005).

Παρά το γεγονός ότι δε φαίνεται οι εξεταζόμενοι να κινδυνεύουν να υποστούν ρήξη του ΠΧΣ όταν έχουν συμπτώματα MT, δεν μπορεί να απαντηθεί με σαφήνεια με βάση τα ευρήματα της παρούσας μελέτης κατά πόσο η πιο «μαλακή» προσγείωση αποτελεί μια βουλητική ή μη στρατηγική αποφυγής πρόκλησης επιπρόσθετου μυοσκελετικού τραυματισμού. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι αυξημένη κάμψη του γόνατος παρατηρείται κατά το τρέξιμο σε περιπτώσεις «ασυνήθιστων» καταστάσεων, όπως είναι η κόπωση ή ανωμαλίες στην επιφάνεια του εδάφους (Derrick, 2004; Kellis, Zafeiridis, & Amiridis, 2011). Δεν αποκλείεται λοιπόν ο MT να αποτελεί μια ακόμα «ασυνήθιστη» κατάσταση κατά την οποία ο εξεταζόμενος επιλέγει κατά την προσγείωση να «αισθανθεί» περισσότερο «ασφαλής» και να προστατέψει το μυοσκελετικό του σύστημα από πιθανό τραυματισμό. Πέρα από την ενδεχομένη ύπαρξη μιας βουλητικής ή μη στρατηγικής αποφυγής τραυματισμού, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος μπορεί να ευθύνεται και αυτός σε ένα βαθμό για την αυξημένη κάμψη του γόνατος και τη μείωση της επιβάρυνσης του γόνατος 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση. Αντίστοιχη στρατηγική αποφυγής του πόνου μέσω αποφόρτισης της άρθρωσης του γόνατος έχει διαπιστωθεί κατά τη βάρδια μετά την πρόκληση πόνου με πειραματική μέθοδο στο εργαστήριο (Henriksen et al., 2007).

Εκτός από την αυξημένη κάμψη του γόνατος ο MT είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί στατιστικά σημαντικά τόσο στο DJ όσο και στο DL η μέγιστη κάμψη του ισχίου κατά τη φάση απόσβεσης. Από την άλλη πλευρά, σε αντίθεση με τις κινητικές παραμέτρους του γόνατος, οι κινητικές παράμετροι του ισχίου παρέμειναν αμετάβλητες 48 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση (Πίνακας 2). Προηγούμενες μελέτες έχουν τονίσει το σημαντικό ρόλο που διαδραματίζει το ισχίο στον έλεγχο της άρθρωσης του γόνατος σε δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε κλειστή κινητική αλυσίδα (Hewett & Myer, 2011). Επίσης, έχει υποστηριχθεί ότι η συνδυασμένη καμψική δράση των δύο αρθρώσεων περιορίζει σημαντικά τις επιβαρύνσεις που δέχεται ο ΠΧΣ (Pollard, Sigward, & Powers, 2010). Είναι λοιπόν πιθανό η αυξημένη κάμψη του ισχίου σε συνδυασμό με τις αμετάβλητες κινητικές του παραμέτρους 48 ώρες μετά το MT να υποβοηθάει την απόσβεση κατά την έκκεντρη φάση της προσγείωσης, να σταθεροποιεί την άρθρωση του γόνατος και να αποτρέπει έτσι την πρόκληση κάποιου ενδεχόμενου μυοσκελετικού τραυματισμού.

Συμπερασματικά, ο MT που προκαλείται μέσω έκκεντρης άσκησης σε ισοκινητικό δυναμόμετρο δεν οδηγεί σε μεταβολές της εμβιομηχανικής της διποδικής προσγείωσης στο οβελιαίο επίπεδο που συνδέονται με κίνδυνο ρήξης του ΠΧΣ. Ωστόσο, η εμβιομηχανική της προσγείωσης όταν οι ασκούμενοι παρουσιάζουν συμπτώματα MT διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της εξεταζόμενης προσγείωσης και παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή όταν η διποδική προσγείωση συνοδεύεται από επακόλουθο άλμα. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να εμβαθύνουν περισσότερο στους μηχανισμούς που ερμηνεύουν τα παραπάνω ευρήματα χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως η ηλεκτρομυογραφία και η μοντελοποίηση του του μυοσκελετικού συστήματος.

Σημασία για Αθλητισμό

Σε πολλά ομαδικά αθλήματα οι αθλητές καλούνται να αγωνιστούν 2-3 φορές εβδομαδιαίως, ενώ παρουσιάζουν συμπτώματα ΜΤ. Μια πρακτική εφαρμογή της μελέτης θα ήταν ο προπονητής να γνωρίζει πότε και κατά πόσο ο αθλητής του που παρουσιάζει συμπτώματα ΜΤ μπορεί να συμμετέχει με ασφάλεια στις αγωνιστικές του υποχρεώσεις και να προσαρμόζει την προπόνηση ώστε να μειώνονται οι επιβαρύνσεις, να προλαμβάνονται πιθανοί τραυματισμοί και να επιτυγχάνεται η μικρότερη δυνατή απώλεια της απόδοσης. Προτείνεται μέχρι να μειωθούν αισθητά τα συμπτώματα του ΜΤ, ο προπονητής να επιλέγει δοκιμασίες προσγείωσης χωρίς επακόλουθο άλμα και σταδιακά να ενσωματώνει πλειομετρικές ασκήσεις που περιλαμβάνουν τον κύκλο διάτασης βράχυνσης.

Βιβλιογραφία

- Ambegaonkar, J. P., Shultz, S. J., & Perrin, D. H. (2011). A subsequent movement alters lower extremity muscle activity and kinetics in drop jumps vs. drop landings. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2781-2788.
- Barber-Westin, S. D., & Noyes, F. R. (2017). Effect of Fatigue Protocols on Lower Limb Neuromuscular Function and Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Training: A Systematic Review. *American Journal of Sports Medicine*, 45(14), 3388-3396.
- Brockett, C. L., Morgan, D. L., & Proske, U. (2004). Predicting Hamstring Injury in Elite Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 379-387.
- Carling, C., McCall, A., Le Gall, F., & Dupont, G. (2016). The impact of short periods of match congestion on injury risk and patterns in an elite football club. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 764-768.
- Cruz, A., Bell, D., McGrath, M., Blackburn, T., Padua, D., & Herman, D. (2013). The effects of three jump landing tasks on kinetic and kinematic measures: Implications for ACL injury research. *Research in Sports Medicine*, 21(4), 330-342.
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Steadman, J. R. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, 18(7), 662-669.
- Derrick, T. R. (2004). The Effects of Knee Contact Angle on Impact Forces and Accelerations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 832-837.
- DeVita, P., & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 108-115.
- Doma, K., Leicht, A., Sinclair, W., Schumann, M., Damas, F., Burt, D., & Woods, C. (2018). Impact of exercise-induced muscle damage on performance test outcomes in elite female basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1731-1738. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041514560&partnerID=40&md5=ae0b45aaafa138dbf21d995579c11ef1>
- Ehrig, R. M., Taylor, W. R., Duda, G. N., & Heller, M. O. (2006). A survey of formal methods for determining the centre of rotation of ball joints. *Journal of Biomechanics*, 39(15), 2798-2809.
- Ehrig, R. M., Taylor, W. R., Duda, G. N., & Heller, M. O. (2007). A survey of formal methods for determining functional joint axes. *Journal of Biomechanics*, 40(10), 2150-2157.
- Henriksen, M., Alkjær, T., Lund, H., Simonsen, E. B., Graven-Nielsen, T., Danneskiold-Samsøe, B., & Bliddal, H. (2007). Experimental quadriceps muscle pain impairs knee joint control during walking. *Journal of Applied Physiology*, 103(1), 132-139.
- Hewett, T. E., & Myer, G. D. (2011). The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(4), 161-166.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt Jr, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., . . . Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492-501.

- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Paterno, M. V., & Quatman, C. E. (2016). Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools. *J Orthop Res*, 34(11), 1843-1855.
- Kay, A. D., Rubley, B., Talbot, C., Mina, M., Baross, A. W., & Blazeovich, A. J. (2018). Stretch imposed on active muscle elicits positive adaptations in strain risk factors and exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(11), 2299-2309.
- Kellis, E., Zafeiridis, A., & Amiridis, L. G. (2011). Muscle coactivation before and after the impact phase of running following isokinetic fatigue. *Journal of Athletic Training*, 46(1), 11-19. doi:10.4085/1062-6050-46.1.11
- Kristianslund, E., Krosshaug, T., & Van den Bogert, A. J. (2012). Effect of low pass filtering on joint moments from inverse dynamics: Implications for injury prevention. *Journal of Biomechanics*, 45(4), 666-671.
- Lazaridis, S., Patikas, D. A., Bassa, E., Tsatalas, T., Hatzikotoulas, K., Ftikas, C., & Kotzamanidis, C. (2018). The acute effects of an intense stretch-shortening cycle fatigue protocol on the neuromechanical parameters of lower limbs in men and prepubescent boys. *Journal of Sports Sciences*, 36(2), 131-139.
- Leppänen, M., Pasanen, K., Krosshaug, T., Kannus, P., Vasankari, T., Kujala, U. M., . . . Parkkari, J. (2017). Sagittal Plane Hip, Knee, and Ankle Biomechanics and the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury: A Prospective Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 5(12).
- Leppänen, M., Pasanen, K., Kujala, U. M., Vasankari, T., Kannus, P., Äyrämö, S., . . . Parkkari, J. (2017). Stiff Landings Are Associated with Increased ACL Injury Risk in Young Female Basketball and Floorball Players. *American Journal of Sports Medicine*, 45(2), 386-393.
- Mina, M. A., Blazeovich, A. J., Tsatalas, T., Giakas, G., Seitz, L. B., & Kay, A. D. (2019). Variable, but not free-weight, resistance back squat exercise potentiates jump performance following a comprehensive task-specific warm-up. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(3), 380-392.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Gatta, P. A. D., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 559-570.
- Peng, H. T. (2011). Changes in biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2510-2518.
- Pollard, C. D., Sigward, S. M., & Powers, C. M. (2010). Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clinical Biomechanics*, 25(2), 142-146.
- Shimokochi, Y., & Shultz, S. J. (2008). Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*, 43(4), 396-408.
- Spyropoulos, G., Tsatalas, T., Tsaopoulos, D. E., Sideris, V., & Giakas, G. (2013). Biomechanics of sit-to-stand transition after muscle damage. *Gait and Posture*, 38(1), 62-67.
- Tsatalas, T., Giakas, G., Spyropoulos, G., Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Tsaopoulos, D. E., . . . Koutedakis, Y. (2010). The effects of muscle damage on walking biomechanics are speed-dependent. *European Journal of Applied Physiology*, 110(5), 977-988.
- Tsatalas, T., Giakas, G., Spyropoulos, G., Sideris, V., Kotzamanidis, C., & Koutedakis, Y. (2013). Walking kinematics and kinetics following eccentric exercise-induced muscle damage. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(5), 1229-1236.
- Tsatalas, T., Giakas, G., Spyropoulos, G., Sideris, V., Lazaridis, S., Kotzamanidis, C., & Koutedakis, Y. (2013). The effects of eccentric exercise-induced muscle damage on running kinematics at different speeds. *Journal of Sports Sciences*, 31(3), 288-298.

«Η επιστημονική δημοσίευση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της πρόσκλησης «εκδήλωσης ενδιαφέροντος, κατόχων διδακτορικού τίτλου σπουδών, χορήγησης υποτροφίας για εκπόνηση μεταδιδακτορικής έρευνας» του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, η οποία υλοποιείται από το ΠΘ και χρηματοδοτήθηκε από το «Ιδρυμα Σταύρος Νιάρχος».



ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΟΣ ΔΩΡΗΤΗΣ

Υπεύθυνος έκδοσης: Ελληνική Ακαδημία Φυσικής Αγωγής. **Υπεύθυνη συντακτικής επιτροπής:** Όλγα Κούλη. **Επιμελητές έκδοσης:** Θεοδωράκης Γιάννης, Βάσω Ζήση, Βασίλης Γεροδήμος, Αντώνης Χατζηγεωργιάδης, Θανάσης Τσιόκανος, Αθανάσιος Τζιμούρτας, Γιώργος Τζέτζης, Θωμάς Κουρτέσης, Ευάγγελος Αλμπανιδής, Κων/να Δίπλα. **Διαχείριση-επιμέλεια-στοιχειοθεσία:** Ευάγγελος Γαλάνης, Χαράλαμπος Κρομμύδας, Βασίλης Μπούγλας.

Editor -in- Chief: Hellenic Academy of Physical Education. **Head of the editorial board:** Olga Kouli. **Editorial Board:** Theodorakis Giannis, Vaso Zissi, Vasilis Gerodimos, Antonis Chatzigeorgiadis, Thanassis Tsiokanos, Athanasios Jamurtas, Giorgos Tzetzis, Thomas Kourtessis, Evangelos Albanidis, Konstantina Dipla. **Editorial management:** Evangelos Galanis, Haralampos Krommidas, Vasilis Bouglas.