

**Η επίδραση της έκκεντρης άσκησης στην απόδοση και σε
εμβιομηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με
αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση σε άτομα με
χειρουργηθείσα αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού
συνδέσμου**

Ζαρκαδούλα Άρτεμις

Διπλωματική εργασία για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού
τίτλου «Άσκηση και Υγεία: Αξιολόγηση και Συνταγογράφηση» της Σχολής Επιστήμης
Φυσικής Αγωγής, Αθλητισμού και Διατροφολογίας, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και
Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τριμελής Επιτροπή

Δρ. Γιάκας Ιωάννης, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. Π.Θ.

Δρ. Τσαόπουλος Δημήτριος, Ερευνητής ΕΚΕΤΑ

Δρ. Τσαταλάς Θεμιστοκλής, Μέλος Ε.Ε.Π. Τ.Ε.Φ.Α.Α. Π.Θ.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	4
Κατάλογος Σχημάτων	5
Συντομογραφίες	6
Περίληψη	7
Abstract	9
Εισαγωγή	10
Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	13
Έκκεντρη Άσκηση – Ασκησιογενής Μυϊκός Τραυματισμός	13
Δείκτες μυϊκού τραυματισμού	14
Καθυστερημένος μυϊκός πόνος (Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS)	15
Πτώση της Δύναμης	17
Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος του μυϊκού τραυματισμού	18
Τύπος άσκησης	18
Επίπεδο φυσικής κατάστασης και ηλικία	18
Ένταση και Διάρκεια	19
Γωνία της άρθρωσης	19
Κύκλος διάτασης – βράχυνσης	19
Η επίδραση του AMT στην εμβιομηχανική των κατακόρυφων αλμάτων	20
Αξιολόγηση των κατακόρυφων αλμάτων σε άτομα με ρήξη ΠΧΣ	21
Εντοπισμός ασυμμετρίας κάτω άκρων σε άτομα με ρήξη ΠΧΣ στα κατακόρυφα άλματα ..	23
Μεθοδολογία	27
Δείγμα	27
Όργανα μέτρησης	28
Πειραματική διαδικασία	29
Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων	29
Έκκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο	30

Πρωτόκολλο πρόκλησης μυϊκού τραυματισμού.....	31
Δείκτες μυϊκού τραυματισμού.....	32
Πρωτόκολλο κατακόρυφων αλμάτων.....	32
Επεξεργασία δεδομένων οπτικό-ηλεκτρονικού συστήματος	34
Υπολογισμός μεταβλητών με Python και Vicon Procalc	36
Στατιστική Ανάλυση	37
Δείκτες AMT	37
Απόδοση και εμβιομηχανικοί παράμετροι CMJ	38
Απόδοση και εμβιομηχανικοί παράμετροι CMJ χειρουργημένου και υγιούς κάτω άκρου	38
Αποτελέσματα	40
Δείκτες AMT.....	40
Απόδοση στο CMJ και διποδικές εμβιομηχανικές παράμετροι.....	40
Απόδοση στο CMJ και μονοποδικές εμβιομηχανικές παράμετροι χειρουργημένου και υγιούς κάτω άκρου	42
Συζήτηση.....	45
Περιορισμοί.....	47
Συμπεράσματα	48
Μελλοντικές έρευνες	48
Βιβλιογραφία.....	49
Παραρτήματα	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: Έγκριση Επιτροπής Δεοντολογίας ΤΕΦΑΑ ΠΘ.....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Έντυπο συναίνεσής συμμετεχόντων στη μελέτη	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: Ιατρικό ερωτηματολόγιο συμμετεχόντων στη μελέτη.....	64

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) $\pm$ τυπικές αποκλίσεις (Τ.Α.) των ηλικιακών και ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων.

Πίνακας 2. Εξεταζόμενοι δείκτες του μυϊκού τραυματισμού (AMT).

Πίνακας 3. Εξεταζόμενες δυναμικές και κινηματικές παράμετροι.

Πίνακας 4. Επίδραση της έκκεντρης άσκησης στους δείκτες του μυϊκού τραυματισμού (AMT). Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπικές αποκλίσεις.

Πίνακας 5. Απόδοση και διποδικές δυναμικές παράμετροι κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση του μυϊκού τραυματισμού (AMT). Για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι (Μ.Ο.) $\pm$ τυπικές αποκλίσεις (Τ.Α.) και η τιμή του δείκτη $t(df)$.

Πίνακας 6. Μονοποδικές δυναμικές παράμετροι κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση του μυϊκού τραυματισμού (AMT). Για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται οι Μ.Ο. $\pm$ Τ.Α. και οι τιμές F της ανάλυσης διακύμανσης.

Πίνακας 7. Κινηματικές και κινητικές παράμετροι του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση μυϊκού τραυματισμού. Για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι $\pm$ τυπικές αποκλίσεις και οι τιμές F της ανάλυσης διακύμανσης.

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. (α) Τρισδιάστατα δυναμοδάπεδα Bertec 4060-15, (β) Κάμερες συστήματος Vicon T-series.

Σχήμα 2. Τοποθέτηση ανακλαστήρων.

Σχήμα 3. Καταγραφή και επεξεργασία στατικής προσπάθειας.

Σχήμα 4. Καταγραφή και επεξεργασία δυναμικών λειτουργικών προσπαθειών, για τον προσδιορισμό του κέντρου των αρθρώσεων και των αξόνων περιστροφής.

Σχήμα 5. Απεικόνιση εκτέλεσης κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ).

Σχήμα 6. Απεικόνιση σημάτων κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ) με τη χρήση του κώδικα της Python.

Συντομογραφίες

Anterior cruciate ligament reconstruction: ACLR

Exercise-induced muscle damage: EIMD

Ground Reaction Force: GRF

Rate of Force Development: RFD

Squat Jump: SJ

Stretch-shortening cycle: SSC

Ασκησιογενής μυϊκός τραυματισμός: AMT

Καθυστερημένος μυϊκός πόνος – Delayed onset muscle soreness: DOMS

Κατακόρυφη δύναμη εδάφους: VGRF

Κατακόρυφη Δύναμη τη στιγμή που η ισχύς είναι μέγιστη: GRF value at the index of peak power

Κατακόρυφο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση – Counter-movement jump: CMJ

Μέγιστη ισομετρική ροπή εκτεινόντων γόνατος: MIP

Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη εδάφους: μέγιστη VGRF (peak VGRF)

Πρόσθιος Χιαστός Σύνδεσμος: ΠΧΣ

Φαινόμενο επαναλαμβανόμενης άσκησης – Repeated bout effect: RBE

Περίληψη

Ζαρκαδούλα Άρτεμις: Η επίδραση της έκκεντρης άσκησης στην απόδοση και σε εμβιομηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν να μελετηθεί η επίδραση του ασκησιογενούς μυϊκού τραυματισμού (AMT) σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ) σε επιλεγμένες διποδικές/μονοποδικές εμβιομηχανικές παραμέτρους και στην επακόλουθη απόδοση. Η έρευνα ολοκληρώθηκε από 12 άνδρες [ηλικίας 23 ± 3 ; ύψους 1.83 ± 5 ; βάρους 76 ± 7] με εμπειρία στην έκκεντρη προπόνηση και τα κατακόρυφα άλματα, που είχαν χειρουργηθεί τουλάχιστον 17 ± 7 μήνες πριν με μόσχευμα είτε επιγονατιδικού τένοντα είτε οπίσθιων μηριαίων. Όλοι τους συμμετείχαν σε 4 συνεδρίες. Στην 1^η συνεδρία (72 ώρες πριν) εξοικειώθηκαν με το πειραματικό πρωτόκολλο, στη 2^η (24 ώρες πριν) αξιολογήθηκαν στα CMJs, στην 3^η (0 ώρες) εφαρμόστηκε το πρωτόκολλο πρόκλησης AMT και στην 4^η (48 ώρες μετά) έγινε η επαναξιολόγηση των CMJs. Χρησιμοποιήθηκαν t-test για ανεξάρτητα δείγματα για τους δείκτες AMT καθώς και για επιλεγμένες διποδικές εμβιομηχανικές παραμέτρους και δείκτες απόδοσης στα CMJs. Επίσης, εφαρμόστηκαν αναλύσεις διακύμανσης με επαναλαμβανόμενους μετρήσεις (2 κάτω άκρα: χειρουργημένο & υγιές $\times$ 2 χρονικές στιγμές μέτρησης: πριν & 48 ώρες μετά). Διερευνήθηκαν τα εξής: η μέγιστη ισομετρική ροπή εκτεινόντων του γόνατος – MIP, ο καθυστερημένος μυϊκός πόνος – DOMS, το μέγιστο ύψος άλματος, η ώθηση, η μέγιστη κατακόρυφη δύναμη του εδάφους – μέγιστη VGRF, η μέγιστη ισχύς, η κατακόρυφη δύναμη του εδάφους τη στιγμή επίτευξης της μέγιστης ισχύος – VGRF κατά τη μέγιστη ισχύ, ο μέγιστος κι ο μέσος ρυθμός ανάπτυξης της δύναμης στα 20 ms, η μέγιστη γωνία, ροπή και ισχύς και για τις τρεις αρθρώσεις, του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής. Οι επιμέρους αλληλεπιδράσεις μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας post-hoc ανάλυση με τη διόρθωση Bonferroni. Στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε στους δείκτες AMT 48 ώρες μετά με μείωση στη MIP και αύξηση στον DOMS. Επίσης, παρουσιάστηκε πτώση στις παραμέτρους ύψος άλματος, ώθηση, μέγιστη VGRF και μέγιστη ισχύς. Δεν υπήρξε καμία αλληλεπίδραση για τις μονοποδικές παραμέτρους. Ωστόσο, κύρια επίδραση προέκυψε για τον παράγοντα του χρόνου, καθώς η ώθηση και η μέγιστη ισχύς μειώθηκαν 48 ώρες μετά την πρόκληση AMT. Επίσης, κύρια επίδραση εμφανίστηκε στον παράγοντα κάτω άκρα για τις παραμέτρους: ώθηση, μέγιστη VGRF, μέγιστη ισχύς, VGRF κατά

τη μέγιστη ισχύ, γωνία κάμψης γόνατος και ποδοκνημικής, μέγιστη ροπή γόνατος. Τα ευρήματα αυτά μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για τους προπονητές καθώς και τους επαγγελματίες της άσκησης και της υγείας στην ανάπτυξη προπονητικών πρωτοκόλλων για την πρόληψη και αποκατάσταση του ΠΧΣ, αλλά και τη διατήρηση της αθλητικής απόδοσης σε υψηλά επίπεδα.

Λέξεις-κλειδιά: έγκεντρη άσκηση, AMT, ΠΧΣ, κατακόρυφη αλτικότητα, αθλητική απόδοση

Abstract

Zarkadoula Artemis: The effect of eccentric exercise on performance and biomechanical parameters during counter-movement jump following anterior cruciate ligament reconstruction

The purpose of the present study was to investigate the effect of exercise induced muscle damage – EIMD on selected bilateral/unilateral biomechanical parameters and on subsequent counter-movement jump performance after anterior cruciate ligament reconstruction - ACLR. Twelve men [age 23 ± 3 ; height 1.83 ± 5 ; weight 76 ± 7] experienced in eccentric training and vertical jumps, who had undergone ACLR at least 17 ± 7 months prior with either patellar tendon or hamstring graft, completed the study. All participated in 4 sessions. In the 1st session (72 hours before), they familiarized with the experimental procedures, in the 2nd (24 hours before) they were evaluated in CMJs, in the 3rd (0 hours) the EIMD protocol was applied, and in the 4th (48 hours later) the CMJs reassessment was performed. Paired sample t-tests were used for EIMD indicators, selected bilateral biomechanical parameters and CMJ performance. Additionally, repeated measures ANOVA were applied (2 lower limbs: ACLR & healthy $\times$ 2 time points of measurement: before & 48 hours after). The following were investigated: peak isometric knee extension torque (MIT), delayed-onset muscle soreness (DOMS), peak jump height, impulse, peak vertical ground reaction force (VGRF), peak power, vertical ground reaction force at peak power achievement - VGRF at peak power, peak and average rate of force development at 20 ms (RFD), peak angle, moment, and power for the lower body joints (hip, knee, and ankle). Post-hoc analysis with Bonferroni correction was used to examine interactions. A statistically significant difference was observed in EIMD indicators 48 hours later with a decrease in MIT and an increase in DOMS. Moreover, a decrease was noted in jump height, impulse, peak VGRF, and peak power. No interaction was found regarding the examined unilateral parameters. However, a main effect emerged for time where impulse and peak power decreased. Also, a main effect was evident for the lower limb factor for parameters: impulse, peak VGRF, peak power, VGRF at peak power, knee flexion angle, ankle dorsiflexion and peak knee torque. These findings can be useful for strength and conditioning coaches in developing training protocols for the prevention and rehabilitation of ACL injuries, as well as for maintaining athletic performance at high levels.

Key-Words: eccentric exercise, EIMD, ACLR, vertical jumping, athletic performance

Εισαγωγή

Ο ΠΧΣ παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον περιορισμό της πρόσθιας μετατόπισης της κνήμης σε σχέση με το μηρό, στην αποφυγή υπερκείμενων περιστροφικών κινήσεων του γόνατος και στη σταθερότητα της άρθρωσης του γόνατος κατά την εκτέλεση διαφόρων κινήσεων. Η ρήξη του ΠΧΣ αναδεικνύεται ως ένας από τους πιο συχνούς τραυματισμούς σε αθλητικές δραστηριότητες που χαρακτηρίζονται από μεγάλη πυκνότητα κατακόρυφων αλμάτων, συνοδευόμενων από απότομες προσγειώσεις και αλλαγές κατευθύνσεων. Συνήθως, η ρήξη προκαλείται από βίαιη ή ξαφνική στροφική κίνηση του μηρού επάνω στην κνήμη, με την ποδοκνημική σταθερή/κολλημένη στο έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου το 70-80% των περιπτώσεων ρήξης ΠΧΣ δεν είναι αποτέλεσμα επαφής μέσα στο γήπεδο, αλλά κακής/λανθασμένης προσγείωσης ύστερα από κάποιο άλμα ή/και επαναλαμβανόμενα άλματα ή απότομης αλλαγής κατεύθυνσης με εσφαλμένη τεχνική – τοποθέτηση σώματος (Barber-Westin & Noyes, 2017; Draganidis et al., 2015; Renstrom et al., 2008).

Η ρήξη του ΠΧΣ εμφανίζεται όλο και πιο συχνά στους αθλούμενους και φαίνεται μάλιστα να συνοδεύεται με υψηλό οικονομικό αντίκτυπο στην κοινωνία και στο σύστημα υγείας. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, κάθε χρόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής (ΗΠΑ) σημειώνονται περίπου 250.000 περιστατικά τραυματισμού του ΠΧΣ (Lyman et al., 2009). Τα αριθμητικά αυτά δεδομένα υποδηλώνουν τη σοβαρότητα του προβλήματος με το οποίο έρχονται αντιμέτωποι οι ασθενείς. Το υψηλό κόστος δεν αφορά αποκλειστικά τη χειρουργηθείσα αποκατάσταση των ασθενών, αλλά και το γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό 20-35% φαίνεται πως επανατραυματίζει τον ΠΧΣ, υπενθυμίζοντας ότι η πρόληψη είναι αναγκαία. Δεδομένου ότι οι περισσότεροι αθλητές που παρουσιάζουν ρήξη του ΠΧΣ και χειρουργούνται είναι κάτω των 30 ετών, η ανάπτυξη οστεοαρθρίτιδας είναι μη αποτρέψιμη και πρόωρη, ακόμα και 10 χρόνια μετά την πρόκληση του πρώτου τραυματισμού (Harris et al., 2017; Friel & Chu, 2013). Επομένως, ο οικονομικός αντίκτυπος επιβεβαιώνει την ανάγκη εφαρμογής αποτελεσματικών πρακτικών αποκατάστασης, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η οικονομική επιβάρυνση και να βελτιωθεί η υγεία και ποιότητα ζωής των ασθενών. Επιπλέον, η όσο το δυνατόν πιο σύντομη επιστροφή των αθλητών στις προπονήσεις και τις αγωνιστικές συνθήκες παράλληλα με τη διατήρηση της απόδοσης σε υψηλά επίπεδα και την αποφυγή επανατραυματισμού κρίνεται αναγκαία (Wiggins et al., 2016). Στη βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος «Return to play» δηλαδή η επιτυχής επανένταξη των αθλητών ύστερα από τη ρήξη και αποκατάσταση του ΠΧΣ στις

αγωνιστικές υποχρεώσεις στο ίδιο επίπεδο δεξιοτήτων και ανταγωνιστικότητας που είχαν πριν τον τραυματισμό (Bouton et al., 2015; Figueroa et al., 2020).

Η αξιολόγηση της αθλητικής απόδοσης είναι αναπόσπαστο στοιχείο της προετοιμασίας ενός αθλητή είτε πρόκειται για επαγγελματία είτε για ερασιτέχνη και πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής διαφόρων τεστ. Αφορά τόσο τους προπονητές για τη βελτίωση της φυσικής κατάστασης των αθλητών τους, όσο και τους φυσικοθεραπευτές, ιατρούς, προπονητές που στοχεύουν στην αξιολόγηση, αποκατάσταση και επαναξιολόγηση των αθλητών που έχουν υποστεί τραυματισμό σε κάποιο άκρο τους. Ένα από τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενο τεστ αξιολόγησης της αθλητικής απόδοσης αποτελεί το κατακόρυφο άλμα με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση – CMJ. Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου άλματος έγκειται στο γεγονός ότι πέρα από την αξιολόγηση της αλτικής ικανότητας αποτελεί τον καλύτερο τρόπο έκφρασης της μηχανικής ενέργειας/ισχύος των κάτω άκρων, στοιχείο απαραίτητο για κάθε αθλητή (ποδοσφαίρου, καλαθοσφαίρισης, πετοσφαίρισης, αλμάτων) (Minas et al., 2019; McCullough et al., 2012). Τα κατακόρυφα άλματα ακολουθούνται συνήθως από μία προσγείωση ή/και από απότομες/εκρηκτικές αλλαγές κατεύθυνσης κατά τη διάρκεια μίας προπόνησης ή μίας αγωνιστικής συνθήκης. Οι αθλητές, αναλόγως τη συνθήκη, οφείλουν να αναγνωρίζουν την κατάλληλη κίνηση που πρέπει να εκτελέσουν ύστερα από ένα κατακόρυφο άλμα, για να είναι αποτελεσματικοί. Μέσω συστηματικής προπόνησης, αποκτούν εμπειρία στη σωστή τεχνική εκτέλεση των κινήσεων, μεταβάλλοντας την κινητική τους κατάσταση μέσω προσαρμογής του κέντρου μάζας του σώματος. Το γεγονός αυτό μπορεί να ασκήσει μεγάλες δυνάμεις στο σώμα, με αποτέλεσμα να υποκινήσει σε τραυματισμό του ΠΧΣ. Έτσι, η σωστή ανταπόκριση στις αυξημένες αθλητικές απαιτήσεις αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για τις μηχανικές αποκρίσεις του μυοσκελετικού συστήματος που φέρουν στους αθλητές.

Ένα αρκετά σημαντικό ζήτημα, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί ο επανατραυματισμός του ΠΧΣ τόσο στο χειρουργημένο όσο και η εμφάνιση νέου τραυματισμού στο υγιές άκρο, εξαιτίας της ανεπαρκούς αποκατάστασης που πραγματοποιήθηκε ύστερα από το σοβαρό χειρουργείο (Arderin et al., 2014). Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η προσεκτική διερεύνηση των υπεύθυνων παραγόντων, όπως η εμβιομηχανική του κατακόρυφου άλματος, η ακόλουθη προσγείωση και η ασυμμετρία που παρατηρείται στα κάτω άκρα μετά από τον τραυματισμό σε διάφορες περιόδους (προπόνησης, αγώνων, μυϊκού τραυματισμού – φλεγμονής). Η εμβιομηχανική του κατακόρυφου άλματος επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, όπως είναι το φύλο, η ηλικία, η προπονητική κατάσταση, η τυχόν προ-

υπάρχουσα κόπωση και το ύψος του άλματος και η επιφάνεια προσγείωσης (Barber-Westin & Noyes, 2017; Lazaridis et al., 2018; Moir, 2015; Taylor et al., 2016; Weinhandl et al., 2015). Ωστόσο, μία παράμετρος που δεν έχει διερευνηθεί ακόμα είναι η επίδραση της έκκεντρης άσκησης και του επακόλουθου AMT στην απόδοση και στα εμβιομηχανικά χαρακτηριστικά (κινηματικά/κινητικά) του CMJ σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ. Από τη βιβλιογραφία προκύπτει σαφώς ότι η εκτέλεση ασυνήθιστης άσκησης υψηλής έντασης ή μεγάλης διάρκειας μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απόδοση και σε δυσλειτουργία μυών. Όταν η μυϊκή λειτουργία δεν αποκατασταθεί στη φυσιολογική της κατάσταση εντός σύντομου χρονικού διαστήματος, αυτό το φαινόμενο περιγράφεται ως κόπωση (Gandevia, 2001).

Η κόπωση μπορεί να είναι είτε οξεία (< 3 ώρες), είτε καθυστερημένη (48-96 ώρες μετά) (Silva et al., 2018). Στη δεύτερη περίπτωση, ο κοινός όρος που χρησιμοποιείται στην επιστημονική κοινότητα είναι ο AMT, με τον οποίο προκαλείται παρατεταμένη μυϊκή δυσλειτουργία και ως εκ τούτου σημαντικές δομικές αλλαγές/αλλοιώσεις στο μυ προκαλώντας το γνωστό DOMS (Allen et al., 2005; Barber-Westin & Noyes, 2017; Hody et al., 2013; Proske & Morgan, 2001). Είναι σαφές ότι 48-96 ώρες μετά από ένα παιχνίδι/αγώνα η ποσότητα και η πυκνότητα των έκκεντρων μυϊκών δράσεων με σύντομο διάλειμμα ανάκαμψης οδηγεί σε μυϊκό τραυματισμό προκαλώντας αλλαγές στο μυ (Peake, 2017). Κάποια κοινά συμπτώματα της καθυστερημένης κόπωσης που περιγράφονται στη βιβλιογραφία αποτελούν η πτώση της δύναμης, η αύξηση ορισμένων πρωτεϊνών στο αίμα με πιο κοινή την κρεατινική κινάση, η παρουσία του DOMS και το μειωμένο εύρος κίνησης (Armstrong, 1990; Clarkson & Hubal, 2002; Silva et al., 2018). Το ερώτημα που τίθεται είναι πως θα επηρεαστεί η εμβιομηχανική και η απόδοση του CMJ σε άτομα που έχουν υποστεί ρήξη ΠΧΣ σε συνθήκες πρόκλησης AMT.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας έρευνας ήταν να μελετηθούν διεξοδικά οι επιδράσεις που προκύπτουν στην απόδοση και τα εμβιομηχανικά χαρακτηριστικά του CMJ σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ, ύστερα από επαναλαμβανόμενες έκκεντρες μυϊκές δράσεις και πρόκληση AMT. Η ερευνητική υπόθεση που τέθηκε ήταν ότι ο AMT θα οδηγήσει σε μεταβολή των διποδικών/μονοποδικών εμβιομηχανικών παραμέτρων και της απόδοσης του CMJ.

Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Έκκεντρη Άσκηση – Ασκησιογενής Μυϊκός Τραυματισμός

Αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζεται εκτενώς στη βιβλιογραφία όσον αφορά τη χρήση της έκκεντρης μυϊκής δράσης στον τομέα της αποκατάστασης και σε διάφορους κλινικούς σκοπούς (Hody et al., 2019). Παρόλα αυτά η εκτέλεση μίας ασυνήθιστης άσκησης, υψηλής έντασης ή/και μεγάλης διάρκειας με επαναλαμβανόμενες έκκεντρες μυϊκές δράσεις είναι γνωστό ότι προκαλεί μυϊκή βλάβη και ως εκ τούτου DOMS (Barber-Westin & Noyes, 2017; Cordeiro et al., 2017). Ως έκκεντρη μυϊκή δράση χαρακτηρίζεται η φάση κατά την οποία το σύστημα μυός – τενόντων επιμηκύνεται, καθώς η δύναμη που εφαρμόζεται στο μυ υπερβαίνει τη στιγμιαία δύναμη που παράγεται από τον ίδιο το μυ (Lindstedt et al., 2001). Από το 1990 μάλιστα οι Hortobagyi και Katch αναφέρουν ότι μεγαλύτερες δυνάμεις εμφανίζονται κατά την έκκεντρη φάση συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη φάση (σύγκεντρη, ισομετρική) της μυϊκής δράσης σε όλες τις γωνίες κίνησης των αρθρώσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν εφαρμόζονται συνεχόμενα χωρίς διάλειμμα έκκεντρες δράσεις να επιβαρύνεται αρκετά το μυοσκελετικό και μυοτενόντιο σύστημα.

Όταν ο μυς εκτελεί έκκεντρες μυϊκές δράσεις εφαρμόζοντας μεγάλη δύναμη, τότε επιμηκύνεται απότομα, προκαλώντας τάση σε ορισμένες μυϊκές ίνες, οι οποίες υποχρεούνται να εργαστούν και παράλληλα να υποστηρίζουν κι άλλες λειτουργίες, όπως η παραγωγή ενέργειας. Κάτι τέτοιο δημιουργεί μεγαλύτερη τάση και μηχανική φόρτιση σε σύγκριση με άλλες φάσεις της κίνησης και ως εκ τούτου καταπόνηση στις σχετικές δομές και εμφάνιση εστιακών μικροβλαβών στις μυϊκές ίνες (Friden & Lieber, 1998). Ο Hough (1902) ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε με τον AMT και περιέγραψε τον DOMS, έναν από τους κλασικούς δείκτες μυϊκού τραυματισμού που αξιολογούνται. Αρκετά χρόνια αργότερα εμφανίστηκε η πρώτη απόδειξη του AMT από τον Fridén και τους συνεργάτες του (1981), οι οποίοι εφάρμοσαν ένα πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης (κατέβασμα σκαλοπατιών). Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν καταστροφή των μυοϊνιδίων και αποδιοργάνωση των γραμμών Z στον υποκνημίδιο μυ που εφαρμόστηκε το πρωτόκολλο. Πολλές ιστολογικές μελέτες περιγράφουν τη δομή των γραμμών Z με αποδιοργάνωση και νέκρωση των μυοϊνιδίων μετά από έντονη ή/και ασυνήθιστη έκκεντρη άσκηση (Friden & Lieber, 1998; Crameri et al, 2007; Lauritzen et al., 2009). Μάλιστα, σημαντικές μορφολογικές ανωμαλίες παρατηρούνται αμέσως μετά την εφαρμογή παρόμοιων πρωτοκόλλων, επεκτείνονται σταδιακά σε μεγαλύτερο αριθμό μυϊκών ινών και φαίνεται να επιδεινώνονται 2-3 ημέρες μετά την άσκηση (Friden et al., 1983). Σε μία άλλη έρευνα αρκετά αργότερα του Byrne και

των συνεργατών του (2004) εξηγείται ότι η υψηλότερη ευαισθησία των μυϊκών ινών τύπου II που παρατηρείται μετά την έκκεντρη άσκηση είναι αποτέλεσμα διαφορών στη δομική σύσταση. Κάποιες από αυτές μπορεί να είναι οι δομικές αλλαγές των γραμμών Z και άλλων πρωτεϊνών, η χαμηλή λειτουργικότητα των αποθηκών ασβεστίου ή ακόμα και επιλεκτική στρατολόγηση μυϊκών ινών τύπου II. Οι Morgan και Allen (1999) αναφέρουν ότι οι περισσότερες ενδείξεις δομικών διαφορών εντοπίζονται κυρίως σε αποδιοργανωμένα, ή/και υπερδιατεταμένα σαρκομέρια και αποδιοργανωμένη σχέση μεταξύ ακτίνης-μυοσίνης.

Στο πλαίσιο αυτής της ενότητας, θα παρουσιαστεί μια συνοπτική επισκόπηση των βασικών πτυχών του AMT που σχετίζονται με την έκκεντρη άσκηση. Ειδικότερα, η έκκεντρη άσκηση μπορεί να επηρεάσει τη δυναμική σχέση μεταξύ των κάτω άκρων, δηλαδή τον τρόπο που αλληλοεπιδρούν οι μύες, οι τένοντες και οι αρθρώσεις κατά την εκτέλεση ενός κατακόρυφου άλματος. Οι δομικές αλλαγές που συμβαίνουν στον μυ μπορούν να έχουν επιδράσεις στη συνεργασία μυών, στην απόδοση και στον κίνδυνο τραυματισμού κατά την άσκηση. Η κατανόηση αυτών των πτυχών AMT που έχουν συσχετιστεί με την έκκεντρη άσκηση θα βοηθήσει στην καλύτερη αντίληψη των επιπτώσεων που φέρει στην εμβιομηχανική του άλματος και τη σχέση μεταξύ των κάτω άκρων (χειρουργημένο και υγιές).

Δείκτες μυϊκού τραυματισμού

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στις διάφορες έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και τον προσδιορισμό του AMT άμεσοι κι έμμεσοι δείκτες ύστερα από την εφαρμογή ενός πρωτόκολλου άσκησης. Οι άμεσοι δείκτες περιλαμβάνουν τη μυϊκή βιοψία, καθώς και απεικονιστικές μεθόδους, όπως η μαγνητική τομογραφία, για τον άμεσο εντοπισμό του μυϊκού τραυματισμού (Bloomer, 2007; Clarkson & Hubal, 2002). Παρ' όλα αυτά, το υψηλό κόστος και οι μεθοδολογικές προκλήσεις που παρουσιάζουν αυτές οι μέθοδοι καθιστούν τη χρήση έμμεσων δεικτών πιο δημοφιλή. Συγκεκριμένα, οι έμμεσοι δείκτες περιλαμβάνουν το DOMS, τη μειωμένη παραγωγή δύναμης, το μειωμένο εύρος κίνησης, την αυξημένη παραγωγή πρωτεϊνών στο αίμα, όπως αυτή της κρεατινικής κινάσης (Bloomer, 2007; Byrne et al., 2004; Clarkson & Hubal, 2002). Σύμφωνα μάλιστα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση των Warren και των συνεργατών του (1999), οι δείκτες DOMS, μειωμένη δύναμη και επίπεδα μυϊκών πρωτεϊνών στο αίμα είναι από τους πιο δημοφιλείς δείκτες που χρησιμοποιούνται εκτενώς στην επιστημονική κοινότητα.

Καθυστερημένος μυϊκός πόνος (Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS)

Η έκκεντρη άσκηση είναι γνωστό ότι προκαλεί μυϊκή βλάβη και DOMS, γεγονός που οδήγησε τους ερευνητές στο ενδιαφέρον να εξετάσουν κατά πόσο ο μυϊκός πόνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη προσδιορισμού του μεγέθους της βλάβης. Η καθυστερημένη έναρξη του μυϊκού πόνου αποτελεί έναν από τους έμμεσους δείκτες μυϊκού τραυματισμού όπως προαναφέρθηκε και εμφανίζεται ύστερα από μια χρονική περίοδο μετά την άσκηση, συχνά συνδεδεμένη με τη μυϊκή φλεγμονή και την καταστροφή των ινών (Clarkson & Hubal, 2002; Friden et al., 1981; Warren et al., 1999). Το DOMS χαρακτηρίζεται από μυϊκό πόνο, ακαμψία/σκληρότητα «stiffness», μείωση στο εύρος κίνησης και ευαισθησία, που συνήθως κορυφώνεται 48 έως 96 ώρες μετά την άσκηση (Armstrong, 1990; Damas et al., 2016; Safran et al., 1989). Παρόλο που οι ακριβείς μηχανισμοί που διέπουν το DOMS δεν είναι πλήρως κατανοητοί, έχουν προταθεί αρκετές θεωρίες. Η βιβλιογραφία περιέχει πλήθος μελετών που εξετάζουν τη σχέση μεταξύ της έκκεντρης άσκησης, του DOMS και του μυϊκού τραυματισμού, καθώς και τις ανάλογες θεωρίες, ορισμένες από τις οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια.

Μια θεωρία προτείνει ότι ο DOMS προκαλείται κυρίως από μικροσκοπική βλάβη στις μυϊκές ίνες και τους συνδετικούς ιστούς. Κατά τη διάρκεια της έκκεντρης άσκησης, όταν ο μυς επιμηκύνεται ενώ βρίσκεται υπό τάση, υπάρχει αυξημένη μηχανική καταπόνηση στις μυϊκές ίνες. Αυτό το στρες μπορεί να οδηγήσει σε δομική βλάβη και διάσπαση του μυϊκού ιστού, πυροδοτώντας μια φλεγμονώδη απόκριση. Ακόμη, οι κατεστραμμένες μυϊκές ίνες απελευθερώνουν προσταγλανδίνες και άλλες κυτοκίνες, υπεύθυνες για την αίσθηση του πόνου και την έναρξη της φλεγμονής για διάρκεια (Paulsen et al., 2012). Η φλεγμονή μπορεί να προκαλέσει την καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος στην κατεστραμμένη περιοχή, οδηγώντας έτσι σε μια περαιτέρω βλάβη των ιστών και σε απελευθέρωση πρόσθετων φλεγμονωδών μορίων. Σε μια άλλη θεωρία αναφέρεται ότι ο DOMS μπορεί να σχετίζεται με αλλαγές στην ομοιόσταση του ασβεστίου, στο οξειδωτικό στρες και στην παραγωγή αντιδραστικών ειδών οξυγόνου και άρα εξίσου σε εμφάνιση φλεγμονής/βλάβης (Cheung et al., 2003; Clarkson & Hubal, 2002; Warren et al., 1999).

Στην έρευνα του Nosaka και των συνεργατών του (2002) εξετάστηκε η σχέση μεταξύ του DOMS και του μεγέθους της μυϊκής βλάβης που προκαλείται από την έκκεντρη άσκηση. Ειδικότερα, οι αθλητές υποβλήθηκαν σε ένα πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης, ώστε να προκληθεί AMT και στη συνέχεια, μετρήθηκαν τα επίπεδα του DOMS, η μυϊκή ισχύς, η ευαισθησία στην πίεση και η περιφερική κυκλοφορία πριν, κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά την άσκηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα επίπεδα του DOMS δεν συνδέονται απευθείας

με το μέγεθος της μυϊκής βλάβης. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η μυϊκή ισχύς μειώνεται και η ευαισθησία στην πίεση αυξάνεται μετά την άσκηση, χωρίς απαραίτητα να έχουν σχέση με το επίπεδο του DOMS, πράγμα που αποδεικνύει πως δεν αποτελεί ιδιαίτερα αξιόπιστο δείκτη. Σε μια δεύτερη μελέτη του Byrne και των συνεργατών του (2004) εξετάστηκαν οι αλλαγές στα επίπεδα μυϊκών φλεγμονών και ειδικότερα της κρεατινικής κινάσης και η εμφάνιση του DOMS ύστερα από ένα έκκεντρο πρωτόκολλο. Βρέθηκε ότι υπήρξε σημαντική αύξηση των επιπέδων της κρεατινικής κινάσης, το οποίο συνδέεται με τη φλεγμονή, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάστηκε συσχέτιση μεταξύ αυτής της αύξησης και της έντασης του DOMS (Byrne et al., 2004).

Σε αρκετά άρθρα όπως αυτά των Black και McCully (2008), Howatson, Van Someren και Hortobágyi (2007) και του Hylldahl και των συνεργατών του (2007) διερευνήθηκαν οι επιδράσεις του φαινομένου της "επαναλαμβανόμενης άσκησης" (repeated bout effect – RBE) ύστερα από μέγιστες έκκεντρες δράσεις. Σύμφωνα με αυτό το φαινόμενο παρατηρείται προσαρμογή του μυός μετά από την πρώτη εφαρμογή έκκεντρης άσκησης, προκειμένου να παρέχεται προστασία στο μυ, μειώνοντας το μέγεθος του AMT κατά την επόμενη εκτέλεση της έκκεντρης άσκησης. Στη μελέτη του Howatson και των συνεργατών του (2007) παρατηρήθηκε μείωση της φλεγμονής και του DOMS, ύστερα από επαναλαμβανόμενη έκκεντρη άσκηση και ως εκ τούτου προστασία του μυ από τραυματισμούς, όπως θλάσεις, και ριζείς συνδέσμων. Τα αποτελέσματα της μελέτης αναφορικά με τη μυϊκή ισχύ υποδεικνύουν ότι η έκκεντρη άσκηση προκάλεσε αρχικά μείωση αυτής. Ωστόσο, η επανάληψη της συγκεκριμένης άσκησης φάνηκε να οδηγεί σε προσαρμογή του μυϊκού συστήματος, με αποτέλεσμα την αύξηση της μυϊκής ισχύος μακροπρόθεσμα. Συνεπώς, τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η μυϊκή ισχύς ανακάμπτει και ενδεχομένως αυξάνεται μετά την προσαρμογή σε επαναλαμβανόμενες έκκεντρες μυϊκές δράσεις. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι οι αθλητές που υποβλήθηκαν σε περισσότερες μέγιστες έκκεντρες δράσεις εμφάνισαν μεγαλύτερη αρχική φλεγμονή. Έτσι αναγνωρίστηκαν δύο φάσεις AMT: α) ο πρωτεύων τραυματισμός, ο οποίος πραγματοποιείται αμέσως με την εφαρμογή των έκκεντρων συσπάσεων και β) ο δευτερεύων, ο οποίος χαρακτηρίζεται από την πρόκληση αυξημένης φλεγμονής/βλάβης. Το μέγεθος του αποτελέσματος του RBE παρουσιάζει πτώση από 4 έως 12 εβδομάδες αργότερα (Nosaka, Newton, Sacco, Chapman, & Lavender, 2005). Αυτή η προσαρμογή οφείλεται πιθανά σε διάφορους μηχανισμούς, όπως η αύξηση της δυνατότητας των μυών να απορροφούν ενέργεια, η ενίσχυση των δομικών πρωτεϊνών και η αύξηση της αντοχής των μυϊκών ινών (McHugh, 2003; Hylldahl et al., 2017). Η επαναλαμβανόμενη άσκηση

ενεργοποιεί μηχανισμούς προσαρμογής του μυός, προετοιμάζοντάς τον για μελλοντικές προκλήσεις και μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμού.

Σύμφωνα λοιπόν με τις παραπάνω μελέτες σε συνδυασμό με αυτή του Close και των συνεργατών του (2005) το μέγεθος του DOMS δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ως απόλυτος δείκτης του μεγέθους του AMT. Παρόλο που η ένταση και η διάρκεια του DOMS μπορεί να παρέχουν ορισμένες ενδείξεις για τη φύση του μυϊκού τραυματισμού, δεν υπάρχει απόλυτη αντιστοιχία μεταξύ του μεγέθους της μυϊκής βλάβης και του μεγέθους του DOMS. Η χρονική αλληλουχία εμφάνισης και εξαφάνισης του DOMS διαφέρει από την αντίστοιχη χρονική αλληλουχία του μυϊκού τραυματισμού και της διαταραχής της μυϊκής λειτουργίας. Αν και ο πόνος και η δυσφορία του DOMS μπορεί να είναι έντονα, η αποκατάσταση της μυϊκής λειτουργίας μπορεί να απαιτεί περισσότερο χρόνο από την εξαφάνιση των συμπτωμάτων του DOMS. Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο DOMS είναι μια φυσιολογική απόκριση σε ασυνήθιστη ή/και έντονη άσκηση και γενικά αποτελεί μέρος της διαδικασίας προσαρμογής των μυών. Αυτό σημαίνει ότι δεν υποδηλώνει απαραίτητα την παρουσία σοβαρού μυϊκού τραυματισμού. Η σοβαρότητα και η διάρκεια των συμπτωμάτων του DOMS μπορεί να ποικίλλει με βάση διάφορους παράγοντες, όπως αποτελούν η ένταση και η διάρκεια της άσκησης, το ατομικό επίπεδο φυσικής κατάστασης, αλλά και οι γενετικοί παράγοντες.

Πτώση της Δύναμης

Η πτώση της δύναμης αποτελεί έναν αρκετά αξιόπιστο έμμεσο δείκτη αξιολόγησης του AMT κατά την εφαρμογή της έκκεντρης άσκησης (Damas et al., 2016). Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια της έκκεντρης δράσης, οι μύες υποβάλλονται σε υπερβολική επιμήκυνση, προκαλώντας υπερφόρτωση στα σαρκομέρια των μυϊκών ινών και εν συνέχεια εξασθένησή τους. Η αυξημένη αυτή υπερδιάταση που προκαλείται από την έκκεντρη άσκηση προκαλεί μεταβολές στη μηκο-δυναμική σχέση με τα σαρκομέρια να πρέπει να παράξουν δύναμη σε μεγαλύτερα μήκη (Allen, 2001). Ωστόσο, παρόλο που υπάρχουν κάποια σαρκομέρια στο φυσιολογικό τους μήκος και μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη επίτευξη της μυϊκής δράσης, παράγουν μικρότερη δύναμη λόγω της αποτυχίας επανασύνδεσης των παχιών και λεπτών νηματίων της μυοσίνης και ακτίνης αντίστοιχα (Allen, 2001). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η δύναμη που μπορούν να αναπτύξουν οι μύες τόσο κατά τη διάρκεια της άσκησης όσο και τις επόμενες ημέρες.

Στην έρευνα του Hylldahl και των συνεργατών του (2014) η πτώση της δύναμης μπορεί να φτάσει έως και το 15-60% και να παραμείνει μειωμένη έως και 2 εβδομάδες, με τη μεγαλύτερη πτώση να παρατηρείται 24-48 ώρες μετά την άσκηση. Μάλιστα, αναφέρεται ότι

μπορεί να φτάσει μέχρι και 30-65% πτώση συγκριτικά με τις αρχικές τιμές δύναμης που μετρήθηκαν πριν την εφαρμογή του πρωτοκόλλου (Tsatalas et al., 2020). Είναι κατανοητό ότι ο χρόνος διάρκειας και ο βαθμός της πτώσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η μυϊκή ομάδα που υπέστη τον AMT. Έχει παρατηρηθεί ότι σε μυϊκές ομάδες που είναι σχετικά ανενεργές κατά την καθημερινή ζωή, οι επιπτώσεις του AMT είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με προπονημένες μυϊκές ομάδες που εκτίθενται σε έκκεντρη δραστηριότητα (Jamurtas et al., 2005). Τα συμπεράσματα αυτά μπορεί να αποδοθούν πιθανώς στην ανεπαρκή ενδυνάμωση και προετοιμασία των μυών, στην απουσία αποδοτικής και σωστής μυϊκής συντονισμένης δράσης, καθώς και στη μειωμένη αντοχή των μυών κατά την έκκεντρη διάταση. Αυτό σημαίνει ότι η έκκεντρη άσκηση σε μη προπονημένες μυϊκές ομάδες που δεν έχουν εκπαιδευτεί ή δεν χρησιμοποιούνται συχνά μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη μυϊκή βλάβη, διότι είναι αρκετά πιο ευάλωτες.

Παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος του μυϊκού τραυματισμού

Τύπος άσκησης

Οι διαφορετικοί τύποι μυϊκής δράσης (σύγκεντρη, ισομετρική κι έκκεντρη) υποβάλουν αντίστοιχα τους μύες σε διαφορετική επιβάρυνση. Άτομα που συμμετέχουν τακτικά σε έκκεντρες προπονήσεις φαίνεται ότι έχουν αναπτύξει σταδιακά ανοχή στη μηχανική φόρτιση που σχετίζεται και με το αντίστοιχο άθλημά τους (άλματα στην πετοσφαίριση, τρέξιμο). Η προσαρμογή αυτή μειώνει την ευαισθησία των μυών για αυξημένη μυϊκή βλάβη κατά τη διάρκεια μιας προπόνησης ή ενός αγώνα και αναπτύσσεται μεγαλύτερη αντίσταση στον AMT (Vogt & Hoppeler, 2014).

Επίπεδο φυσικής κατάστασης και ηλικία

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι άτομα με ελλιπή φυσική κατάσταση, και ιδίως μειωμένη έως καθόλου προπονητική εμπειρία σε έκκεντρες δράσεις, είναι πιο επιρρεπή σε πρόκληση μεγαλύτερου βαθμού μυϊκής βλάβης. Η προοδευτική προσέγγιση και επακόλουθη προσαρμογή σε τέτοιου είδους άσκηση αποτελούν δυνητικές στρατηγικές που ενδέχεται να συμβάλουν στον περιορισμό του μεγέθους πρόκλησης AMT (Friedmann et al., 2004). Επίσης, οι ισχυρότεροι μύες φαίνεται να παρουσιάζουν υψηλότερη ανθεκτικότητα στο μηχανικό στρες και στην καταπόνηση που προκύπτει από την έκκεντρη άσκηση. Η εμπειρία στην προπόνηση, αλλά και οι προσαρμογές της είναι άμεσα συνυφασμένες με την εφαρμογή αποτελεσματικών στρατηγικών αποκατάστασης, είτε ενεργητικής είτε παθητικής, όπως μυοπεριτοναική απελευθέρωσης, ασκήσεις ευλυγισίας και ευκαμψίας, φυσιοθεραπείας με διάφορες τεχνικές, θερμοθεραπείας και διατροφικές πρακτικές (Friedmann-Bette et al.,

2010). Συνδυαστικά με το προπονητικό επίπεδο η ηλικία των ατόμων είναι καθοριστική μιας και μπορεί να επηρεάσει τόσο το επίπεδο του AMT όσο και το ρυθμό αποκατάστασης. Ο μηχανισμός της γήρανσης περιλαμβάνει αλλαγές στη δομή, σύνθεση, αλλά και λειτουργία των μυών. Η μειωμένη μυϊκή μάζα και η περιορισμένη ικανότητα αναγέννησης των μυϊκών ινών συμβάλουν στην αυξημένη ευπάθεια της μυϊκής βλάβης (Faulkner et al., 2007; Porter et al., 1995).

Ένταση και Διάρκεια

Ο βαθμός που θα επηρεαστεί ο AMT εξαρτάται και από την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης (Peake et al., 2017; Tiidus & Ianuzzo, 1983). Η συνδυασμένη εφαρμογή υψηλής έντασης και μεγάλης διάρκειας οδηγεί σε μεγαλύτερη βλάβη των μυϊκών ινών (Peake et al., 2017; Warren et al., 1999). Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα και υπομέγιστες επιβαρύνσεις μπορούν να προκαλέσουν σημαντικό AMT (Evans et al., 1998; Paschalis et al., 2005).

Γωνία της άρθρωσης

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το μέγεθος του μυϊκού τραυματισμού είναι η γωνία της άρθρωσης κατά την εκτέλεση της άσκησης. Πολλές μελέτες έχουν αναφέρει αυξημένο τραυματισμό όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε γωνίες της άρθρωσης που αντιστοιχούν σε μεγάλα μήκη μυός σε αντίθεση με μικρότερα (Brooks et al., 1995; Peake et al., 2017). Ένα παράδειγμα αποτελεί η έρευνα του Nosaka και Sakamoto (2001), οι οποίοι συγκρίνανε δύο πρωτόκολλα κάμψης δικεφάλων βραχιονίων: α) έκκεντρες δράσεις στις 100° γωνία και β) έκκεντρες δράσεις στις 50°. Από τα αποτελέσματά τους φάνηκε ότι υπήρξε μεγαλύτερος AMT μετά το πρώτο πρωτόκολλο κάμψης δικεφάλων βραχιονίων με τη μεγαλύτερη γωνία της άρθρωσης. Μία αντίστοιχη μελέτη έγινε λίγο αργότερα από τον Fochi και τους συνεργάτες του (2016), οι οποίοι μέτρησαν τις έκκεντρες δράσεις σε συγκεκριμένες γωνίες για τους καμπτήρες του αγκώνα στις 120° και στις 60°. Συμπέραναν ότι το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης στις 120° προάγει μεγαλύτερο μέγεθος μυϊκής βλάβης σε σύγκριση με ένα πρωτόκολλο με μικρότερη γωνία άρθρωσης, στις 60° στη συγκεκριμένη μελέτη, ακόμη και όταν και τα δύο πρωτόκολλα εκτελούνται σε μεγάλα μήκη μυών.

Κύκλος διάτασης – βράχυνσης

Ο κύκλος διάτασης-βράχυνσης (stretch-shortening cycle, SSC) είναι ένας φυσιολογικός μηχανισμός που περιλαμβάνει τη γρήγορη επιμήκυνση (έκκεντρη φάση) ενός μυ που ακολουθείται αμέσως από τη βράχυνση (σύγκεντρη φάση) του ίδιου μυός. Μεταξύ των δύο φάσεων υπάρχει η μεταβατική φάση, η οποία πρέπει να διαρκεί όσο το δυνατόν λιγότερα

ms. Όταν η μεταβατική φάση διαρκεί ελάχιστα, ο κύκλος εκμεταλλεύεται στο μέγιστο τις ελαστικές ιδιότητες των μυών και των τενόντων προκειμένου να παραχθεί μεγαλύτερη ισχύς και ενέργεια στη σύγκεντρη φάση (Komi & Gollhofer, 1997). Μάλιστα, ο Cavagna και οι συνεργάτες του (1968) ήταν από τους πρώτους που υποστήριξαν ότι αυτή η ενίσχυση προέρχεται κυρίως από αποθηκευμένη ελαστική ενέργεια. Είναι αντιληπτό ότι ο SSC αποτελεί ένα κρίσιμο συστατικό σε κινήσεις όπως τα άλματα, καθώς η κύρια λειτουργία του έχει έναν καθορισμένο σκοπό: την ενίσχυση της απόδοσης κατά την τελική φάση, δηλαδή κατά τη σύγκεντρη φάση (Cavagna et al., 1968).

Κατά τη διάρκεια της έκκεντρης φάσης του SSC, ο μυς επιμηκύνεται γρήγορα, αποθηκεύοντας ελαστική ενέργεια. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της σύγκεντρης φάσης, επιτρέποντας μια πιο ισχυρή μυϊκή δράση, μεγαλύτερη απόδοση ισχύος και πιο αποτελεσματική εκτέλεση δραστηριοτήτων των οποίων η απόδοση επηρεάζεται από τη λειτουργία του κύκλου. Ο SSC ενισχύει την αποτελεσματικότητα της μυϊκής λειτουργίας, επιτρέποντας γρήγορες και εκρηκτικές κινήσεις (Komi, 2000; van Schenau et al., 1997). Ο Kositsky και οι συνεργάτες του (2019) παρατήρησαν ότι ύστερα από εξαντλητικά προγράμματα που περιλαμβάνουν τον κύκλο διάτασης – βράχυνσης μειώθηκε η εκούσα δύναμη και αυξήθηκε η δυσκαμψία των αρθρώσεων. Σε εκρηκτικές λοιπόν κινήσεις όπως το κατακόρυφο άλμα η ικανότητα ανάπτυξης ισχύος με αύξηση της παραγωγής δύναμης ή της ταχύτητας ή συνδυαστικά των δύο στοιχείων είναι απαραίτητη για μια επιτυχημένη απόδοση.

Η επίδραση του AMT στην εμβιομηχανική των κατακόρυφων αλμάτων

Η επίδραση του AMT στην εμβιομηχανική των κατακόρυφων αλμάτων έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές στο πεδίο της αθλητικής επιστήμης (Maffiuletti et al., 2016; Mester et al., 1994). Ο AMT αναφέρεται στον AMT που προκαλείται από την άσκηση και μπορεί να επηρεάσει επομένως, την εμβιομηχανική της κίνησης. Μελέτη έχει δείξει ότι το κατακόρυφο άλμα CMJ μπορεί να οδηγήσει κατά την εκτέλεσή του σε μέγιστες δυνάμεις αντίδρασης στις αρθρώσεις του γόνατος και της ποδοκνημικής και υπολογίστηκαν επίσης, ακόμη μεγαλύτερες δυνάμεις για τον αχίλλειο τένοντα (Bobbert et al., 1986). Ίδια επίδραση φάνηκε να εντοπίζεται και στις παραμέτρους της ταχύτητας εκτέλεσης των αλμάτων, καθώς και για την ελάχιστη ισχύ της κατακόρυφης δύναμης του εδάφους F_z , ενώ για τη μέγιστη ισχύ η εκτέλεση του squat jump SJ, ενός διαφορετικού τεστ, είχε μεγαλύτερα αποτελέσματα (Jordan et al., 2018).

Σε μία άλλη μελέτη διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις του AMT, η οποία προκλήθηκε ύστερα από έκκεντρη άσκηση υψηλής έντασης και πυκνότητας, στην απόδοση του CMJ και στη σκληρότητα των κάτω άκρων κατά τη διάρκεια των φάσεων ξαφνικού καθίσματος (έκκεντρη φάση/κατέβασμα σε κάθισμα) και προσγείωσης. Οι κύριες παρατηρήσεις της μελέτης ήταν οι εξής: μείωση στη μέγιστη ροπή των εκτεινόντων μυών του γόνατος, αύξηση της έκκεντρης ισχύος του CMJ, στις 24 ώρες μετά την άσκηση, ενώ μειωμένα παρέμειναν το ύψος του άλματος, η μέγιστη έκκεντρη δύναμη, ο ρυθμός ανάπτυξης της έκκεντρης δύναμης και η μέση σύγκεντρη δύναμη στο CMJ και η σκληρότητα (Satkunskiene et al., 2021).

Τέλος, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η εμβιομηχανική των κατακόρυφων αλμάτων πέρα από τον AMT επηρεάζεται και από παράγοντες, όπως η ταχύτητα εκτέλεσης του CMJ, αλλά και το εύρος κίνησης κατά την κάθοδο. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν ότι ένα ταχύτατο CMJ παρείχε υψηλότερη μέση και μέγιστη δύναμη, μέση ταχύτητα και μέση ισχύ σε σχέση με ένα αργό κατακόρυφο άλμα. Όσον αφορά το εύρος της κίνησης η εκτέλεση του άλματος σε μικρότερο βάθος ήταν πιο αποδοτική για τη μέση και μέγιστη δύναμη, αλλά και ισχύ (Pérez-Castilla et al., 2021).

Σε άλλη έρευνα εφάρμοσαν 3 πρωτόκολλα κόπωσης χρησιμοποιώντας υψηλές αντιστάσεις και αξιολογήθηκαν η δύναμη, το κατακόρυφο άλμα και τα σπριντ πριν, αμέσως μετά και μετά από 24, 48 και 72 ώρες, αντίστοιχα. Όσον αφορά την απόδοση στο CMJ φάνηκε ότι η κόπωση υποχώρησε μετά τις 48 ώρες, ενώ οι μειώσεις στη μυϊκή λειτουργία και συγκεκριμένα στην ενισχυμένη δύναμη μυϊκής δράσης του τετρακέφαλου παρέμειναν για 48 ώρες μετά από την άσκηση (Thomas et al., 2018).

Αξιολόγηση των κατακόρυφων αλμάτων σε άτομα με ρήξη ΠΧΣ

Οι αθλητές που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση αποκατάστασης του ΠΧΣ συχνά αντιμετωπίζουν σημαντική φλεγμονή, ιδιαίτερα στον τετρακέφαλο μυ. Το CMJ, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο τεστ για την αξιολόγηση της ισχύος και της εκρηκτικότητας των κάτω άκρων του σώματος (Hildebrandt et al., 2015). Τα τεστ άλματος παρέχουν μια πρακτική και γρήγορη μορφή φυσικής αξιολόγησης, που συχνά μιμείται μοτίβα κίνησης (τριπλή κάμψη και έκταση των αρθρώσεων του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής) που παρατηρούνται στις αθλητικές κινήσεις (Bishop et al., 2017; Loturco et al., 2018). Παρακάτω ακολουθεί μία συνοπτική ανασκόπηση που στοχεύει στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ AMT, ανακατασκευής ΠΧΣ και απόδοσης στο CMJ.

Σε διάφορες μελέτες τα ευρήματα αποκάλυψαν ότι το πρωτόκολλο πρόκλησης AMT είναι διαδεδομένο σε αθλητές μετά από έντονη άσκηση και το μέγεθος του μυϊκού τραυματισμού μπορεί να επιδεινωθεί σε άτομα που έχουν υποβληθεί σε χειρουργηθείσα αποκατάσταση ΠΧΣ. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εξασθενημένη μυϊκή λειτουργία και ως αποτέλεσμα και σε μειωμένη απόδοση σε δραστηριότητες όπως το CMJ. Έχει παρατηρηθεί ότι άτομα με μεγαλύτερο AMT τείνουν να παρουσιάζουν μεγαλύτερη πτώση στο ύψος, στην ισχύ και στην ταχύτητα του CMJ. Η χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ έχει συσχετιστεί με μειωμένη απόδοση στο CMJ, εξαιτίας της μυϊκής αδυναμίας και του αλλοιωμένου νευρομυϊκού ελέγχου που έχει επέλθει από την αποχή της προπόνησης και της ελλιπούς αποκατάστασης χωρίς συντονιστικές ικανότητες και άλλες δραστηριότητες που βελτιώνουν την κιναισθηση, την ισορροπία, τη σταθερότητα και την ιδιοδεκτικότητα (Keays et al., 2006; Peñailillo et al., 2015).

Το πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης προκαλεί AMT ο οποίος μπορεί να επιδεινωθεί σε άτομα που έχουν υποβληθεί σε αποκατάσταση ΠΧΣ με χειρουργείο. Το CMJ είναι ένα χρήσιμο τεστ απόδοσης για την αξιολόγηση της επίδρασης μεταξύ AMT και ΠΧΣ στη λειτουργία των μυών του κάτω μέρους του σώματος. Επιπλέον, η απόδοση CMJ μπορεί να χρησιμεύσει ως πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της προόδου της αποκατάστασης και την καθοδήγηση των αποφάσεων για επιστροφή στον αθλητισμό και στις αγωνιστικές συνθήκες για τους αθλητές που αναρρώνουν από την αποκατάσταση του ΠΧΣ. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την αποσαφήνιση της βέλτιστης αποκατάστασης (Hildebrandt et al., 2015).

Στην έρευνα του Augustsson και των συνεργατών του (2004) 19 άνδρες που είχαν χειρουργηθεί στον ΠΧΣ ύστερα από 11 μήνες αξιολογήθηκαν σε ένα λειτουργικό τεστ με μονοποδικό άλμα, προκειμένου να προσδιοριστούν τα λειτουργικά ελλείμματα μετά την αποκατάσταση του ΠΧΣ. Το τεστ αποτελούταν από ένα πρωτόκολλο άσκησης πριν την εξάντληση σε συνδυασμό με ένα μονοποδικό άλμα. Τα ευρήματά τους έδειξαν ότι οι ασθενείς δεν έχουν αποκατασταθεί πλήρως 11 μήνες μετά την αποκατάσταση του ΠΧΣ. Συμπερασματικά πρότειναν μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της λειτουργίας των κάτω άκρων μετά την χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ, προτείνοντας λειτουργικό τεστ με άλματα τόσο υπό συνθήκες χωρίς κόπωση όσο και υπό συνθήκες πρόκλησης κόπωσης.

Η έκκεντρη παρέμβαση έχει επίσης, αποδειχθεί ασφαλής και αποτελεσματική μετά την αποκατάσταση του ΠΧΣ με χειρουργείο. Οι μελέτες του Gerber και των συνεργατών του (2007, 2009) ανέφεραν σημαντικά βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα σε δύναμη, απόδοση και επίπεδο φυσικής κατάστασης μετά από χειρουργική επέμβαση, όταν

η έκκεντρη άσκηση αποτέλεσε μέρος της αποκατάστασης μετά τη ρήξη του ΠΧΣ σε σύγκριση με τα τυπικά προγράμματα αποκατάστασης. Φαίνεται μάλιστα πως η απόδοση σε μία άσκηση όπως τα κατακόρυφα άλματα που περιλαμβάνει τον κύκλο διάτασης – βράχυνσης βελτιώθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό μετά από την έκκεντρη προπόνηση σε σχέση με τη σύγκεντρη ή παραδοσιακή προπόνηση με αντιστάσεις (Hody et al., 2019; Douglas et al., 2017; Liu et al., 2013).

Τέλος, σε μία επόμενη έρευνα φάνηκε πως από τα τεστ αξιολόγησης της ισχύος μεταξύ του άλματος από κάθισμα SJ, του CMJ, του CMJ με ελεύθερη κίνηση χεριών και του CMJ μονοποδικά, το τελευταίο έδειξε σημαντική αύξηση στην απόδοση (σε τραυματισμένο και υγιές κάτω άκρο) όταν είχε προηγηθεί λειτουργική προπόνηση συγκριτικά με την παραδοσιακή (Souissi et al., 2011). Συμπερασματικά, κάτι τέτοιο μπορεί να επιτρέψει στους αθλητές να επιτύχουν μία αρκετά καλή λειτουργική απόδοση και απόδοση δύναμης με μόνο 2 προπονήσεις την εβδομάδα, προετοιμάζοντάς τους καλύτερα για την επιστροφή στην αθλητική δραστηριότητα 6 μήνες μετά το χειρουργείο του ΠΧΣ και τελικά αφιερώνοντας χρόνο για μια πιθανή προοδευτική εισαγωγή στο ατομικό τους άθλημα και στην τεχνική.

Εντοπισμός ασυμμετρίας κάτω άκρων σε άτομα με ρήξη ΠΧΣ στα κατακόρυφα άλματα

Ο ΠΧΣ αποτελεί βασικό στοιχείο για τη σταθεροποίηση της άρθρωσης του γόνατος κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν σπριντ, αλλαγές κατεύθυνσης, περιστροφή και άλματα. Τραυματισμοί στον ΠΧΣ συχνά καταλήγουν σε αυξημένες ανισορροπίες στα κάτω άκρα. Μια ενδιαφέρουσα πτυχή που έχει τραβήξει την προσοχή των ερευνητών είναι η αύξηση της ασυμμετρίας που παρατηρείται μεταξύ των κάτω άκρων σε άτομα που έχουν υποστεί τραυματισμό ΠΧΣ. Η ασυμμετρία είναι ιδιαίτερα εμφανής κατά την αξιολόγηση της απόδοσης του CMJ, το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως ως δείκτης της δύναμης και ισχύος των κάτω άκρων, αλλά και της νευρομυϊκής λειτουργίας τους. Έχει βρεθεί σε έρευνα ότι τα άτομα με τραυματισμό ΠΧΣ συχνά παρουσιάζουν μειωμένο ύψος άλματος και αυξημένες δυνάμεις αντίδρασης στο έδαφος σε σύγκριση με τους μη τραυματισμένους αθλητές παρομοίων χαρακτηριστικών και επιπέδων φυσικής κατάστασης/αθλήματος (Moran et al., 2019; Morin et al., 2019).

Η αιτία της ασυμμετρίας στην απόδοση του CMJ μετά από τραυματισμό ΠΧΣ είναι πολυπαραγοντική. Πιο συγκεκριμένα, ο ίδιος ο τραυματισμός, η επακόλουθη χειρουργική επέμβαση και η διαδικασία αποκατάστασης συμβάλλουν σε αλλαγές στη μυϊκή δύναμη, στα

πρότυπα ενεργοποίησης και στον νευρομυϊκό έλεγχο (ιδιοδεκτικότητα, κιναισθηση, συντονιστικές ικανότητες, ισορροπία). Ιδίως οι νευρομυϊκές ελλείψεις μπορεί να περιλαμβάνουν τροποποιημένα μοτίβα μυϊκής ενεργοποίησης, μειωμένη στρατολόγηση κινητικών μονάδων και εξασθενημένο μυϊκό συντονισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίδραση σε σημαντικό βαθμό της ικανότητας του τραυματισμένου άκρου να παράγει δύναμη ακόμα και κατά τη διάρκεια του CMJ, οδηγώντας σε μια αξιοσημείωτη διαφορά απόδοσης μεταξύ των άκρων. Να σημειωθεί ότι η απώλεια σταθερότητας του γόνατος λόγω ανεπάρκειας ΠΧΣ μπορεί να οδηγήσει σε αντισταθμιστικές στρατηγικές κατά τη διάρκεια της κίνησης, επηρεάζοντας τις δυνατότητες συντονισμού και παραγωγής δύναμης. Είναι σαφές ότι μετά από έναν τραυματισμό τα άτομα τείνουν να αναπτύσσουν μια στρατηγική «υπερπροστασίας» του χειρουργημένου άκρου, προκειμένου να αποφύγουν έναν επανατραυματισμό (Myer et al., 2007; Paschalis et al., 2008; Webster & Gribble, 2010).

Επιπρόσθετα σε άλλες μελέτες φαίνεται πως η ασυμμετρία των κάτω άκρων δεν προϋπάρχει, αλλά είναι εμφανέστατα αποτέλεσμα της ρήξης του ΠΧΣ. Παράγοντες που ευθύνονται για αυτήν την ασυμμετρία περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τη μείωση της δύναμης στο τραυματισμένο άκρο, την αίσθηση του πόνου καθώς και πιθανό φόβο επανατραυματισμού (Ingersoll et al., 2008; Sturnieks et al., 2008). Ο Carter και οι συνεργάτες του (1999) ανέφεραν ότι η πλειοψηφία των τραυματισμένων συνέχισαν να παρουσιάζουν ασυμμετρία τετρακέφαλου έως και 6 μήνες μετά το χειρουργείο του ΠΧΣ. Αρκετά σπουδαία ήταν τα ευρήματα της έρευνας του Paterno και των συνεργατών του (2016), οι οποίοι υποστήριξαν ότι οι ασυμμετρίες των άκρων που εντοπίστηκαν μετά το χειρουργείο του ΠΧΣ είναι προγνωστικά για μελλοντικό τραυματισμό ΠΧΣ, ειδικά όσον αφορά τις ασυμμετρίες που εντοπίζονται στο οβελιαίο επίπεδο. Επιπλέον φάνηκε ότι η ασυμμετρία στις ροπές του γονάτου στο οβελιαίο επίπεδο παρατηρείται κατά την αρχική επαφή, όπως αποδεικνύεται από τους συμμετέχοντες που υπέστησαν στη συνέχεια έναν δεύτερο τραυματισμό ΠΧΣ.

Σε προηγούμενη έρευνα του Paterno και των συνεργατών του (2007) μετρήθηκαν αθλήτριες που είχαν υποβληθεί σε χειρουργηθείσα αποκατάσταση ΠΧΣ τουλάχιστον 27 μήνες πριν. Τα δεδομένα έδειξαν το εντυπωσιακό ότι ακόμα και μετά από 2 χρόνια αποκατάστασης με χειρουργείο, παρόλο που οι αθλήτριες είχαν επιστρέψει στις αγωνιστικές συνθήκες, συνέχιζαν να παρουσιάζουν εμβιομηχανικές ασυμμετρίες μεταξύ των κάτω άκρων ιδίως κατά την προσγείωση. Πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι στην παρούσα μελέτη οι συμμετέχοντες είναι άνδρες και με βάση τη βιβλιογραφία γενικότερα οι γυναίκες λόγω ανατομικών

χαρακτηριστικών είναι πιο επιρρεπείς στον τραυματισμό του ΠΧΣ (Agel, Rockwood, & Klossner, 2016; Smith et al., 2012; Webster & Hewett, 2022).

Σε μία πιο εξειδικευμένη μελέτη ο Kons και οι συνεργάτες του (2020) μέτρησαν 14 αθλητές τζούντο σε μονοποδικό CMJ για κάθε κάτω άκρο πριν και μετά το 5ο και το 10ο σετ για 24 ώρες και 48 ώρες ύστερα από το πρωτόκολλο κόπωσης κύκλου διάτασης – βράχυνσης (έκκεντρη-ισομετρική-σύγκεντρη άσκηση). Το πρωτόκολλο φάνηκε ότι μείωσε την απόδοση CMJ μετά το 5ο σετ και το 10ο σετ, ειδικά στο ασθενέστερο άκρο, αλλά επέστρεψε στις αρχικές τιμές μετά από 24 ώρες. Η ασυμμετρία αυξήθηκε για τη μέγιστη δύναμη, τη μέγιστη και τη μέση ισχύ μετά το 5ο σετ σε σύγκριση με τις αρχικές μετρήσεις, ενώ παρέμεινε υψηλότερη για τη μέγιστη δύναμη μετά το 10ο σετ επιστρέφοντας στις αρχικές τιμές μετά από 24 ώρες. Ο πόνος αυξήθηκε για το κάτω μέρος του σώματος μετά, 24 ώρες και 48 ώρες. Συμπερασματικά, ένα κουραστικό πρωτόκολλο έκκεντρης άσκησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες ασυμμετρίες μεταξύ των άκρων στους αθλητές τζούντο, αλλά μετά από 24 και 48 ώρες του πρωτοκόλλου η ασυμμετρία επέστρεψε στις αρχικές/βασικές τιμές, με μόνο τον μυϊκό πόνο ακόμα αυξημένο.

Σε μία επόμενη έρευνα αναλύθηκε η ποσοστιαία ασυμμετρία στο έλλειμμα αλλαγής κατεύθυνσης και συγκρίθηκε με διάφορα αμφίπλευρα άλματα (SJ, CMJ και drop SJ – DSJ). Με βάση τα αποτελέσματα που λήφθηκαν δε φαίνεται να υπήρξαν σημαντικές συσχετίσεις, αλλά παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η ασυμμετρία στο έλλειμμα αλλαγής κατεύθυνσης, τόσο χαμηλότερη ήταν η απόδοση στα διαφορετικά άλματα (Bishop et al., 2021). Σε μία ακόμα πιο πρόσφατη μελέτη του Roso-Moliner και των συνεργατών του (2023) αξιολογήθηκε η πιθανή ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ ασυμμετρίας κατακόρυφων και οριζόντιων αλμάτων και εύρους κίνησης αστραγάλου, γραμμικής ταχύτητας και αλλαγή κατεύθυνσης. Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδηλώνουν ότι οι μεγαλύτερες ανισορροπίες της άρθρωσης του ισχίου σχετίζονται με μειωμένο εύρος κίνησης στη ραχιαία κάμψη της ποδοκνημικής και ως εκ τούτου χαμηλότερο ύψος του CMJ. Ο βαθμός δε ασυμμετρίας που παρατηρήθηκε ήταν διαφορετικός κάθε φορά ανάλογα την κίνηση που εκτελούνταν (αλλαγή κατεύθυνσης, άλμα). Επίσης, εντοπίστηκε υψηλότερο ποσοστό ασυμμετριών στο CMJ σε σύγκριση με το οριζόντιο άλμα (horizontal jump – HJ) με τιμές 5,70% έναντι 2,12%. Μία μελέτη που βρίσκει σύμφωνη με αυτά τα αποτελέσματα είναι αυτή του Godinho και των συνεργατών του (2019), οι οποίοι νωρίτερα είχαν εξάγει το συμπέρασμα ότι υπάρχει μία θετική συσχέτιση μεταξύ της ικανότητας άλματος (π.χ. CMJ) και του υψηλότερου εύρους κίνησης της ποδοκνημικής.

Στη μελέτη του Jordan και των συνεργατών του (2015) συμμετείχαν επαγγελματίες αθλητές σκι, οι οποίοι χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: α) ομάδα ελέγχου – υγιείς και β) ομάδα που είχε υποστεί ρήξη ΠΧΣ και αποκαταστάθηκε με χειρουργείο. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν μια νέα προσέγγιση του τρόπου αξιολόγησης της λειτουργικής ασυμμετρίας που παρατηρείται σε διάφορες φάσεις (ώθηση και προσγείωση) χρησιμοποιώντας ως μέσα τις ταχυδυναμικές εκτελέσεις CMJ και SJ. Συγκεκριμένα, φάνηκε ότι τα άτομα που αποκατέστησαν χειρουργικά τον ΠΧΣ παρουσίασαν μεγαλύτερη ασυμμετρία στα κάτω άκρα όσον αφορά τη μυϊκή μάζα και την ώθηση. Συνδυαστικά με την έρευνα του Bishop και των συνεργατών του λίγο αργότερα (2019) οι περισσότεροι αθλητές φαίνεται να παρουσιάζουν τουλάχιστον έως και μικρότερα επίπεδα < 10% λειτουργικής ασυμμετρίας, τα οποία είναι δυνατό να αυξηθούν σε μεγαλύτερα ποσοστά σε συνθήκες έντονης κόπωσης.

Συνοπτικά, η γνώση της ύπαρξης μιας ασυμμετρίας στα κάτω άκρα και ο βαθμός της είναι υψίστης σημασίας, διότι παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τα λειτουργικά ελλείμματα που αντιμετωπίζουν τα άτομα κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων που απαιτούν εκρηκτική δύναμη κάτω άκρων, όπως το άλμα και η επακόλουθη προσγείωση. Παράλληλα, ο εντοπισμός και ο ποσοτικός προσδιορισμός της έκτασης της ασυμμετρίας μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη περισσότερο αποτελεσματικών στρατηγικών αποκατάστασης προσαρμοσμένων στην αντιμετώπιση αυτών των ανισορροπιών, ώστε να αποφευχθεί ο επανατραυματισμός ή/και ο τραυματισμός του υγιούς άκρου, που επιβαρύνεται ακόμα περισσότερο ακούσια. Τέλος, η αναγνώριση της επίδρασης της μυϊκής βλάβης στην ασυμμετρία μπορεί να ενθαρρύνει τους επαγγελματίες υγείας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με το χρονοδιάγραμμα των πρωτοκόλλων επιστροφής στο παιχνίδι/αγωνιστικές συνθήκες, καθώς και την εφαρμογή προληπτικών μέτρων για τη μείωση του κινδύνου επανατραυματισμού. Δεν είναι τυχαίο ότι στη βιβλιογραφία τονίζεται ότι ένα στοιχείο που επιδεινώνει την κατάσταση είναι η μεγάλη πιθανότητα σε ποσοστό 6 έως και 20% επανατραυματισμού του χειρουργημένου ή του υγιούς άκρου (Nagelli & Hewett, 2017).

Μεθοδολογία

Δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν εθελοντικά 14 άνδρες, ηλικίας 20 έως 30 ετών, οι οποίοι είχαν υποβληθεί σε χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ, ύστερα από τη ρήξη του κατά τη διάρκεια αθλητικών δραστηριοτήτων. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν ερασιτέχνες αθλητές που συμμετείχαν σε αθλητικές δραστηριότητες, όπως καλαθοσφαίριση, ποδόσφαιρο και πετοσφαίριση, τόσο σε προπονητικές όσο και αγωνιστικές συνθήκες. Επιπλέον, είχαν προηγούμενη προπονητική εμπειρία σε δραστηριότητες που περιλάμβαναν έκκεντρη άσκηση και κατακόρυφα άλματα. Αναγκαίο κριτήριο για τη συμμετοχή τους στη μελέτη ήταν να έχουν υποβληθεί σε χειρουργική επέμβαση, είτε με μόσχευμα του επιγονατιδικού τένοντα είτε των οπίσθιων μηριαίων, τουλάχιστον 10 μήνες πριν, με έναν μέσο χρόνο από το χειρουργείο $17,2 \pm 7,4$ μήνες. Επιπλέον, απαιτούνταν ιστορικό τραυματισμού σύμφωνα με το οποίο εκτός της χειρουργικής επέμβασης, αποκλειστικά σε ένα κάτω άκρο, δεν έπρεπε να υπάρχει κάποιος άλλος μυοσκελετικός τραυματισμός σε κανένα από τα δύο κάτω άκρα. Από τη μελέτη εξαιρέθηκαν άτομα τα οποία δεν μπορούσαν να εκτελέσουν ορθά την τεχνική των κατακόρυφων αλμάτων ή/και δεν είχαν δυνατότητα ολοκληρωμένης εκτέλεσης του πρωτοκόλλου AMT, λόγω κινδύνου πρόκλησης μυοσκελετικού τραυματισμού ή επανατραυματισμού του ΠΧΣ. Παράλληλα, εξαιρέθηκαν άτομα τα οποία βρίσκονταν σε πρώιμο στάδιο αποκατάστασης τραυματισμών των κάτω άκρων ή της μέσης και άτομα που αισθάνονταν πόνο κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων στα κάτω άκρα εξαιτίας του τραυματισμού.

Όλοι οι συμμετέχοντες επισκέφτηκαν το εργαστήριο εμβιομηχανικής του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (ΤΕΦΑΑ) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (ΠΘ) 4 φορές. Απείχαν από την προπόνηση δύναμης και από όποια άσκηση περιλάμβανε έκκεντρη δράση του μυός για τουλάχιστον 3 εβδομάδες πριν την έναρξη και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, προκειμένου να αποφευχθεί η εμφάνιση του φαινομένου της επαναλαμβανόμενης άσκησης (McHugh, 2003). Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων διατήρησαν τις διατροφικές τους συνήθειες, την κατανάλωση υγρών και απέφυγαν τη χρήση αντι-φλεγμονωδών ουσιών και οποιουδήποτε άλλου συμπληρώματος, τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια της μελέτης, που θα μείωνε τον χρόνο αποκατάστασης του AMT, θα βελτίωνε την απόδοσή τους και γενικώς θα επηρέαζε το συνολικό τελικό αποτέλεσμα (Nogueira et al., 2019). Όλοι οι συμμετέχοντες ανεξαιρέτως παρείχαν την έγγραφη συγκατάθεσή τους, ενώ όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν είχαν εγκριθεί από την

επιτροπή δεοντολογίας του ΤΕΦΑΑ ΠΘ. Από τα 14 άτομα τελικώς τα 12 κατάφεραν να ολοκληρώσουν το πείραμα. Τα δύο άτομα που αποκλείστηκαν παρουσίασαν μετά τον AMT βελτιωμένες επιδόσεις στα κατακόρυφα άλματα, πιθανότατα λόγω κακής εξοικείωσης που είχε πραγματοποιηθεί στην 1η συνεδρία. Τα δύο άτομα φαίνεται πως δεν εκτέλεσαν τις μέγιστες προσπάθειες με σωστή τεχνική στην αξιολόγηση των CMJ πριν την εφαρμογή του πρωτοκόλλου AMT. Τα ηλικιακά και ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων που ολοκλήρωσαν τη μελέτη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα αναλυτικά:

Πίνακας 1. Μέσοι όροι (Μ.Ο.) $\pm$ τυπικές αποκλίσεις (Τ.Α.) των ηλικιακών και ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων.

Μ.Ο. $\pm$ Τ.Α.		Χ	Υ
X1	Ηλικία (έτη)	23 $\pm$ 3	-
X2	Βάρος (kg)	183 $\pm$ 5	-
X3	Ύψος (cm)	76 $\pm$ 7	-
X4	Μήκος κάτω άκρου (cm)	-	94 $\pm$ 23
X5	Πάχος γόνατος (cm)	-	9 $\pm$ 2
X6	Πάχος ποδοκνημικής (cm)	-	7 $\pm$ 2

Χ, χειρουργημένο κάτω άκρο; Υ, υγιές κάτω άκρο.

Όργανα μέτρησης

Για την αξιολόγηση της μέγιστης ισομετρικής ροπής των εκτεινόντων του γόνατος (MIP), χρησιμοποιήθηκε το ίδιο όργανο μέτρησης που εφαρμόστηκε για την πρόκληση του AMT. Συγκεκριμένα, έγινε χρήση του ισοκινητικού δυναμόμετρου Cybex-Norm (Lumex Corporation, Ronkonkoma, New York), το οποίο ζυγοσταθμίστηκε με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η καταγραφή των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους των δύο κάτω άκρων κατά την εκτέλεση των κατακόρυφων αλμάτων έγινε με τη βοήθεια δύο δυναμοδάπεδων

BERTEC (4060-15), τα οποία είναι ενσωματωμένα στο κέντρο του εργαστηρίου εμβιομηχανικής του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του ΠΘ. Η συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε για τα δυναμοδάπεδα ήταν στα 1000Hz. Για την καταγραφή της ανάλυσης της κίνησης κατά την εκτέλεση των κατακόρυφων αλμάτων, χρησιμοποιήθηκε το οπτικό-ηλεκτρονικό σύστημα δέκα καμερών (Vicon T-series) με συχνότητα δειγματοληψίας 200Hz. Οι κάμερες του συστήματος βαθμονομήθηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν επαρκώς τον χώρο των μετρήσεων, με στόχο την ελαχιστοποίηση του σφάλματος στον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των ανακλαστήρων (Ehrig et al., 2007).

(α)



(β)



Σχήμα 1. (α) Τρισδιάστατα δυναμοδάπεδα Bertec 4060-15, (β) Κάμερες συστήματος Vicon T-series.

Πειραματική διαδικασία

Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων

Όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε 4 συνεδρίες στο εργαστήριο της εμβιομηχανικής του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του ΠΘ, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, αντιστοίχως.

Η **1^η συνεδρία** διεξήχθη **72 ώρες (72-h) πριν** το πρωτόκολλο πρόκλησης AMT και περιλάμβανε την συγκέντρωση όλων των απαραίτητων εγγράφων για τη συμμετοχή των ατόμων στην έρευνα και τη συμπλήρωση του ιστορικού τους σε μορφή ερωτηματολογίου. Στην ίδια συνεδρία πραγματοποιήθηκε βήμα-βήμα η εξοικείωση τόσο με τα κατακόρυφα άλματα όσο και με το ισοκινητικό δυναμόμετρο. Σκοπός ήταν να καταστούν κατανοητές από όλους τους συμμετέχοντες οι απαιτούμενες δοκιμασίες, έτσι ώστε να είναι σε θέση να τις εκτελέσουν ορθά στις επόμενες συνεδρίες. Η εξοικείωση αποτελούταν αρχικά από 7' προθέρμανση, η οποία περιλάμβανε ήπιο τρέξιμο δαπεδοεργόμετρο και δυναμικές διατάσεις. Ακολούθησε η εξοικείωση στα κατακόρυφα άλματα τα οποία εκτελέστηκαν πάνω στα δυναμοδάπεδα, όπως ακριβώς και στις βασικές μετρήσεις, με σκοπό να εξασφαλιστεί η

σωστή τεχνική εκτέλεσής τους. Βασικός σκοπός της εξοικείωσης ήταν να μειωθεί η πιθανότητα εμφάνισης βελτίωσης στις τελικές μετρήσεις εξαιτίας της προηγούμενης μη επιτυχημένης εξοικείωσης και ως εκ τούτου των λαθεμένων αρχικών μετρήσεων (Minas et al., 2019). Στο τέλος της 1^{ης} συνεδρίας ακολούθησε η καταγραφή της MIP στο ισοκινητικό δυναμόμετρο.

Κατά τη **2^η συνεδρία 24 ώρες (24-h) πριν** το πρωτόκολλο AMT αξιολογήθηκε ο μυϊκός πόνος και στη συνέχεια, ακολούθησε προθέρμανση. Έπειτα, τοποθετήθηκαν ανακλαστήρες και έγινε η καταγραφή των εμβιομηχανικών παραμέτρων κατά τη διεξαγωγή των κατακόρυφων αλμάτων CMJ.

Στη **3^η συνεδρία (ώρα 0)** προηγήθηκε η προθέρμανση, όπως και στις προηγούμενες συνεδρίες. Πριν την εφαρμογή του πρωτοκόλλου πρόκλησης AMT μετρήθηκε αρχικά η MIP και ύστερα ακολούθησε η πρόκληση AMT. Η διεξαγωγή του πραγματοποιήθηκε με έκκεντρη άσκηση των εκτεινόντων του γόνατος και των δύο κάτω άκρων στο ισοκινητικό δυναμόμετρο (Tsatalas et al. 2013a; Tsatalas et al., 2021). Η επιλογή του πρωτοκόλλου έγινε με βάση προηγούμενες μελέτες που αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο της εμβιομηχανικής και τα στάδια του θα παρουσιαστούν στη συνέχεια λεπτομερώς. Η παράμετρος της MIP επαναξιολογήθηκε ύστερα από το πρωτόκολλο.

Στην **4^η και τελευταία συνεδρία 48 ώρες (48-h)** μετά το πρωτόκολλο πρόκλησης AMT πραγματοποιήθηκε αρχικά αξιολόγηση του μυϊκού πόνου, ακολούθησε η κλασική προθέρμανση με τις διατάσεις και έγινε η επαναμέτρηση των εμβιομηχανικών παραμέτρων κατά τα CMJ. Τέλος, μετρήθηκε η MIP στο ισοκινητικό δυναμόμετρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή του χρόνου διεξαγωγής της 4ης συνεδρίας στις 48 ώρες μετά το πρωτόκολλο βασίστηκε στο γεγονός ότι τα κυριότερα συμπτώματα του AMT εντοπίζονται στις μέγιστες τιμές τους 48 έως και 96 ώρες μετά την έκκεντρη άσκηση (Byrne, Twist, & Eston, 2004).

Κατά τη διάρκεια όλων των συνεδριών πριν την έναρξη των δοκιμασιών για την καταγραφή της κίνησης, των VGRF και των υπόλοιπων εμβιομηχανικών παραμέτρων των κατακόρυφων αλμάτων, τοποθετήθηκαν στους συμμετέχοντες 20 ανακλαστήρες στην πύελο και στα κάτω άκρα με βάση βιβλιογραφία (Kokkotis et al., 2022; Tsatalas et al. 2013b).

Έκκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο

Για την πρόκληση AMT χρησιμοποιήθηκε το ισοκινητικό δυναμόμετρο. Προηγήθηκε για όλους τους συμμετέχοντες γενική και εξειδικευμένη προθέρμανση με 7 λεπτά τρέξιμο σε

δαπεδοεργόμετρο και εν συνέχεια δυναμικές διατάσεις των βασικότερων μυϊκών ομάδων των κάτω άκρων που θα ενεργοποιούνται. Ακολούθησε η τοποθέτηση τους στην καρέκλα του ισοκινητικού δυναμόμετρου με τη γωνία κάμψης ισχίου να έχει οριστεί στις 100°. Ο κορμός, η λεκάνη και το κάτω άκρο του συμμετέχοντα σταθεροποιήθηκαν με ειδικούς ιμάντες που βρίσκονται προσαρμοσμένοι στο μηχάνημα, ώστε να αποφευχθεί η όποια αντισταθμιστική κίνηση ή/και επίδραση της απόδοσης. Ειδικότερα, όπως αναφέρεται και σε μελέτες, η σταθεροποίηση αυτή είναι άκρως απαραίτητη, καθώς μειώνει την πιθανότητα εμπλοκής του ισχίου στην καταγραφόμενη ροπή των εκτεινόντων του γόνατος (Paschalis et al., 2007; Watanabe, Kouzaki, & Moritani, 2013). Ο άξονας περιστροφής του δυναμόμετρου ευθυγραμμίστηκε με το κέντρο περιστροφής του γόνατος στο έξω μηριαίο επικονδύλιο κύρτωμα. Η διαδικασία της ευθυγράμμισης έγινε με το γόνατο σε κάμψη 90° και με τον εντοπισμό μέσω της ψηλάφησης του έξω μηριαίου επικονδύλιου κυρτώματος. Έγινε προσαρμογή του μήκους του μοχλοβραχίονα του δυναμόμετρου, ώστε το μαξιλαράκι να έρχεται σε επαφή με το κάτω μέρος της κνήμης, κοντά στο ύψος των σφυρών με σκοπό να αισθάνεται άνετα ο συμμετέχοντας και να γίνει σωστά η μέτρηση. Το εύρος κίνησης του γόνατος ορίστηκε από 10° έως 100°, με τις 0° να θεωρούνται η πλήρης έκταση, για όλους τους συμμετέχοντες, προκειμένου να επιτευχθεί σταθερή ισοκίνηση κατά τη διάρκεια της κίνησης (Tsatalas et al., 2021). Τέλος, για κάθε τιμή της καταγραφόμενης ροπής, λήφθηκε υπόψη η επίδραση της βαρύτητας του μοχλοβραχίονα του δυναμόμετρου και του κάτω άκρου. Η ζυγοστάθμιση των δυνάμεων πραγματοποιήθηκε σε γωνία 45° (Kellis & Baltzopoulos, 1996).

Πρωτόκολλο πρόκλησης μυϊκού τραυματισμού

Το πρωτόκολλο πρόκλησης μυϊκού τραυματισμού αποτελούνταν από 5 σετ με 15 επαναλήψεις (5 X 15), έκκεντρης άσκησης στη μέγιστη δυνατή ένταση των εκτεινόντων του γόνατος σε σταθερή γωνιακή ταχύτητα 60°/s. Το πρωτόκολλο εφαρμόστηκε και για τα δύο κάτω άκρα με την ίδια σειρά και συγκεκριμένα προηγήθηκε το υγιές. Αρχικά, εφαρμόστηκε έκκεντρη άσκηση στο υγιές άκρο των συμμετεχόντων, προκειμένου να τους βοηθήσει να προσαρμοστούν καλύτερα και να μην αισθάνονται φόβο/ανασφάλεια κατά την άσκηση στο τραυματισμένο άκρο αργότερα. Μεταξύ των επαναλήψεων δόθηκε διάλλειμα 8 δευτερόλεπτων, μεταξύ του κάθε σετ 3 λεπτά, ενώ ανάμεσα στα κάτω άκρα εφαρμόστηκε 10 λεπτά αποκατάσταση. Η επιλογή πρόκλησης AMT στους εκτείνοντες του γόνατος στηρίχτηκε στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη μυϊκή ομάδα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο τόσο σε καθημερινές δραστηριότητες όσο και σε αθλητικές κινήσεις, όπως τα κατακόρυφα άλματα (Tsatalas et al., 2021). Επίσης, οι εκτείνοντες του γόνατος συνδέονται άμεσα με τον ΠΧΣ λόγω

της ανατομίας τους και η ενεργοποίησή τους τόσο σύγκεντρα όσο και έκκεντρα κρίνεται σημαντική για την λειτουργικότητα της άρθρωσης του γόνατος (Kinikli et al., 2014). Κατά τη διάρκεια όλων των προσπαθειών δόθηκε σε όλους τους συμμετέχοντες ιδιαίτερη προσοχή στην παροχή παρακίνησης από τον εξεταστή, καθώς και οπτική ανατροφοδότηση στην οθόνη του υπολογιστή, ώστε να προσπαθήσουν στο μέγιστο (Tsatalas et al., 2020). Τέλος, η θέση του δυναμόμετρου για κάθε συμμετέχοντα παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια όλων των μετρήσεων.

Δείκτες μυϊκού τραυματισμού

Οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε μέγιστες προσπάθειες στο ισοκινητικό δυναμόμετρο προκειμένου να αξιολογηθεί η MIP στις 60°/s. Οι ισομετρικές προσπάθειες είχαν διάρκεια 5 δευτερολέπτων. Τα δεδομένα των προσπαθειών αποτέλεσαν έναν από τους δύο δείκτες του μυϊκού τραυματισμού που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη. Ο δεύτερος δείκτης που αξιολογήθηκε ήταν ο DOMS, ο οποίος μετρήθηκε τόσο για το υγιές όσο και το χειρουργημένο άκρο πριν και 48 ώρες μετά το πρωτόκολλο του AMT. Για τη μέτρηση του χρησιμοποιήθηκε μία κλίμακα από το 0 έως και το 10, τα οποία αντιστοιχούσαν στην αίσθηση «καθόλου πόνος» έως και «αφόρητος πόνος» αντίστοιχα (Marginson et al., 2005; Minas et al., 2019; Tsatalas et al., 2010). Έτσι, με ψηλάφηση σε συγκεκριμένα σημεία του τετρακεφάλου μυός και συγκεκριμένα, στη γαστέρα και στο περιφερικό τμήμα των έσω/έξω κεφαλών του τετρακέφαλου σημειώθηκε ο βαθμός πόνου που αισθάνονταν κάθε συμμετέχοντας. Όλες οι αξιολογήσεις έγιναν σε καθιστή θέση, ενώ οι μύες βρίσκονταν σε πλήρη χαλάρωση.

Πρωτόκολλο κατακόρυφων αλμάτων

Όλοι οι συμμετέχοντες ακολούθησαν την ίδια διαδικασία με την προθέρμανση συνολικής διάρκειας 7 λεπτών να προηγείται. Ξεκίνησαν με ελαφρύ τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο (Technogym, Italy) με ταχύτητα 7.5 km/h και στη συνέχεια, εκτέλεσαν δυναμικές διατάξεις για τις βασικότερες μυϊκές ομάδες των κάτω άκρων. Να τονιστεί ότι καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και των συνεδριών, συμπεριλαμβανομένης της φάσης εξοικείωσης, όλοι οι συμμετέχοντες φορούσαν το ίδιο ζευγάρι αθλητικών παπουτσιών. Αμέσως μετά τη διεξαγωγή της προθέρμανσης, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν κάποια αρχικά διποδικά CMJs με στόχο μία εξίσου καλή/αποτελεσματική προσγείωση εντός ορίων των δυναμοδάπεδων. Για τη μέτρηση των CMJs χρησιμοποιήθηκαν ειδικά δυναμοδάπεδα, ενώ όλοι οι συμμετέχοντες είχαν εξασκηθεί εκ των προτέρων στην τεχνική εκτέλεσή τους και στο να εκτελούν τη μέγιστη δυνατή τους προσπάθεια.

Η διαδικασία των CMJs πραγματοποιήθηκε δίνοντας μεγάλη προσοχή στην τεχνική λεπτομέρεια, ενώ οι οδηγίες που ακολουθήθηκαν ήταν ίδιες για όλους. Οι συμμετέχοντες τοποθετήθηκαν εντός των δύο δυναμοδάπεδων, ένα για κάθε κάτω άκρο. Ειδικότερα:

Η αρχική θέση ήταν η όρθια ακίνητη/σταθερή με τα κάτω άκρα περίπου στο άνοιγμα των ώμων με το ένα άκρο μέσα στο ένα δυναμοδάπεδο και το άλλο στο δεύτερο, όπως ήδη προαναφέρθηκε. Τα χέρια παρέμειναν σταθερά κολλημένα στο στήθος σε θέση χιαστί καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης. Οι συμμετέχοντες ακολουθούσαν το παράγγελμα του ερευνητή «Ακίνητος, Έτοιμος, Πάμε» με κενά 2 δευτερολέπτων ανάμεσα στις λέξεις με δυνατή, καθαρή φωνή, ώστε να συγκεντρωθούν και να γίνει κατανοητή η εκκίνηση. Με την εντολή «Πάμε» αμέσως εκτελούνταν η έκκεντρη φάση του άλματος φθάνοντας σε γωνία περίπου 90° στο γόνατο και απευθείας ένα γρήγορο κατακόρυφο άλμα –σύγκεντρη φάση, χωρίς καθυστέρηση ανάμεσα στις δύο φάσεις. Κατά την προσγείωση τα κάτω άκρα έπρεπε να λυγίζουν ελαφρώς επιτρέποντας την απορρόφηση των κραδασμών και ήταν απαραίτητη η προσγείωση εντός των δυναμοδάπεδων για την καταγραφή των εμβιομηχανικών παραμέτρων, αλλά και επειδή έτσι διατηρούνταν το άλμα κατακόρυφο αποτρέποντας μετατοπίσεις προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Κατά τη διάρκεια της επαφής των κάτω άκρων με το έδαφος, οι συμμετέχοντες έπρεπε να ασκούν πίεση με τα δάχτυλά τους (gripping the floor), με στόχο την αύξηση της καμάρας, τη διατήρηση της ισορροπίας και την αποφυγή οποιασδήποτε αρχικής ολίσθησης.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών CMJ πραγματοποιήθηκε λεπτομερής τρισδιάστατη καταγραφή της κίνησης της πυέλου και των κάτω άκρων χρησιμοποιώντας τους 20 ανακλαστήρες που τοποθετήθηκαν σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, με βάση τη βιβλιογραφία (Benos et al., 2021; Kokkotis et al., 2022). Οι θέσεις των ανακλαστήρων στην πρώτη μέτρηση σημειώθηκαν με ανεξίτηλο μαρκαδόρο, ώστε να είναι όσο το δυνατόν οι ίδιες και στην επαναμέτρηση 48 ώρες μετά τον AMT στην επόμενη συνεδρία. Τέλος, πραγματοποιήθηκε συγχρονισμένη μέτρηση των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους και στις τρεις διαστάσεις.

(α)



(β)



Σχήμα 2. Τοποθέτηση ανακλαστήρων

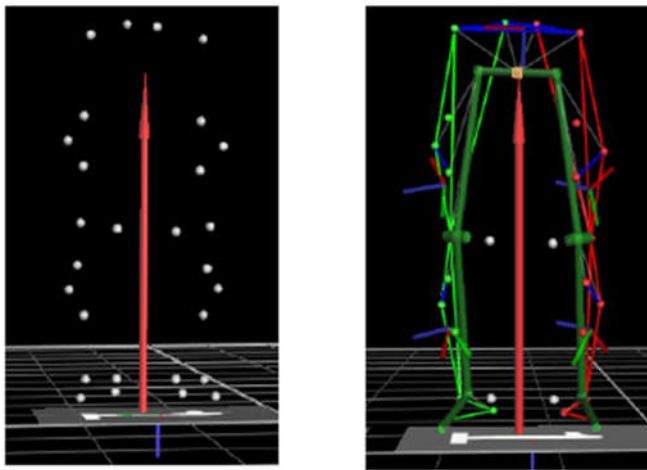
(α) πρόσθια, (β) πλάγια όψη

Επεξεργασία δεδομένων οπτικό-ηλεκτρονικού συστήματος

Η επεξεργασία των δεδομένων βασίστηκε σε συναφή βιβλιογραφία (Jirovska et al., 2021; Minas et al., 2019). Η κινητική ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της κλασικής μεθοδολογίας αντίστροφης δυναμικής (inverse dynamics). Ο υπολογισμός του κέντρου μάζας και της ροπής αδράνειας για κάθε άκρο του σώματος βασίστηκε στα ανθρωπομετρικά δεδομένα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία του Winter (1990). Για την εξαγωγή των εμβιομηχανικών παραμέτρων και την περαιτέρω ανάλυση τους λήφθηκαν υπόψιν τα καλύτερα κατακόρυφα άλματα από κάθε συνεδρία με όσο το δυνατόν λιγότερα σφάλματα. Για την επίτευξη αυτών η επιλογή έγινε σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο πρωτόκολλο των κατακόρυφων αλμάτων, αλλά και με βάση την παρακολούθηση του διαγράμματος της κατακόρυφης δύναμης του εδάφους – το χρόνο ($F_z - t$). Οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους σχετικοποιήθηκαν ως προς το ποσοστό του σωματικού βάρους (% ΣΒ) και οι κινητικές παράμετροι ως προς τη σωματική μάζα.

Για την ακριβέστερη εκτίμηση των κινηματικών και κινητικών παραμέτρων και την ελαχιστοποίηση εμφάνισης σφαλμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα ευρήματα της μελέτης του Ehrig και των συνεργατών του (2007) για τη δημιουργία ενός λειτουργικού μοντέλου. Ο σκοπός του μοντέλου αυτού ήταν η δημιουργία/προσδιορισμός όσο το δυνατόν καλύτερα των κέντρων των αρθρώσεων και των αξόνων περιστροφής. Η διαδικασία αυτή ακολούθησε

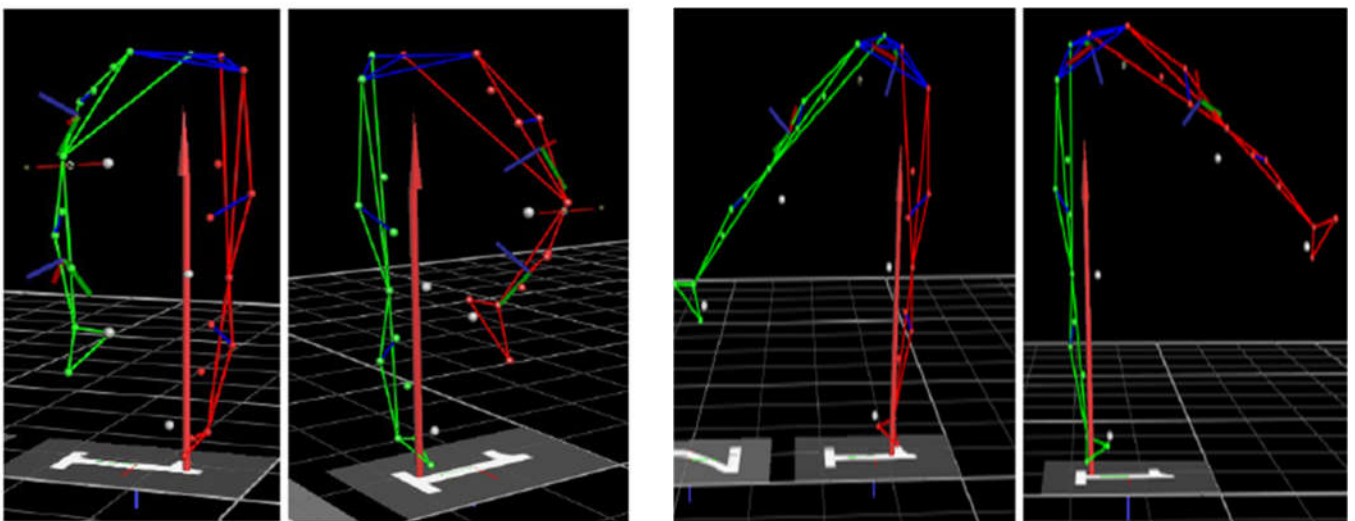
δύο στάδια με πρώτο το στατικό (static), για το οποίο χρησιμοποιήθηκε το κλασικό μοντέλο για τον υπολογισμό των αρχικών θέσεων των κέντρων και των αξόνων περιστροφής (Σχήμα 3). Το δεύτερο στάδιο ήταν το δυναμικό (dynamic) στάδιο, το οποίο απαιτούσε από τους συμμετέχοντες την εκτέλεση κάποιων λειτουργικών κινήσεων για το γόνατο και το ισχίο (κάμψη γόνατος, κάμψη/απαγωγή/προσαγωγή/έκταση/περιαγωγή ισχίου σε πλήρες εύρος χωρίς αντισταθμιστικές κινήσεις), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Σε αυτό το στάδιο προσδιορίστηκαν οι τελικές θέσεις των κέντρων των αρθρώσεων και των αξόνων περιστροφής με τη χρήση μεθόδων μαθηματικής βελτιστοποίησης (optimization). Έπειτα από αυτά τα δύο στάδια, αφού πραγματοποιήθηκε η ανάλυσή τους, ακολούθησε η επεξεργασία των εμβιομηχανικών παραμέτρων κατά την εκτέλεση των κατακόρυφων αλμάτων.



Σχήμα 3. Καταγραφή και επεξεργασία στατικής προσπάθειας.

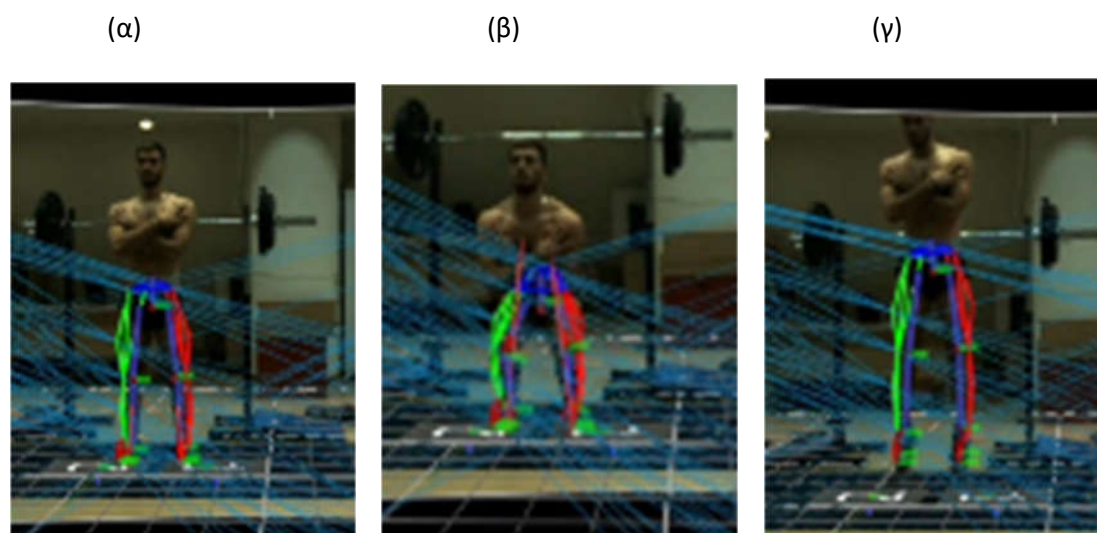
(α)

(β)



Σχήμα 4. Καταγραφή και επεξεργασία δυναμικών λειτουργικών προσπαθειών, για τον προσδιορισμό του κέντρου των αρθρώσεων και των αξόνων περιστροφής.

(α) κάμψη-έκταση γόνατος σε σταθερή θέση κάμψης ισχίου, (β) κινήσεις ισχίου



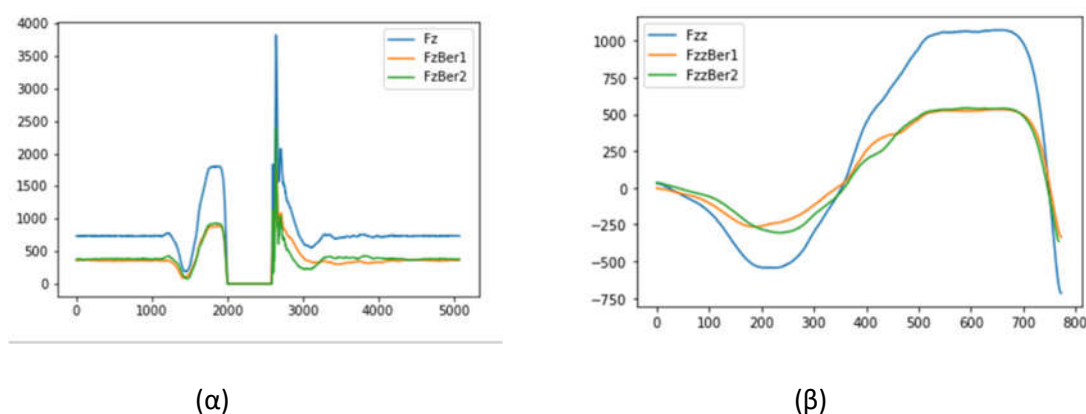
Σχήμα 5. Απεικόνιση εκτέλεσης κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ).

(α) όρθια/σταθερή αρχική θέση, (β) έκκεντρη φάση/απότομο κατέβασμα, (γ) σύγκεντρη φάση/άλμα.

Υπολογισμός μεταβλητών με Python και Vicon Procalc

Ύστερα από την ανάλυση των αλμάτων στο οπτικό-ηλεκτρονικό σύστημα ακολούθησε ο υπολογισμός των εμβιομηχανικών παραμέτρων των κατακόρυφων αλμάτων για κάθε άκρο ξεχωριστά (χειρουργημένο και υγιές), αλλά και μαζί, με τη χρήση ενός κώδικα Python που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο της εμβιομηχανικής του ΤΕΦΑΑ ΠΘ και με το λογισμικό Vicon Procalc για επιλεγμένες εμβιομηχανικές παραμέτρους. Κατά τη διαδικασία αυτή, πρώτο βήμα ήταν η καθορισμός του σημείου έναρξης της κίνησης, γνωστού ως "onset". Γι' αυτό λοιπόν, ελέγχθηκε και υπολογίστηκε το σωματικό βάρος κάθε συμμετέχοντα χρησιμοποιώντας το μέσο όρο των δυνάμεων VGRF από κάθε δυναμοδάπεδο για διάστημα 2 s και διαιρέθηκε με την τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας (κατά προσέγγιση ≈ 9.81). Το σημείο onset στο κατακόρυφο άλμα ξεκίνησε 30 ms πριν από τη στιγμή κατά την οποία η συνολική VGRF και από τα δύο δυναμοδάπεδα ήταν χαμηλότερη από το σωματικό βάρος μείον 5 SD (standard deviations – τυπικές αποκλίσεις) της φάσης ζύγισης (στατική). Η

μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε ακριβώς και για την ανάλυση κάθε άκρου ξεχωριστά. Το Vicon Procalc αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση δεδομένων και τον υπολογισμό εμβιομηχανικών παραμέτρων του δυναμοδαπέδου και του οπτικο-ηλεκτρονικού συστήματος. Πρόκειται για ένα λογισμικό στο οποίο εκτελούνται για κάθε προσπάθεια προηγμένοι αλγόριθμοι ανάλυσης, οι οποίοι επεξεργάζονται τα δεδομένα που προέρχονται από το οπτικό-ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής κίνησης Vicon και τα δυναμοδάπεδα και δίνουν τελικώς, τις τιμές των εξεταζόμενων παραμέτρων. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν οι: μέγιστη ροπή, μέγιστη γωνία κάμψης και μέγιστη ισχύς κάθε άρθρωσης (ισχίου, γόνατος και ποδοκνημικής). Αντίστοιχα, με τη χρήση του κώδικα της Python υπολογίστηκαν οι παράμετροι: ώθηση, ύψος άλματος, κατακόρυφη δύναμη τη στιγμή που έχει αναπτυχθεί η μέγιστη ισχύς «GRF value at the index of peak power», peak VGRF, μέγιστη ισχύς, μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης δύναμης στα 20 ms «peak RFD 20 ms», μέσος ρυθμός ανάπτυξης δύναμης στα 20 ms «mean RFD 20 ms».



Σχήμα 6. Απεικόνιση σημάτων κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ) με τη χρήση του κώδικα της Python.

Στατιστική Ανάλυση

Δείκτες AMT

Η στατιστική επεξεργασία όλων των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος SPSS Statistical Software (v. 29.0). Όλοι οι εξεταζόμενοι δείκτες AMT (Πίνακας 2) αξιολογήθηκαν για την ομαλότητα της κατανομής με το τεστ Kolmogorov-Smirnov. Η MIT των εκτεινόντων του γόνατος πριν, αμέσως μετά και 48 ώρες μετά την πρόκληση του AMT εξετάστηκε εφαρμόζοντας ανάλυση διακύμανσης διπλής κατεύθυνσης με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες (2 κάτω άκρα × 3 χρονικές στιγμές μέτρησης). Οι στατιστικά σημαντικές αλληλεπιδράσεις και κύριες επιδράσεις ελέγχθηκαν χρησιμοποιώντας το Post-hoc test

Bonferroni. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε για όλες τις αναλύσεις σε $p < .05$. Αναφορικά με τον DOMS εφαρμόστηκαν t-test με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις πριν και 48 ώρες μετά τον AMT. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά ο σχεδιασμός της έρευνας ως προς το μυϊκό τραυματισμό και ως προς τον DOMS:

Πίνακας 2. Εξεταζόμενοι δείκτες AMT.

Ανεξάρτητες μεταβλητές	Επίπεδα	Εξαρτημένες μεταβλητές
Εξεταζόμενο κάτω άκρο	2 επίπεδα (χειρουργημένο και υγιές)	Μέγιστη ισομετρική ροπή
Χρονική στιγμή της μέτρησης	2 επίπεδα (πριν και 48 ώρες μετά τον AMT)	εκτεινόντων γόνατος
Χρονική στιγμή της μέτρησης	2 επίπεδα (πριν, 48 ώρες μετά)	Καθυστερημένος μυϊκός πόνος

Απόδοση και εμβιομηχανικοί παράμετροι CMJ

Αναφορικά με την απόδοση και τις εμβιομηχανικές παραμέτρους που εξετάστηκαν πριν και μετά την πρόκληση AMT (Πίνακας 3) εφαρμόστηκαν t-test για εξαρτημένα δείγματα, αφού ελέγχθηκε η ομαλότητα της κατανομής των παραμέτρων με το τεστ Kolmogorov-Smirnov. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε για όλες τις αναλύσεις σε $p < .05$ και τα δεδομένα παρουσιάστηκαν ως μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση.

Απόδοση και εμβιομηχανικοί παράμετροι CMJ χειρουργημένου και υγιούς κάτω άκρου

Αφού έγινε έλεγχος της ομαλότητας της κατανομής με το τεστ Kolmogorov-Smirnov, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης διπλής κατεύθυνσης με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες (2 κάτω άκρα $\times$ 2 χρονικές στιγμές μέτρησης) για να διερευνηθεί η επίδραση του AMT στις εξεταζόμενες δυναμικές και κινηματικές παραμέτρους του CMJ (Πίνακας 3). Οι στατιστικά σημαντικές αλληλεπιδράσεις και κύριες επιδράσεις έγιναν με τη χρήση του Post-hoc test Bonferroni. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε για όλες τις αναλύσεις σε $p < .05$ και τα δεδομένα παρουσιάστηκαν ως μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση.

Πίνακας 3. Εξεταζόμενες δυναμικές και κινηματικές παράμετροι.

Ανεξάρτητες μεταβλητές	Επίπεδα	Εξαρτημένες μεταβλητές
Χρονική στιγμή της μέτρησης	2 επίπεδα (πριν και 48 ώρες μετά)	Απόδοση και δυναμικές διποδικές παράμετροι στο CMJ
Εξεταζόμενο κάτω άκρο	2 επίπεδα (χειρουργημένο και υγιές)	Δυναμικές και κινηματικές μονοποδικές παράμετροι
Χρονική στιγμή της μέτρησης	2 επίπεδα (πριν και 48 ώρες μετά τον AMT)	

Αποτελέσματα

Δείκτες AMT

Το Kolmogorov-Smirnov test έδειξε ότι όλοι οι δείκτες AMT τηρούν την ομαλή κατανομή ($p > .05$). Από τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων προέκυψε στατιστικά σημαντική επίδραση της έκκεντρης άσκησης σε όλους τους εξεταζόμενους δείκτες του AMT που αξιολογήθηκαν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Επίδραση της έκκεντρης άσκησης στους δείκτες του μυϊκού τραυματισμού (AMT).

Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπικές αποκλίσεις.

Δείκτες AMT	Πριν			48 ώρες μετά		
MIP εκτεινόντων Χ (Nm)	262	$\pm$	41	221	$\pm$	53*
MIP εκτεινόντων Υ (Nm)	308	$\pm$	41	237	$\pm$	41*
DOMS εκτεινόντων Χ	0			6.4	$\pm$	1*
DOMS εκτεινόντων Υ	0			6.8	$\pm$	1*

*στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τις τιμές πριν την έκκεντρη άσκηση ($p < .05$).

ΔΜ, δεν μετρήθηκε; Χ, χειρουργημένο κάτω άκρο; Υ, υγιές κάτω άκρο; MIP εκτεινόντων (Nm), μέγιστη ισομετρική ροπή εκτεινόντων γόνατος; DOMS εκτεινόντων, καθυστερημένος μυϊκός πόνος εκτεινόντων γόνατος.

Απόδοση στο CMJ και διποδικές εμβιομηχανικές παράμετροι

Τα αποτελέσματα αναφορικά με την απόδοση στο CMJ και στις διποδικές εμβιομηχανικές παραμέτρους παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5. Τα t-tests με εξαρτημένα δείγματα έδειξαν ότι υπήρχε στατιστικά σημαντική μείωση των παραμέτρων: ώθηση, ύψος άλματος, κατακόρυφη δύναμη τη στιγμή που έχει αναπτυχθεί η μέγιστη ισχύς, μέγιστη ισχύς των κατακόρυφων αλμάτων 48 ώρες μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου πρόκλησης AMT ($p < .05$). Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στις παραμέτρους του μέγιστου και του μέσου ρυθμού ανάπτυξης δύναμης στα πρώτα 20 ms, όταν έγινε σύγκριση των αρχικών μετρήσεων 24 ώρες πριν με τις τελικές μετρήσεις 48 ώρες μετά την πρόκληση AMT. Τα αποτελέσματα του t-test αφορούν αποκλείστηκα διαφορές μεταξύ των προσπαθειών pre – 24 ώρες πριν και post – 48 ώρες μετά τον AMT, ανεξαρτήτως χειρουργημένου και μη κάτω άκρου.

Πίνακας 5. Απόδοση και διποδικές δυναμικές παράμετροι κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ) 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση του μυϊκού τραυματισμού (AMT). Για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι (Μ.Ο.) $\pm$ τυπικές αποκλίσεις (Τ.Α.) και η τιμή του δείκτη $t_{(df)}$.

Χωρο-χρονικές παράμετροι		24 ώρες πριν	48 ώρες μετά	$t_{(11)}$
X1	Ώθηση	190.73 $\pm$ 22.86	184.19 $\pm$ 22.84	3.35
X2	Ύψος άλματος	0.31 $\pm$ 0.04	0.29 $\pm$ 0.04	4.15
X3	Κατακόρυφη δύναμη τη στιγμή που έχει αναπτυχθεί η μέγιστη ισχύς	819.88 $\pm$ 123.69	805.03 $\pm$ 162.93	0.68
X4	Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη εδάφους	1049.55 $\pm$ 119.77	950.90 $\pm$ 175.37	2.14
X5	Μέγιστη ισχύς	48.44 $\pm$ 5.76	46.02 $\pm$ 6.02	3.14
X6	Μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης δύναμης 20 ms	10314.79 $\pm$ 4751.79	9524.3 $\pm$ 3757.49	0.40
X7	Μέσος ρυθμός ανάπτυξης δύναμης 20 ms	8635.82 $\pm$ 4354.09	7381.04 $\pm$ 3144.73	0.73

*Στατιστικά σημαντική διαφορά με 24 ώρες πριν την πρόκληση AMT ($p < .05$).

Απόδοση στο CMJ και μονοποδικές εμβιομηχανικές παράμετροι χειρουργημένου και υγιούς κάτω άκρου

Τα αποτελέσματα αναφορικά με τις δυναμικές μονοποδικές παραμέτρους που αξιολογήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Από την ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις 2 X 2 (2 κάτω άκρα X 2 χρονικές στιγμές) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξεταζόμενων παραγόντων στις εξεταζόμενες δυναμικές παραμέτρους. Παρατηρήθηκε ωστόσο, κύρια επίδραση για τον παράγοντα «κάτω άκρα» (χειρουργημένο και υγιές κάτω άκρο) στις παραμέτρους ώθηση, μέγιστη ισχύς, κατακόρυφη δύναμη τη στιγμή που υπάρχει μέγιστη ισχύς και μέγιστη VGRF. Συγκεκριμένα, το χειρουργημένο άκρο παρουσίασε τόσο πριν όσο και μετά τον AMT μικρότερη τιμή σε όλες τις παραπάνω παραμέτρους (Πίνακας 6). Όσον αφορά τον παράγοντα «χρονική στιγμή μέτρησης» παρατηρήθηκε κύρια επίδραση στις παραμέτρους ώθηση και μέγιστη ισχύς. Πιο συγκεκριμένα, ύστερα από τον AMT ότι ανεξάρτητα από το κάτω άκρο (χειρουργημένο και υγιές) υπήρξε μείωση των τιμών τους από την αρχική στην τελική μέτρηση. Όσον αφορά την παράμετρο μέγιστη VGRF φάνηκε να υπάρχει μία μικρή τάση για επίδραση του παράγοντα της χρονικής στιγμής με $p = .055$ (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Μονοποδικές δυναμικές παράμετροι κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (CMJ) 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση του μυϊκού τραυματισμού (AMT). Για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται οι Μ.Ο. $\pm$ Τ.Α. και οι τιμές F της ανάλυσης διακύμανσης.

ΚΑΤΩ ΑΚΡΟ		ΑΡΙΣΤΕΡΟ				ΔΕΞΙ				$F_{(1,11)}$	$F_{(1,11)}$	$F_{(1,11)}$
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ		24 ώρες πριν		48 ώρες μετά		24 ώρες πριν		48 ώρες μετά		L	T	T X L
Δ1	Ώθηση	86.66	± 16.38	82.04	± 19.36	104.08	± 15.17	102.16	± 12.22	9.61*	11.21*	0.36
Δ2	Κατακόρυφη δύναμη τη στιγμή που ισχύς μέγιστη	378.9	± 64.74	375.33	± 93.26	439.45	± 78.82	432.13	± 88.59	6.81*	0.30	0.28
Δ3	Μέγιστη κατακόρυφη δύναμη εδάφους	501.81	± 49.76	457.6	± 97.75	558.81	± 85.83	509.30	± 92.80	6.43*	4.62	0.11
Δ4	Μέγιστη ισχύς	42.89	± 8.87	40.31	± 11.23	55.67	± 11.16	53.09	± 8.95	7.88*	11.50*	0.00

Δ5	Μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης δύναμης 20 ms	5463	± 2449	5222	± 2711	5655	± 2800	4850	± 1542	0.08	0.26	0.50
Δ6	Μέσος ρυθμός ανάπτυξης δύναμης 20 ms	4416.	± 2209	3702	± 2209	4219	± 2236	3678	± 1456	0.13	0.53	0.07

L, κύρια επίδραση του τραυματισμένου και μη κάτω άκρου; T, κύρια επίδραση χρονικής στιγμής πριν και μετά την πρόκληση AMT; T × L, αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων.

ΑΡΙΣΤΕΡΟ, χειρουργημένο κάτω άκρο; ΔΕΞΙ, υγιές κάτω άκρο.

*στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση AMT ($p < .05$).

Τα αποτελέσματα αναφορικά με τις κινηματικές μονοποδικές παραμέτρους που αξιολογήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Από την ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις 2 X 2 (2 κάτω άκρα X 2 χρονικές στιγμές) δεν παρατηρήθηκαν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξεταζόμενων παραγόντων στις εξεταζόμενες δυναμικές παραμέτρους. Παρατηρήθηκε ωστόσο, κύρια επίδραση για τον παράγοντα «κάτω άκρα» (χειρουργημένο και υγιές κάτω άκρο) στις παραμέτρους γωνία κάμψης γόνατος, μέγιστη ροπή γόνατος, γωνία κάμψης ποδοκνημικής. Ειδικότερα, το χειρουργημένο άκρο παρουσίασε τόσο πριν όσο και μετά τον AMT μικρότερες τιμές σε σχέση με το μη τραυματισμένο. Όσον αφορά τον παράγοντα «χρονική στιγμή μέτρησης» δεν παρατηρήθηκε σε καμία παράμετρο στατιστικά σημαντική επίδραση ($p > .05$). Παρόλα αυτά, μία μικρή τάση για επίδραση της χρονικής στιγμής εκτέλεσης των κατακόρυφων αλμάτων εντοπίστηκε στις παραμέτρους μέγιστη ροπή ποδοκνημικής άρθρωσης ($p = .054$) και μέγιστη ισχύς γόνατος ($p = .063$) (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Κινηματικές και κινητικές παράμετροι του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής κατά την εκτέλεση κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση του μυϊκού τραυματισμού (AMT). Για κάθε παράμετρο παρουσιάζονται οι μέσοι όροι ± τυπικές αποκλίσεις και οι τιμές F της ανάλυσης διακύμανσης.

	ΚΑΤΩ ΑΚΡΑ	ΑΡΙΣΤΕΡΟ		ΔΕΞΙ		$F_{(1,11)}$	$F_{(1,11)}$	$F_{(1,11)}$
		24 ώρες πριν	48 ώρες μετά	24 ώρες πριν	48 ώρες μετά	L	T	T X L
K1	Γωνία κάμψης ισχίου	94.82 ± 9.32	93.92 ± 5.84	94.24 ± 9.91	93.30 ± 5.78	0.82	0.14	0.001

K2	Γωνία κάμψης γόνατος	91.33 ± 9.02	90.80 ± 10.00	93.45 ± 6.82	92.51 ± 9.31	6.89*	0.15	0.14
K3	Γωνία κάμψης ποδοκνημικής	32.21 ± 5.31	31.75 ± 5.34	36.21 ± 4.55	34.65 ± 3.51	10.39*	1.34	1.07
K4	Μέγιστη ροπή ισχίου	2.40 ± 0.25	2.34 ± 0.48	2.32 ± 0.39	2.25 ± 0.49	1.04	0.22	0.11
K5	Μέγιστη ροπή γόνατος	1.45 ± 0.34	1.28 ± 0.24	1.68 ± 0.35	1.55 ± 0.20	13.63*	2.74	1.12
K6	Μέγιστη ροπή ποδοκνημικής	1.56 ± 0.16	1.50 ± 0.19	1.66 ± 0.21	1.58 ± 0.17	3.96	4.67	0.54
K7	Μέγιστη ισχύς ισχίου	8.28 ± 3.19	6.53 ± 1.75	7.86 ± 1.82	8.42 ± 5.01	1.97	1.32	1.90
K8	Μέγιστη ισχύς γόνατος	14.24 ± 3.50	12.29 ± 2.07	15.62 ± 3.79	13.58 ± 2.89	3.84	4.29	0.07
K9	Μέγιστη ισχύς ποδοκνημικής	11.66 ± 2.86	11.36 ± 2.51	13.25 ± 3.29	12.36 ± 2.32	4.34	1.25	1.03

L, κύρια επίδραση του τραυματισμένου και μη κάτω άκρου; T, κύρια επίδραση χρονικής στιγμής πριν και μετά την πρόκληση AMT; T × L, αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων.

ΑΡΙΣΤΕΡΟ, χειρουργημένο κάτω άκρο; ΔΕΞΙ, υγιές κάτω άκρο.

*στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών 24 ώρες πριν και 48 ώρες μετά την πρόκληση AMT ($p < .05$).

Συζήτηση

Ο σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η διερεύνηση των επιδράσεων που φέρει ένα πρωτόκολλο πρόκλησης AMT στις διποδικές και μονοποδικές εμβιομηχανικές παραμέτρους και στην επακόλουθη απόδοση του CMJ σε άνδρες που πραγματοποίησαν χειρουργείο στον πρόσθιο χιαστό τους σύνδεσμο. Η ερευνητική μας υπόθεση επιβεβαιώθηκε καθώς παρουσιάστηκε επιδείνωση σε ορισμένες διποδικές/μονοποδικές εμβιομηχανικές παραμέτρους.

Από τη συγκεκριμένη έρευνα αναφορικά με τους δείκτες AMT που αξιολογήθηκαν πριν και 48 ώρες μετά, τη MIP των εκτεινόντων του γόνατος και τον DOMS, προκύπτει ότι 48 ώρες μετά μειώθηκε η MIP και αυξήθηκε ο DOMS (Πίνακας 4). Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να είναι σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε υγιή πληθυσμό, όπως αυτή του Nosaka και των συνεργατών του (2002), αλλά και του Byrne και των συνεργατών του (2004) και του Palmieri-Smith και των συνεργατών του (2008). Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τους δείκτες AMT, το ενδιαφέρον εστιάζεται στο ότι η πτώση στη MIP στο υγιές κάτω άκρο ήταν μεγαλύτερη με ποσοστό πτώσης 23% συγκριτικά με το χειρουργημένο άκρο στο οποίο ήταν 15,5%. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην αδυναμία πλήρους ενεργοποίησης του τετρακεφάλου μυός κατά την εκτέλεση του ισομετρικού πρωτοκόλλου του μυϊκού τραυματισμού ή ακόμα και στο φόβο των ατόμων που έχουν υποστεί παλαιότερα ρήξη ΠΧΣ να ενεργοποιήσουν πλήρως τους μύες τους. Τέλος, παρουσιάστηκε έλλειμα δύναμης στο χειρουργημένο άκρο έναντι του υγιούς σχετικά με τη MIP των εκτεινόντων του γόνατος. Κάτι τέτοιο συμπίπτει με τη βιβλιογραφία, η οποία υποστηρίζει ότι η προκειμένη διαφορά μπορεί να οφείλεται σε ατροφία του τετρακεφάλου μυός (Williams et al., 2005).

Εξετάζοντας επιλεγμένες διποδικές εμβιομηχανικές παραμέτρους και την απόδοση στο CMJ τόσο πριν όσο και 48 ώρες μετά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου AMT παρατηρήθηκε μείωση στο ύψος του άλματος, την ώθηση, τη μέγιστη κατακόρυφη δύναμη του εδάφους και τη μέγιστη ισχύ 48 ώρες μετά. Μελέτες που έγιναν στο παρελθόν σε υγιή πληθυσμό φαίνεται πως επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης (Oliver et al., 2008; Tsatalas et al., 2021). Μία ενδιαφέρουσα παρατήρηση αφορά την κατακόρυφη δύναμη του εδάφους κατά την επίτευξη της μέγιστης ισχύος, η οποία δεν παρουσίασε μεταβολή, υποδηλώνοντας ότι η μείωση της μέγιστης ισχύος ίσως οφειλόταν περισσότερο στην ταχύτητα, παρά στη δύναμη. Συγκεκριμένα, όπως είναι γνωστό δεδομένου ότι η ισχύς ισούται με το γινόμενο της δύναμης επί την ταχύτητα, η μείωσή της εφόσον η δύναμη δεν επηρεάστηκε ίσως να

οφείλεται σε πτώση της ταχύτητας ή/και λόγω της μειωμένης λειτουργίας του κύκλου διάταξης – βράχυνσης. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5, στο μέγιστο και μέσο ρυθμό ανάπτυξης της δύναμης στα πρώτα 20 ms, εξαιτίας της μεγάλης μεταβλητότητας που παρουσιάστηκε. Η ερμηνεία αυτής της μεγάλης μεταβλητότητας πιθανά να συνδέεται με το δείγμα της μελέτης, καθώς κάποιοι συμμετέχοντες βελτιώθηκαν μετά το πρωτόκολλο, ενώ άλλοι μείωσαν την απόδοση, οδηγώντας σε μεγάλες τιμές τυπικής απόκλισης. Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα.

Ύστερα από τη διερεύνηση των μονοποδικών εμβιομηχανικών παραμέτρων του CMJ δεν υπήρξαν αλληλεπιδράσεις παρά μόνο κύριες επιδράσεις των παραγόντων κάτω άκρα (χειρουργημένο και υγιές) και χρονικές στιγμές μέτρησης (πριν και 48 ώρες μετά). Συγκεκριμένα, ανεξάρτητα από την παρουσία AMT, παρουσιάστηκε έλλειμμα στην ώθηση και τη μέγιστη ισχύ στο χειρουργημένο άκρο, γεγονός που μπορεί να οφείλεται πιθανώς σε ανεπάρκεια δύναμης, κάτι που επιβεβαιώθηκε και από τις μετρήσεις στο ισοκινητικό δυναμόμετρο. Μια άλλη πιθανή ερμηνεία είναι η χρήση μιας στρατηγικής προστασίας κατά τη σύγκεντρη φάση της ώθησης προκειμένου να προστατευτεί το χειρουργημένο άκρο. Έτσι, το τραυματισμένο κάτω άκρο πιθανότατα υποβάλλεται σε μικρότερη επιβάρυνση σε σύγκριση με το υγιές (Lerpley & Kuenze, 2018). Επιπλέον, ανεξάρτητα από το κάτω άκρο, ο AMT προκάλεσε πτώση τόσο στην ώθηση όσο και τη μέγιστη ισχύ, ευρήματα σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν (Dutailis et al., 2023; Peñailillo et al., 2015).

Αρκετά σημαντικά ευρήματα προέκυψαν από τις αναλύσεις των μονοποδικών κινητικών και κινηματικών εμβιομηχανικών παραμέτρων του CMJ. Ειδικότερα, η γωνία κάμψης γόνατος τόσο πριν όσο και 48 ώρες μετά την πρόκληση του AMT ήταν μικρότερη στο χειρουργημένο άκρο συγκριτικά με το υγιές. Σύμφωνα με την Nicol και τους συνεργάτες της (2006) άτομα που έχουν υποστεί ρήξη ΠΧΣ και έχουν χειρουργηθεί εμφανίζουν αυξημένη σκληρότητα στο χειρουργημένο άκρο και επομένως, μειωμένο εύρος κίνησης σε σχέση με το υγιές. Αντίστοιχα και η γωνία κάμψης της ποδοκνημικής τόσο πριν όσο και 48 ώρες μετά ήταν μειωμένη στο χειρουργημένο κάτω άκρο εμφανίζοντας μικρότερη ραχιαία κάμψη. Επίσης, υπήρξε μικρότερη ροπή της έκτασης του γόνατος στο χειρουργημένο κάτω άκρο, κάτι που υποδηλώνει μεγαλύτερη επιβάρυνση του υγιούς άκρου. Ενδιαφέρον εύρημα παρατηρείται στην άρθρωση του ισχίου που αν και δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά υπήρξε μία τάση για μεγαλύτερη συμμετοχή του ισχίου στο υγιές άκρο 48 ώρες μετά τον AMT (Πίνακας 6). Πιθανότατα, το δείγμα στην παρούσα μελέτη να ήταν σχετικά μικρό και να

χρειάζεται περαιτέρω μελέτη. Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποίησε ο Hewett με τους συνεργάτες του (2016) φαίνεται η συμμετοχή του ισχίου να αυξάνεται παίζοντας σημαντικό ρόλο στην εκτέλεση αθλητικών κινήσεων με στόχο να μειώσουν τη δραστηριότητα του γόνατος και να αποφύγουν τον τραυματισμό/επανατραυματισμό του. Πιθανότατα να αποτελεί μία στρατηγική προστασίας για μείωση της επιβάρυνσης του γόνατος.

Περιορισμοί

Ο περιορισμένος αριθμός συμμετεχόντων στην παρούσα μελέτη σε συνδυασμό με το διαφορετικό είδος μοσχεύματος κατά τη χειρουργική αποκατάσταση ενδέχεται να επηρέασαν τα αποτελέσματα της έρευνας. Η εκτέλεση διποδικών CMJ χρησιμοποιήθηκε και για την αξιολόγηση των μονοποδικών εμβιομηχανικών παραμέτρων, ώστε να αναλυθούν και να συγκριθούν οι διαφορές μεταξύ του χειρουργημένου και του υγιούς άκρου. Πιθανότατα η χρήση μονοποδικών αλμάτων να θεωρείται πιο αξιόπιστη μέθοδος για την ανίχνευση ελλειμμάτων, μιας και κάθε πόδι μπορεί να αξιολογηθεί ανεξάρτητα, κάτι που διευκολύνει τον εντοπισμό των διαφορών (Impellizzeri et al., 2007; Meylan et al., 2010; Souissi et al., 2011). Ένας άλλος περιορισμός της μελέτης ήταν η συμμετοχή μόνο ανδρών, κάτι που απέτρεψε τη σύγκριση μεταξύ των δύο φύλων για πιθανές διαφορές. Τέλος, η χρήση ενός μη λειτουργικού πρωτοκόλλου πρόκλησης του AMT οδηγεί σε περιορισμούς στη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες και ανταποκρίνεται αποκλειστικά σε μετρήσεις εργαστηρίου.

Συμπεράσματα

Ο AMT που προκλήθηκε εργαστηριακά με τη χρήση του ισοκινητικού δυναμόμετρου σε άτομα που έχουν υποβληθεί σε χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ, μέσω της εφαρμογής υψηλής έντασης έκκεντρης άσκησης, οδήγησε σε μεταβολές στις εμβιομηχανικές παραμέτρους και στην απόδοση του CMJ. Οι μεταβολές και η επιδείνωση αυτών των παραμέτρων καθώς και η μείωση της απόδοσης είναι ευρήματα που συμφωνούν με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν σε υγιή πληθυσμό. Ανεξάρτητα από τον AMT παρουσιάστηκε αυξημένη σκληρότητα στο χειρουργημένο άκρο και έλλειμα δύναμης σε σχέση με το υγιές. Ένα σημαντικό εύρημα της παρούσας μελέτης ήταν ότι το έλλειμα δύναμης μεταξύ των κάτω άκρων στη MIP των εκτεινόντων του γόνατος από 15% πριν μειώθηκε σε 9% 48 ώρες μετά το πρωτόκολλο, ενώ η μέγιστη ροπή έκτασης γόνατος κατά το CMJ από 14% πριν αυξήθηκε σε 17%. Το ποσοστό του ελλείματος δύναμης στη MIP μειώθηκε διότι υπήρχε μεγαλύτερη πτώση στη MIP τους υγιούς κάτω άκρου 48 ώρες μετά. Δεδομένου ότι αναμένονταν η MIP με τη μέγιστη ροπή έκτασης γόνατος κατά το CMJ να συσχετίζονται, προτείνεται περαιτέρω μελέτη για τη διερεύνηση μηχανισμών χρησιμοποιώντας πιο προχωρημένες εμβιομηχανικές μεθόδους, όπως η μοντελοποίηση.

Μελλοντικές έρευνες

Ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα που θα μπορούσαν να προεκτείνουν τα αποτελέσματα της τρέχουσας μελέτης, όσον αφορά την επίδραση του AMT σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του ΠΧΣ κατά την εκτέλεση CMJ σε επιλεγμένες εμβιομηχανικές παραμέτρους και την επακόλουθη απόδοση, μπορούν να περιλαμβάνουν:

1. Την εφαρμογή ενός λειτουργικού πρωτοκόλλου πρόκλησης AMT που θα προσεγγίζει τις αγωνιστικές συνθήκες και θα περιλαμβάνει μετρήσεις στο πεδίο αντί για εργαστηριακές (π.χ. συμμετοχή σε αγώνες εξειδικευμένου αθλήματος ή/και εντός προπονητικών μονάδων),
2. Την επιλογή συγκεκριμένου δείγματος, όπως επαγγελματιών αθλητών υψηλού επιπέδου συγκεκριμένου αθλήματος, οι οποίοι εμφανίζουν συχνά ρήξεις στον ΠΧΣ (π.χ. ποδοσφαιριστές, μπασκετμπολίστες, βολεϊμπολίστες Α' κατηγορίας),
3. Την εξέταση των κατακόρυφων μονοποδικών αλμάτων,
4. Τη σύγκριση ατόμων με ρήξη ΠΧΣ που έχουν υποστεί ίδιου είδους μετεγχειρητική επέμβαση, επιγονατιδικού τένοντα ή οπίσθιων μηριαίων.

Βιβλιογραφία

- Agel, J., Rockwood, T., & Klossner, D. (2016). Collegiate ACL injury rates across 15 sports: national collegiate athletic association injury surveillance system data update (2004-2005 through 2012-2013). *Clinical journal of sport medicine*, 26(6), 518-523.
- Allen, D. G. (2001). Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 311-319.
- Allen, D. G., Whitehead, N. P., & Yeung, E. W. (2005). Mechanisms of stretch-induced muscle damage in normal and dystrophic muscle: role of ionic changes. *The Journal of physiology*, 567(3), 723-735.
- Ardern, C. L., Taylor, N. F., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2014). Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *British journal of sports medicine*.
- Armstrong, R. B. (1990). Initial events in exercise-induced muscular injury. *Medicine and science in sports and exercise*, 22(4), 429-435.
- Augustsson, J., Thomeé, R., & Karlsson, J. (2004). Ability of a new hop test to determine functional deficits after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 12, 350-356.
- 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. *The American journal of sports medicine*, 45(14), 3388-3396.
- Benos, L., Kokkotis, C., Tsatalas, T., Karampina, E., Tsaopoulos, D., & Bochtis, D. (2021). Biomechanical effects on lower extremities in human-robot collaborative agricultural tasks. *Applied Sciences*, 11(24), 11742.
- Bishop, C., Berney, J., Lake, J., Loturco, I., Blagrove, R., Turner, A., & Read, P. (2021). Bilateral deficit during jumping tasks: Relationship with speed and change of direction speed performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(7), 1833-1840.
- Bishop, C., Turner, A., Jarvis, P., Chavda, S., & Read, P. (2017). Considerations for selecting field-based strength and power fitness tests to measure asymmetries. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(9), 2635-2644.

- Bishop, C., Turner, A., Maloney, S., Lake, J., Loturco, I., Bromley, T., & Read, P. (2019). Drop jump asymmetry is associated with reduced sprint and change-of-direction speed performance in adult female soccer players. *Sports*, 7(1), 29.
- Black, C. D., & McCully, K. K. (2008). Muscle injury after repeated bouts of voluntary and electrically stimulated exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(9), 1605.
- Bloomer, R. J. (2007). The role of nutritional supplements in the prevention and treatment of resistance exercise-induced skeletal muscle injury. *Sports Medicine*, 37, 519-532.
- Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1986). Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54, 566-573.
- Brooks, S. V., Zerba, E., & Faulkner, J. A. (1995). Injury to muscle fibres after single stretches of passive and maximally stimulated muscles in mice. *The Journal of physiology*, 488(2), 459-469.
- Byrne, C., Twist, C., & Eston, R. (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage: theoretical and applied implications. *Sports medicine*, 34, 49-69.
- Cavagna, G. A., Dusman, B., & Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of applied physiology*, 24(1), 21-32.
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports medicine*, 33(2), 145-164.
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 81(11), S52-S69.
- Close, G. L., Ashton, T., McArdle, A., & Maclaren, D. P. (2005). The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 142(3), 257-266.
- Cordeiro, L. M. S., Rabelo, P. C. R., Moraes, M. M., Teixeira-Coelho, F., Coimbra, C. C., Wanner, S. P., & Soares, D. D. (2017). Physical exercise-induced fatigue: the role of serotonergic and dopaminergic systems. *Brazilian journal of medical and biological research*, 50, e6432.

- Cramer, R. M., Aagaard, P., Qvortrup, K., Langberg, H., Olesen, J., & Kjær, M. (2007). Myofibre damage in human skeletal muscle: effects of electrical stimulation versus voluntary contraction. *The Journal of physiology*, 583(1), 365-380.
- Damas, F., Nosaka, K., Libardi, C. A., Chen, T. C., & Ugrinowitsch, C. (2016). Susceptibility to exercise-induced muscle damage: a cluster analysis with a large sample. *International journal of sports medicine*, 633-640.
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Medicine*, 47, 663-675.
- Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Avloniti, A., Barbero-Álvarez, J. C., Mohr, M., Malliou, P., ... & Fatouros, I. G. (2015). Recovery kinetics of knee flexor and extensor strength after a football match. *PloS one*, 10(6), e0128072.
- 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.
- Evans, G. F., Haller, R. G., Wyrick, P. S., Parkey, R. W., & Fleckenstein, J. L. (1998). Submaximal delayed-onset muscle soreness: correlations between MR imaging findings and clinical measures. *Radiology*, 208(3), 815-820.
- Faulkner, J. A., Larkin, L. M., Claflin, D. R., & Brooks, S. V. (2007). Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 34(11), 1091-1096.
- Fochi, A. G., Damas, F., Berton, R., Alvarez, I., Miquelini, M., Salvini, T. F., & Libardi, C. A. (2016). Greater eccentric exercise-induced muscle damage by large versus small range of motion with the same end-point. *Biology of sport*, 33(3), 285-289.
- Fridén, J., & Lieber, R. L. (1998). Segmental muscle fiber lesions after repetitive eccentric contractions. *Cell and tissue research*, 293, 165-171.
- Fridén, J., Seger, J., Sjöström, M., & Ekblom, B. . (1983). Adaptive Response in Human Skeletal Muscle Subjected to Prolonged Eccentric Training. . *International Journal of Sports Medicine*, 4(3), 177–183. doi:10.1055/s-2008-1026031
- Fridén, J., Sjöström, M., & Ekblom, B. (1981). A morphological study of delayed muscle soreness. *Experientia*, 37, 506-507.

- Friedmann, B., Kinscherf, R., Vorwald, S., Müller, H., Kucera, K., Borisch, S., ... & Billeter, R. (2004). Muscular adaptations to computer-guided strength training with eccentric overload. *Acta Physiologica Scandinavica*, 182(1), 77-88.
- Friedmann-Bette, B., Bauer, T., Kinscherf, R., Vorwald, S., Klute, K., Bischoff, D., ... & Billeter, R. (2010). Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *European journal of applied physiology*, 108, 821-836.
- Friel, N. A., & Chu, C. R. (2013). The role of ACL injury in the development of posttraumatic knee osteoarthritis. *Clinics in sports medicine*, 32(1), 1-12.
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological reviews*.
- Gerber, J. P., Marcus, R. L., Dibble, L. E., & LaStayo, P. C. (2009). The use of eccentrically biased resistance exercise to mitigate muscle impairments following anterior cruciate ligament reconstruction: a short review. *Sports health*, 1(1), 31-38.
- Gerber, J. P., Marcus, R. L., Dibble, L. E., Greis, P. E., Burks, R. T., & LaStayo, P. C. (2009). Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 1-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Physical therapy*, 89(1), 51-59.
- Gerber, J. P., Marcus, R. L., Dibble, L. E., Greis, P. E., Burks, R. T., & LaStayo, P. C. (2007). Effects of early progressive eccentric exercise on muscle structure after anterior cruciate ligament reconstruction. *JBJS*, 89(3), 559-570.
- Godinho, I., Pinheiro, B. N., Júnior, L. D. S., Lucas, G. C., Cavalcante, J. F., Monteiro, G. M., & Uchoa, P. A. G. (2019). Effect of reduced ankle mobility on jumping performance in young athletes. *Motricidade*, 15(2-3), 46-51.
- Harris, K. P., Driban, J. B., Sitler, M. R., Cattano, N. M., Balasubramanian, E., & Hootman, J. M. (2017). Tibiofemoral osteoarthritis after surgical or nonsurgical treatment of anterior cruciate ligament rupture: a systematic review. *Journal of athletic training*, 52(6), 507-517.
- Hildebrandt, C., Müller, L., Zisch, B., Huber, R., Fink, C., & Raschner, C. (2015). Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 23, 1273-1281.

Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Frontiers in physiology*, 536.

Hody, S., Rogister, B., Leprince, P., Laglaine, T., & Croisier, J. L. (2013). The susceptibility of the knee extensors to eccentric exercise-induced muscle damage is not affected by leg dominance but by exercise order. *Clinical physiology and functional imaging*, 33(5), 373-380.

Howatson, G., Van Someren, K., & Hortobagyi, T. (2007). Repeated bout effect after maximal eccentric exercise. *International journal of sports medicine*, 557-563.

Hyldahl, R. D., Chen, T. C., & Nosaka, K. (2017). Mechanisms and mediators of the skeletal muscle repeated bout effect. *Exercise and sport sciences reviews*, 45(1), 24-33.

Ingersoll, C. D., Grindstaff, T. L., Pietrosimone, B. G., & Hart, J. M. (2008). Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury. *Clinics in sports medicine*, 27(3), 383-404.

Jamurtas, A. Z., Theocharis, V., Tofas, T., Tsiokanos, A., Yfanti, C., Paschalis, V., ... & Nosaka, K. (2005). Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *European journal of applied physiology*, 95, 179-185.

Jirovska, R., Kay, A. D., Tsatalas, T., Van Enis, A. J., Kokkotis, C., Giakas, G., & Mina, M. A. (2023). The Influence of Unstable Load and Traditional Free-Weight Back Squat Exercise on Subsequent Countermovement Jump Performance. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(4), 167.

Jordan, M. J., Aagaard, P., & Herzog, W. (2015). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(3), e301-e309.

Keays, S. L., Bullock-Saxton, J. E., Newcombe, P., & Bullock, M. I. (2006). The effectiveness of a pre-operative home-based physiotherapy programme for chronic anterior cruciate ligament deficiency. *Physiotherapy Research International*, 11(4), 204-218.

Kellis, E. L. E. F. T. H. E. R. I. O. S., & Baltzopoulos, V. A. S. I. L. I. O. S. (1998). Muscle activation differences between eccentric and concentric isokinetic exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(11), 1616-1623.

Kinikli, G. I., Yuksel, I., Baltaci, G., & Atay, O. A. (2014). The effect of progressive eccentric and concentric training on functional performance after autogenous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study.

- Kokkotis, C., Moustakidis, S., Tsatalas, T., Ntakolia, C., Chalatsis, G., Konstadakos, S., ... & Tsaopoulos, D. (2022). Leveraging explainable machine learning to identify gait biomechanical parameters associated with anterior cruciate ligament injury. *Scientific Reports*, 12(1), 6647.
- Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of biomechanics*, 33(10), 1197-1206.
- Komi, P. V., & Gollhofer, A. (1997). Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *Journal of applied biomechanics*, 13(4), 451-460.
- Kons, R. L., Orssatto, L. B. D. R., Sakugawa, R. L., da Silva Junior, J. N., Diefenthaeler, F., & Detanico, D. (2023). Effects of stretch-shortening cycle fatigue protocol on lower limb asymmetry and muscle soreness in judo athletes. *Sports Biomechanics*, 22(9), 1079-1094.
- Kositsky, A., Kidgell, D. J., & Avela, J. (2019). Medial gastrocnemius muscle architecture is altered after exhaustive stretch-shortening cycle exercise. *Frontiers in Physiology*, 10, 1511.
- 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.
- Lauritzen, F., Paulsen, G., Raastad, T., Bergersen, L. H., & Owe, S. G. (2009). Gross ultrastructural changes and necrotic fiber segments in elbow flexor muscles after maximal voluntary eccentric action in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1923-1934.
- 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.
- Lepley, A. S., & Kuenze, C. M. (2018). Hip and knee kinematics and kinetics during landing tasks after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Athletic Training*, 53(2), 144-159.
- 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. *The American journal of sports medicine*, 45(2), 386-393.
- Lieber, R. L. (1988). Selective damage of fast glycolytic muscle fibers with eccentric contraction of the rabbit tibialis anterior. *Acta Physiol Scand*, 133, 587-588.

- Lindstedt, S. L., LaStayo, P. C., & Reich, T. E. (2001). When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *Physiology*, 16(6), 256-261.
- Liu, Y., Dillon, A. R., Tillson, M., Makarewich, C., Nguyen, V., Dell'Italia, L., ... & Tsai, E. J. (2013). Volume overload induces differential spatiotemporal regulation of myocardial soluble guanylyl cyclase in eccentric hypertrophy and heart failure. *Journal of molecular and cellular cardiology*, 60, 72-83.
- Loturco, I., Contreras, B., Kobal, R., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F., ... & Pereira, L. A. (2018). Vertically and horizontally directed muscle power exercises: Relationships with top-level sprint performance. *PloS one*, 13(7), e0201475.
- Lyman, S., Koulouvaris, P., Sherman, S., Do, H., Mandl, L. A., & Marx, R. G. (2009). Epidemiology of anterior cruciate ligament reconstruction: trends, readmissions, and subsequent knee surgery. *JBJS*, 91(10), 2321-2328.
- Maffiuletti, N. A., Green, D. A., Vaz, M. A., & Dirks, M. L. (2019). Neuromuscular electrical stimulation as a potential countermeasure for skeletal muscle atrophy and weakness during human spaceflight. *Frontiers in physiology*, 10, 1031.
- Marginson, V., Rowlands, A. V., Gleeson, N. P., & Eston, R. G. (2005). Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *Journal of Applied physiology*, 99(3), 1174-1181.
- McCullough, K. A., Phelps, K. D., Spindler, K. P., Matava, M. J., Dunn, W. R., Parker, R. D., ... & Reinke, E. K. (2012). Return to high school—and college-level football after anterior cruciate ligament reconstruction: a Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) cohort study. *The American journal of sports medicine*, 40(11), 2523-2529.
- McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 13(2), 88-97.
- 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 & Science in Sports*, 29(3), 380-392.
- Moir, G. (2015). *Strength and conditioning: a biomechanical approach*.

- Moran, U., Gottlieb, U., Gam, A., & Springer, S. (2019). Functional electrical stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled pilot study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 16(1), 1-9.
- Morgan, D. L., & Allen, D. G. (1999). Early events in stretch-induced muscle damage. *Journal of Applied physiology*, 87(6), 2007-2015.
- Morin, J. B., Jiménez-Reyes, P., Brughelli, M., & Samozino, P. (2019). When jump height is not a good indicator of lower limb maximal power output: theoretical demonstration, experimental evidence and practical solutions. *Sports medicine*, 49, 999-1006.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L., & Hewett, T. E. (2007). Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC musculoskeletal disorders*, 8(1), 1-7.
- Nagelli, C. V., & Hewett, T. E. (2017). Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports medicine*, 47(2), 221-232.
- Nogueira, N. M., Felappi, C. J., Lima, C. S., & Medeiros, D. M. (2019). Effects of local cryotherapy for recovery of delayed onset muscle soreness and strength following exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. *Sport Sciences for Health*.
- Nosaka, K., & Sakamoto, K. E. I. (2001). Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(1), 22-29.
- Nosaka, K., Newton, M., & Sacco, P. (2002). Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(6), 337-346.
- Nosaka, K., Newton, M., Sacco, P., Chapman, D., & Lavender, A. (2005). Partial protection against muscle damage by eccentric actions at short muscle lengths. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 746-753.
- Paschalis, V., Giakas, G., Baltzopoulos, V., Jamurtas, A. Z., Theoharis, V., Kotzamanidis, C., & Koutedakis, Y. (2007). The effects of muscle damage following eccentric exercise on gait biomechanics. *Gait & posture*, 25(2), 236-242.
- Paschalis, V., Koutedakis, Y., Jamurtas, A. Z., Mougios, V., & Baltzopoulos, V. (2005). Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), 184-188.

- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., Owolabi, E. O., & Koutedakis, Y. (2008). Position sense and reaction angle after eccentric exercise: the repeated bout effect. *European journal of applied physiology*, 103, 9-18.
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Giakas, G., Jamurtas, A. Z., Pappas, A., & Koutedakis, Y. (2007). The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 35(4), 496-503.
- Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., Heyl, R., & Hewett, T. E. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 258-262.
- Paterno, M. V., Schmitt, L. C., Ford, K. R., Rauh, M. J., Myer, G. D., Huang, B., & Hewett, T. E. (2010). Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *The American journal of sports medicine*, 38(10), 1968-1978.
- Paulsen, G., Ramer Mikkelsen, U., Raastad, T., & Peake, J. M. (2012). Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise?. *Exercise immunology review*, 18.
- Peake, J. M., Neubauer, O., Della Gatta, P. A., & Nosaka, K. (2017). Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *Journal of applied physiology*.
- Peñailillo, L., Blazevich, A., Numazawa, H., & Nosaka, K. (2015). Rate of force development as a measure of muscle damage. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(3), 417-427.
- Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Gómez-Martínez, F., & García-Ramos, A. (2021). Vertical jump performance is affected by the velocity and depth of the countermovement. *Sports Biomechanics*, 20(8), 1015-1030.
- Porter, M. M., Vandervoort, A. A., & Lexell, J. (1995). Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 5(3), 129-142.
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology*, 537(2), 333-345.

- Renstrom, P., Ljungqvist, A., Arendt, E., Beynnon, B., Fukubayashi, T., Garrett, W., . . . Engebretsen, L. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British Journal of Sports Medicine*, 42(6), 394-412. doi:10.1136/bjsm.2008.048934
- Satkunskiene, D., Kamandulis, S., Brazaitis, M., Snieckus, A., & Skurvydas, A. (2021). Effect of high volume stretch-shortening cycle exercise on vertical leg stiffness and jump performance. *Sports biomechanics*, 20(1), 38-54.
- Silva, J. R., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Castagna, C., Farooq, A., Girard, O., & Hader, K. (2018). Acute and residual soccer match-related fatigue: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48, 539-583.
- Smith, H. C., Vacek, P., Johnson, R. J., Slauterbeck, J. R., Hashemi, J., Shultz, S., & Beynnon, B. D. (2012). Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature—part 1: neuromuscular and anatomic risk. *Sports health*, 4(1), 69-78.
- Souissi, S., Wong, D. P., Dellal, A., Croisier, J. L., Ellouze, Z., & Chamari, K. (2011). Improving functional performance and muscle power 4-to-6 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of sports science & medicine*, 10(4), 655.
- Sturnieks, D. L., Besier, T. F., Mills, P. M., Ackland, T. R., Maguire, K. F., Stachowiak, G. W., ... & Lloyd, D. G. (2008). Knee joint biomechanics following arthroscopic partial meniscectomy. *Journal of Orthopaedic Research*, 26(8), 1075-1080.
- Taylor, J. B., Ford, K. R., Nguyen, A. D., & Shultz, S. J. (2016). Biomechanical comparison of single-and double-leg jump landings in the sagittal and frontal plane. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 4(6), 2325967116655158.
- Thomas, K., Brownstein, C., Dent, J., Parker, P., Goodall, S., & Howatson, G. (2018). Neuromuscular fatigue and recovery after heavy resistance, jump, and sprint training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(12), 2526-2535.
- Tiidus, P. M., & Ianuzzo, C. D. (1983). Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(6), 461-465.
- 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. (2013a). 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. (2013b). The effects of eccentric exercise-induced muscle damage on running kinematics at different speeds. *Journal of sports sciences*, 31(3), 288-298.
- Tsatalas, T., Karampina, E., Kalotyhos, S., Dolapsaki, E., Syrou, N., Mina, M. A., ... & Giakas, G. (2020). The Effects of Exercise-induced Muscle Damage on Landing Biomechanics Vary Depending on the Type of Landing. *Inquiries in Physical Education and Sport*, 18(3), 157-166.
- Tsatalas, T., Karampina, E., Mina, M. A., Patikas, D. A., Laschou, V. C., Pappas, A., ... & Giakas, G. (2021). Altered drop jump landing biomechanics following eccentric exercise-induced muscle damage. *Sports*, 9(2), 24.
- Tsatalas, T., Lazaridis, S., Zaggelidis, G., & Kotzamanidis, C. (2010). THE EFFECTS OF A STRETCH-SHORTENING CYCLE FATIGUE PROTOCOL ON KNEE KINEMATICS DURING RUNNING IN UNTRAINED CHILDREN. *Journal of Physical Education & Sport/Citius Altius Fortius*, 27(2).
- van Ingen Schenau, G. J., Bobbert, M. F., & de Haan, A. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle?. *Journal of applied biomechanics*, 13(4), 389-415.
- Vogt, M., & Hoppeler, H. H. (2014). Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *Journal of applied Physiology*.
- Warren, G. L., Lowe, D. A., & Armstrong, R. B. (1999). Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports medicine*, 27, 43-59.
- Watanabe, K., Kouzaki, M., & Moritani, T. (2013). Region-specific myoelectric manifestations of fatigue in human rectus femoris muscle. *Muscle & Nerve*, 48(2), 226-234.
- Webster, K. A., & Gribble, P. A. (2010). Time to stabilization of anterior cruciate ligament–reconstructed versus healthy knees in National Collegiate Athletic Association Division I female athletes. *Journal of athletic training*, 45(6), 580-585.
- Webster, K. E., & Hewett, T. E. (2022). Return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria-based rehabilitation and return to sport testing. *Advances in knee ligament and knee preservation surgery*, 83-93.

Weinhandl, J. T., Irmischer, B. S., & Sievert, Z. A. (2015). Sex differences in unilateral landing mechanics from absolute and relative heights. *The Knee*, 22(4), 298-303.

Wiggins, A. J., Grandhi, R. K., Schneider, D. K., Stanfield, D., Webster, K. E., & Myer, G. D. (2016). Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of sports medicine*, 44(7), 1861-1876.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & sons.

Yildirim, A., Belviranli, M., & Okudan, N. (2022). Protective effect by low-intensity downhill running training against muscle damage and oxidative stress after high-intensity downhill running in rats. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94, e20200265.

Παραρτήματα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Έγκριση Επιτροπής Δεοντολογίας ΤΕΦΑΑ ΠΘ



Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας

Τρίκαλα: 7/6/2023
Αριθμ. Πρωτ.2208

Βεβαίωση έγκρισης της πρότασης για διεξαγωγή Έρευνας με τίτλο: Η επίδραση της έκκεντρης άσκησης στην απόδοση και σε εμβιομηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου.
- The effect of eccentric exercise on performance and biomechanical parameters during countermovement jump following anterior cruciate ligament reconstruction.

Επιστημονικώς υπεύθυνος / επιβλέπων: Δρ. Γιάκας Ιωάννης
Ιδιότητα: Καθηγητής
Ίδρυμα: Τ.Ε.Φ.Α.Α.
Τμήμα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κύριος ερευνητής-τρια / φοιτητής-τρια: Ζαρκαδούλα Άρτεμις
Πρόγραμμα Σπουδών: ΜΠΣ «Άσκηση και Υγεία»
Ίδρυμα: Τ.Ε.Φ.Α.Α.
Τμήμα: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

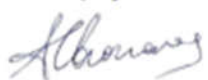
Η προτεινόμενη έρευνα θα είναι: Μεταπτυχιακή διατριβή

Τηλ. επικοινωνίας: 6987702737, 24310-47010

Email επικοινωνίας: zarkadoulartemis@gmail.com, ggiakas@gmail.com

Η Εσωτερική Επιτροπή Δεοντολογίας του Τ.Ε.Φ.Α.Α., Πανεπιστημίου Θεσσαλίας μετά την υπ. Αριθμ. 2-1/7-6-2023 συνεδρίασή της εγκρίνει τη διεξαγωγή της προτεινόμενης έρευνας.

Ο Πρόεδρος της
Εσωτερικής Επιτροπής
Δεοντολογίας – ΤΕΦΑΑ


Τσιόκανος Αθανάσιος
Καθηγητής



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



Έντυπο συναίνεσης δοκιμαζόμενου σε ερευνητική εργασία

Τίτλος Ερευνητικής Εργασίας: Η επίδραση της έκκεντρης άσκησης στην απόδοση και σε εμβιομηχανικές παραμέτρους του κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου.

Title: The effect of eccentric exercise on performance and biomechanical parameters during counter-movement jump following anterior cruciate ligament reconstruction.

Επιστημονικός Υπεύθυνος-η: Δρ Γιάκας Ιωάννης, Καθηγητής ΤΕΦΑΑ, ΠΘ, email: ggiakas@gmail.com τηλ.: 24310-47010

Ερευνητές: Ζαρκαδούλα Αρτεμής (email: zarkadoulartemis@gmail.com; τηλ. 6987702737)

1. Σκοπός της ερευνητικής εργασίας

Σκοπός της μελέτης είναι η διερεύνηση της επίδρασης της έκκεντρης άσκησης και του επακόλουθου «ασκησιογενούς» μυϊκού τραυματισμού στην απόδοση και στα εμβιομηχανικά χαρακτηριστικά (κινηματικά/κινητικά) του κατακόρυφου άλματος με αντίθετη προπαρασκευαστική κίνηση (counter-movement jump – CMJ) σε άτομα με χειρουργηθείσα αποκατάσταση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου (ΠΧΣ).

2. Διαδικασία

Οι συμμετέχοντες θα αξιολογηθούν 4 φορές στο εργαστήριο Εμβιομηχανικής του ΤΕΦΑΑ για περίπου δύο ώρες την φορά. Στην 1η επίσκεψη (72h-πριν) (προπαρασκευαστικές μετρήσεις) θα πραγματοποιηθούν έλεγχος ορισμένων σωματομετρικών δεικτών και αξιολόγηση της εμβιομηχανικής των κάτω άκρων κατά την εκτέλεση των κατακόρυφων αλμάτων. Για την καταγραφή των εμβιομηχανικών χαρακτηριστικών των κατακόρυφων αλμάτων θα τοποθετηθούν σε όλους τους συμμετέχοντες ανακλαστήρες. Στη 2η επίσκεψη (24h-πριν) (πειραματική μέτρηση) οι συμμετέχοντες θα εκτελέσουν κατακόρυφα άλματα και θα γίνει καταγραφή των εμβιομηχανικών παραμέτρων των CMJ. Στην 3η επίσκεψη (ώρα-0) θα πραγματοποιηθεί πρόκληση MT μέσω έκκεντρης (πλειομετρικής) άσκησης στο ισοκινητικό δυναμόμετρο. Ειδικότερα, θα εκτελέσουν 5 σετ των 15 επαναλήψεων

στους πρόσθιους μηριαίους και των δύο κάτω άκρων με λειτουργία του δυναμόμετρου σε γωνιακή ταχύτητα 60 μοίρες/s. Στην 4^η επίσκεψη θα επαναληφθούν όλες οι μετρήσεις της 1^{ης} συνεδρίας, θα γίνει δηλαδή επαναμέτρηση των εμβιομηχανικών παραμέτρων 48h-μετά το πρωτόκολλο πρόκλησης ΜΤ. Τέλος, θα αξιολογηθούν τα συμπτώματα του μυϊκού τραυματισμού (μυϊκή δύναμη, καθυστερημένη εμφάνιση του μυϊκού πόνου).

3. Κίνδυνοι και ενοχλήσεις

Θα νιώσετε την φυσιολογική κόπωση και τον καθυστερημένο μυϊκό πόνο που προκαλεί η έκκεντρη άσκηση στο ισοκινητικό δυναμόμετρο. Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος τραυματισμού κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών. Παρ' όλα αυτά υπάρχει πρόβλεψη πρώτων βοηθειών και εκπαιδευμένο προσωπικό για κάθε ενδεχόμενο.

4. Προσδοκώμενες ωφέλειες

Με τη συμμετοχή σας θα λάβετε πολλές πληροφορίες για το λειτουργικό και εμβιομηχανικό σας προφίλ. Επίσης θα λάβετε δωρεάν αποτελέσματα από αξιολογήσεις που στο εμπόριο κοστίζουν > 100 ευρώ. Η διερεύνηση των εμβιομηχανικών παραμέτρων κατά τις προσγειώσεις πιθανά να συμβάλει στην πρόληψη μυοσκελετικών τραυματισμών σε μελλοντική αθλητική σας δραστηριότητα.

5. Δημοσίευση δεδομένων – αποτελεσμάτων

Η συμμετοχή σας στην έρευνα συνεπάγεται ότι συμφωνείτε με την μελλοντική δημοσίευση των αποτελεσμάτων της, με την προϋπόθεση ότι οι πληροφορίες θα είναι ανώνυμες και δε θα αποκαλυφθούν τα ονόματα των συμμετεχόντων. Τα δεδομένα που θα συγκεντρωθούν θα κωδικοποιηθούν με αριθμό, ώστε το όνομα σας δε θα φαίνεται πουθενά.

6. Πληροφορίες

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις γύρω από το σκοπό ή την διαδικασία της εργασίας. Αν έχετε οποιαδήποτε αμφιβολία ή ερώτηση ζητήστε μας να σας δώσουμε διευκρινίσεις.

7. Ελευθερία συναίνεσης

Η συμμετοχή σας στην εργασία είναι εθελοντική. Είστε ελεύθερος-η να μην συναινέσετε ή να διακόψετε τη συμμετοχή σας όποτε το επιθυμείτε.

8. Δήλωση συναίνεσης

Διάβασα το έντυπο αυτό και κατανοώ τις διαδικασίες που θα ακολουθήσω. Συναινώ να συμμετάσχω στην ερευνητική εργασία.

Ημερομηνία: __/__/__

Ονοματεπώνυμο και
υπογραφή συμμετέχοντος

Υπογραφή ερευνητή

Ονοματεπώνυμο και
υπογραφή παρατηρητή

Ονοματεπώνυμο και
υπογραφή γονέα ή κηδεμόνα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: Ιατρικό ερωτηματολόγιο συμμετεχόντων στη μελέτη

Ερωτηματολόγιο για αρθροσκοπική επέμβαση γόνατος

Όνοματεπώνυμο: _____

Ημερομηνία κάκωσης: ____/____/____ Ημερομηνία συμπλήρωσης: ____/____/____

Ύψος: ____ εκ. Βάρος: ____ kg

Ηλικία: ____ έτη Εκπαίδευση: _____

Κάπνισμα: ☐ ναι ☐ όχι

Αλκοόλ: ☐ ναι καθημερινά ☐ ναι περιστασιακά ☐ καθόλου

Επίπεδο αθλητικής δραστηριότητας:

☐ επαγγελματική ενασχόληση ☐ συχνή ενασχόληση ☐ περιστασιακή ενασχόληση ☐ καθόλου

Προβλήματα υγείας: (τσεκάρετε τα προβλήματα υγείας που έχετε)

Καρδιακό πρόβλημα ☐, Αρτηριακή υπέρταση ☐, Άσθμα ή πρόβλημα με τους πνεύμονες ☐,

Σακχαρώδης διαβήτης ☐, Έλκος ή προβλήματα με το στομάχι ☐, Προβλήματα με το έντερο ☐,

Νεφρική νόσος ☐, Ηπατική νόσος ☐, Αναιμία ή άλλα προβλήματα του αίματος ☐, Καρκίνος ☐,

Κατάθλιψη ☐, Οστεοαρθρίτιδα ☐, Ρευματοειδή αρθρίτιδα ☐, Οσφυαλγία ☐, Άλλα (ποια;) _____.

Αισθάνεστε δυσκολία - κόπωση στο περπάτημα;

☐ 1 Καμία δυσκολία ☐ 2 Μέτρια δυσκολία ☐ 3 Έντονη δυσκολία

Χρησιμοποιείτε μπαστούνι ή πατερίτσα για να περπατήσετε;

☐ 1 Όχι

☐ 2 Ναι, καταφέρνω να πατήσω μερικώς το πόδι μου στο έδαφος

☐ 3 Ναι, δεν μπορώ να πατήσω το πόδι μου και το έχω στον αέρα

Νιώθετε να 'κλειδώνει' - 'μπλοκάρει' το γόνατο σας;

☐ 1 Όχι

☐ 2 το νιώθω να μπλοκάρει αλλά δεν έχει κλειδώσει ποτέ

☐ 3 Κλειδώνει καμιά φορά

☐ 4 Κλειδώνει συχνά

☐ 5 Τώρα είναι κλειδωμένο

Νιώθετε αστάθεια ή αισθάνεστε το γόνατο σας να σας 'φεύγει';

- ☐₂₅ Όχι
- ☐₂₀ Ναι, αλλά σπάνια μόνο σε έντονη δραστηριότητα
- ☐₁₅ Ναι, συχνά σε έντονη δραστηριότητα (αισθάνομαι ότι δεν μπορώ να κάνω έντονες δραστηριότητες)
- ☐₁₀ Ναι, καμιά φορά στις απλές καθημερινές δραστηριότητες
- ☐₅ Ναι, συχνά στις απλές καθημερινές δραστηριότητες
- ☐₀ Ναι νιώθω να 'φεύγει' σε κάθε βήμα

Αισθάνεστε πόνο στο γόνατο;

- ☐₂₅ Όχι, καθόλου
- ☐₂₀ Ήπιο πόνο μόνο σε έντονες δραστηριότητες
- ☐₁₅ Έντονο πόνο σε έντονες δραστηριότητες
- ☐₁₀ Έχω πόνο αφού περπατήσω πάνω από ένα χιλιόμετρο
- ☐₅ Έχω πόνο αν περπατήσω λιγότερο από ένα χιλιόμετρο
- ☐₀ Έχω συνεχόμενο πόνο στο γόνατο ανεξάρτητα με την δραστηριότητα

Έχετε πρήξιμο στο γόνατο;

- ☐₁₀ Όχι καθόλου
- ☐₆ Μόνο μετά από έντονη δραστηριότητα
- ☐₂ Μετά τις ήπιες καθημερινές δραστηριότητες
- ☐₀ Το γόνατό μου είναι πάντα πρησμένο

Πόσο εύκολα ανεβαίνετε σκάλες

- ☐₁₀ Δεν έχω πρόβλημα στο ανέβασμα σκάλας
- ☐₆ Έχω μικρά προβλήματα στο ανέβασμα σκάλας
- ☐₂ Ανεβαίνω ένα σκαλοπάτι τη φορά
- ☐₀ Δεν μπορώ να ανέβω σκάλες

Μπορείτε να καθίσετε οκλαδόν;

- ☐₅ Ναι
- ☐₄ Μπορώ αλλά με δυσκολία
- ☐₂ Μπορώ αλλά το γόνατο μου δεν λυγίζει πάνω από τις 90°
- ☐₀ Δεν μπορώ

7. Πιο είναι το υψηλότερο επίπεδο που θα μπορούσατε να δραστηριοποιηθείτε χωρίς σημαντική αστάθεια στο γόνατο;

- ☐ 4 Δραστηριότητες πολύ μεγάλης έντασης όπως τα άλματα ή οι περιστροφές στο ποδόσφαιρο ή το μπάσκετ
- ☐ 3 Δραστηριότητες μεγάλης έντασης όπως η βαριά σωματική εργασία, το σκι ή το τένις
- ☐ 2 Δραστηριότητες μέτριας έντασης όπως η μέτρια σωματική εργασία ή το τρέξιμο
- ☐ 1 Δραστηριότητες χαμηλής έντασης όπως το περπάτημα ή οι δουλειές στο σπίτι ή τον κήπο
- ☐ 0 Καμία από τις παραπάνω δραστηριότητες λόγω αστάθειας στο γόνατο

8. Πιο είναι το υψηλότερο επίπεδο που θα μπορούσατε να δραστηριοποιηθείτε συστηματικά;

- ☐ 4 Δραστηριότητες πολύ μεγάλης έντασης όπως τα άλματα ή οι περιστροφές στο ποδόσφαιρο ή το μπάσκετ
- ☐ 3 Δραστηριότητες μεγάλης έντασης όπως η βαριά σωματική εργασία, το σκι ή το τένις
- ☐ 2 Δραστηριότητες μέτριας έντασης όπως η μέτρια σωματική εργασία ή το τρέξιμο
- ☐ 1 Δραστηριότητες χαμηλής έντασης όπως το περπάτημα ή οι δουλειές στο σπίτι ή τον κήπο
- ☐ 0 Καμία από τις παραπάνω δραστηριότητες εξαιτίας του προβλήματος στο γόνατο

9. Πόσο επηρεάζει το γόνατό σας την ικανότητά σας να εκτελείτε τα παρακάτω:

		Καθόλου	Λίγο	Μέτρια	Πολύ	Αδύνατον
α.	Ανέβασμα σκάλας	4	3	2	1	0
β.	Κατέβασμα σκάλας	4	3	2	1	0
γ.	Γονάτισμα	4	3	2	1	0
δ.	Βαθύ κάθισμα	4	3	2	1	0
ε.	Κάθισμα με το γόνατο λυγισμένο	4	3	2	1	0
στ.	Σήκωμα από καρέκλα	4	3	2	1	0
ζ.	Τρέξιμο	4	3	2	1	0
η.	Άλμα και προσγείωση στο πάσχο	4	3	2	1	0
θ.	Σταμάτημα και γρήγορη εκκίνηση	4	3	2	1	0

10. Πώς αξιολογείτε τη λειτουργικότητα του γόνατός σας σε μια κλίμακα από το 0 έως το 10, με το 10 να είναι η κανονική λειτουργικότητα και το 0 η αδυναμία εκτέλεσης καθημερινών και αθλητικών δραστηριοτήτων;

Λειτουργικότητα του γόνατός σας πριν την κάκωση:

Αδυναμία ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 Κανένας περιορισμός

Λειτουργικότητα του γόνατός σας σήμερα:

Αδυναμία ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 Κανένας περιορισμός