

ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΛΑΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΟ

του
Δεσποτούλη Δημητρίου

Μεταπτυχιακή διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Άσκηση και Υγεία» της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Παν/μίου Θεσσαλίας.

Τρίκαλα
2020

Εγκεκριμένο από το Καθηγητικό σώμα:

1ος Επιβλέπων: Ιωάννης Γιάκας, Καθηγητής

2ος Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσακλής, Καθηγητής

3ος Επιβλέπων: Αθανάσιος Τσιόκανος, Καθηγητής

ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΛΑΚΤΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΠΟΔΟΣΦΑΙΡΟ

Σκοπός της διατριβής ήταν η μελέτη της εμβιομηχανικής του λακτίσματος κατά την εκτέλεση με διάφορες προσεγγίσεις από γωνία και με μπάλες διαφορετικού βάρους. Επιμέρους στόχος της έρευνας ήταν να διερευνηθεί η εμβιομηχανική του λακτίσματος σύμφωνα με μια σύγχρονη μεθοδευμένη ανάλυση του συνόλου των φάσεων του τόσο για το άκρο εκτέλεσης όσο και για το άκρο στήριξης. Στη μελέτη συμμετείχαν εννέα αθλητές τοπικών ομάδων Α΄ κατηγορίας και φοιτητές του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το πρωτόκολλο αξιολόγησης περιελάμβανε συνολικά δεκαοκτώ λακτίσματα με τρεις διαφορετικές μπάλες (ποδοσφαίρου, καλαθοσφαίρισης και πετοσφαίρισης) από τρεις διαφορετικές γωνίες προσέγγισης (0° , 45° , 90°). Κατά τη διάρκεια των λακτισμάτων πραγματοποιήθηκε τρισδιάστατη καταγραφή των κάτω άκρων με χρήση οπτικοηλεκτρονικού συστήματος, Vicon T-series με δέκα κάμερες. Παράλληλα, έγινε καταγραφή των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους με συγχρονισμένο δυναμοδάπεδο BERTEC (4060-15). Αξιολογήθηκαν τα χωροχρονικά, κινηματικά και κινητικά χαρακτηριστικά των αρθρώσεων των κάτω άκρων. Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων εφαρμόστηκαν αναλύσεις διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε σε $p < 0.05$. Στα αποτελέσματα παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση των εξεταζόμενων παραγόντων σε επιλεγμένες παραμέτρους ($p < 0.05$). Ενδεικτικά, η κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης του εδάφους ήταν μικρότερη συγκριτικά με τις άλλες μπάλες κατά το λάκτισμα με την μπάλα πετοσφαίρισης στην προσέγγιση από γωνία 90° και η οπίσθια δύναμη αντίδρασης ήταν μεγαλύτερη στην ίδια προσέγγιση κατά το λάκτισμα με τη μπάλα της καλαθοσφαίρισης ($p < 0.05$). Τα ευρήματα της μελέτης συνδράμουν στη βελτιωμένη κατανόηση της εμβιομηχανικής του λακτίσματος και θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στον σχεδιασμό δοκιμασιών αξιολόγησης ποδοσφαιριστών με απώτερο στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και την πρόληψη τραυματισμών.

Λέξεις κλειδιά: τρισδιάστατη ανάλυση κίνησης, λάκτισμα, προσέγγιση από γωνία, τύπος μπάλας.

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF INSTEP SOCCER KICK

The aim of the thesis was to examine the effects of different angle of approach and ball type on the biomechanics of instep soccer kick. The study involved 9 recreational soccer players and physical education students from the University of Thessaly. The participants performed 18 instep kicks using three angles of approach (0° , 45° , 90°) and three ball types (soccer, basketball and volleyball balls). During the execution of the tasks, three-dimensional movement of the lower extremities was recorded using a 10-camera motion analysis system (VICON T-series). At the same time, ground reaction forces were recorded, using a force platform (Bertec 4060). The temporospatial, kinematic and kinetic characteristics of the lower extremity joints were evaluated. For statistical analysis of the data, repeated measures analysis of variance was used. The significance level was set at $p < 0.05$. The results indicated statistically significant interaction of angle of approach and ball type for several biomechanical parameters examined ($p < 0.05$). These findings could enhance the understanding of soccer kick biomechanics and be applied to the design of training interventions that focus on performance and prevention of musculoskeletal injuries of the lower extremities.

Keywords: 3D motion analysis, instep soccer kick, angle of approach, ball weight.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου διατριβής Dr. Γιάκα Ιωάννη, Καθηγητή του ΣΕΦΑΑ ΠΘ, καθώς και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον Dr. Τσακλή Παναγιώτη, Καθηγητή του ΣΕΦΑΑ ΠΘ, και τον Dr. Τσιόκανο Αθανάσιο, Καθηγητή του ΣΕΦΑΑ ΠΘ, για την επιστημονική τους καθοδήγηση και υποστήριξη στη διαδικασία εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Dr. Τσαταλά Θεμιστοκλή για την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων καθώς και τα άτομα του εργαστηρίου που βοήθησαν για την εκτέλεση του πρωτοκόλλου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξή της κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	7
I.Εισαγωγή	9
II.Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	12
Εμβιομηχανική ανάλυση του λακτίσματος	12
Αθλητικές κακώσεις στο λάκτισμα	18
III.Μεθοδολογία	24
Δείγμα	24
Συμπλήρωση ερωτηματολογίων	25
Μέτρηση Ανθρωπομετρικών Χαρακτηριστικών	25
Διαδικασία κινηματικής ανάλυσης – τοποθέτηση ανακλαστήρων	25
Διαδικασία ρύθμισης των καμερών και των δυναμοδαπέδων	27
Διαδικασία στατικού και δυναμικού «καλιμπραρίσματος» του εξεταζόμενου	27
Διαδικασία πειραματικής αξιολόγησης	28
Στατιστική ανάλυση	29
IV.Αποτελέσματα	30
Δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους	30
Κινηματικές και κινητικές παράμετροι στην άρθρωση του γόνατος	31
V. Συζήτηση	37
VI. Συμπεράσματα	42
VII. Βιβλιογραφία	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Πίνακας ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. ΠΕΠΣ: Φάση Πρώτης Επαφής του Ποδιού Στήριξης, ΕΓΓ: Φάση Ελάχιστης Γωνίας Γόνατος, ΦΕ: Φάση Επαφής του ποδιού με τη μπάλα (Ekblom 2009).

Σχήμα 2. Τα έξι events και οι πέντε φάσεις που απαρτίζουν την εκτέλεση λακτίσματος με την περιοχή των μεταταρσίων (Brophy, Backus et al. 2007).

Σχήμα 3. Τα έξι events και οι πέντε φάσεις που απαρτίζουν την εκτέλεση λακτίσματος με το εσωτερικό (Brophy, Backus et al. 2007).

Σχήμα 4. Οι πέντε φάσεις που απαρτίζουν την εκτέλεση λακτίσματος με τα μετατάρσια στην πιο σύγχρονη απεικόνισή του (Navandar, Veiga et al. 2018).

Σχήμα 5. Τα πέντε events του ποδιού εκτέλεσης και τα τρία events του ποδιού στήριξης. Εδώ παρουσιάζεται η πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση που έχει αποδοθεί για την εκτέλεση του λακτίσματος. Σε σύγκριση με την υπόλοιπη βιβλιογραφία, απουσιάζει η ονομασία των φάσεων καθώς και η πέμπτη φάση – follow through phase (Watanabe, Nunome et al. 2020).

Σχήμα 6. Επιδημιολογική απεικόνιση των αθλητικών κακώσεων (Ekblom 2009).

Σχήμα 7. Κατηγοριοποίηση των αθλητικών κακώσεων (Ekblom 2009).

Σχήμα 8. Σχέση δύναμης και ταχύτητας. Η σχέση αυτή στον κλάδο της επιστήμης της άθλησης εδώ και πολλά χρόνια είναι γνωστή και ως καμπύλη του Hill (Κόλλιας 2011).

Σχήμα 9. Τοποθέτηση ανακλαστήρων με βάση Schwartz & Rozumalski (2005) από πλάγια όψη.

Σχήμα 10. Τοποθέτηση ανακλαστήρων με βάση Schwartz & Rozumalski (2005) από πρόσθια όψη.

Σχήμα 11. Απεικόνιση προσπάθειας εκτέλεσης λακτίσματος με μπάλα ποδοσφαίρου.

Σχήμα 12. Κατακόρυφες δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 13. Οπίσθιες δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 14. Μέγιστη γωνία γόνατος άκρου εκτέλεσης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 15. Μέγιστη γωνία γόνατος άκρου στήριξης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 16. Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κάμψης γόνατος του άκρου εκτέλεσης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 17. Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα έκτασης γόνατος του άκρου εκτέλεσης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 18. Εξωτερική ροπή κάμψης του γόνατος σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 19. Χρονική διάρκεια backswing phase σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 20. Χρονική διάρκεια leg cocking phase σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 21. Χρονική διάρκεια acceleration phase σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 22. Χρονική διάρκεια προστήριξης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

Σχήμα 23. Χρονική διάρκεια στήριξης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

I. Εισαγωγή

Στον επιστημονικό κλάδο της εμβιομηχανικής τα ομαδικά αθλήματα, όπως το ποδόσφαιρο, είναι δυσκολότερο να διερευνηθούν σε σχέση με τα ατομικά. Αυτό οφείλεται στην απαίτηση εκτέλεσης περίπλοκων δεξιοτήτων οι οποίες είναι λιγότερο τυποποιημένες κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Για τον λόγο αυτό μελετάμε μεμονωμένα κύριες δεξιότητες του αθλήματος, δημιουργώντας έτσι μια συνολική εικόνα μέσω της σύνδεσης των ερευνών (Clarys and Cabri 1993). Οι κύριες δεξιότητες του ποδοσφαίρου που έχουν μελετηθεί στον τομέα της εμβιομηχανικής είναι η αλλαγή κατεύθυνσης, η πάσα και το λάκτισμα (σουτ), εκ των οποίων το τελευταίο θεωρείται η σημαντικότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού (Lees, Asai et al. 2010), διότι μέσω αυτού διαμορφώνεται το αριθμητικό αποτέλεσμα του αγώνα. Σύμφωνα με στατιστικές μελέτες, η εκτέλεση του λακτίσματος με τα κάτω άκρα οδήγησαν στο 80% των επιτυχημένων τερμάτων κατά το έτος 2016 στο UEFA European Championship (Čigoja, Vienneau et al. 2019). Για να γίνει η εκτέλεση ενός λακτίσματος, πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις, ο έλεγχος της μπάλας και ο ελεύθερος χώρος. Ο αθλητής όμως έχει να αντιμετωπίσει ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον και παράλληλα πρέπει να προσαρμοστεί σε αυτό, δημιουργώντας κενό χώρο για την εκτέλεση λακτίσματος κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού ή κερδίζοντας φάουλ (μέσω αντικανονικού μαρκάρισματος), το οποίο οδηγεί είτε σε μία ελεύθερη εκτέλεση του λακτίσματος με απόσταση έντεκα μέτρων από το τέρμα (αν το αντικανονικό μαρκάρισμα έγινε μέσα στην περιοχή) είτε σε μία εκτέλεση από το σημείο που έγινε το φάουλ έχοντας τοποθετημένους τους αντιπάλους σε απόσταση πέντε μέτρων.

Δεδομένου ότι η εμβιομηχανική του λακτίσματος είναι καθοριστική για την έκβαση του παιχνιδιού, έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες αναφορικά με την επίδραση διαφόρων παραγόντων σε αυτή. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι η ηλικία, καθώς παρουσιάζονται διαφορετικά κινηματικά και κινητικά χαρακτηριστικά κατά την εκτέλεση λακτίσματος ανά ηλικία (Vieira, Cunha et al. 2018, Rada, Kuvacić et al. 2019). Άλλοι παράγοντες είναι οι διαφορές των δύο φύλων (Kawamoto, Miyagi et al. 2007, Orloff, Sumida et al. 2008, Katis, Kellis et al. 2015, Navandar, Veiga et al. 2018), καθώς και οι διαφορές ανάμεσα σε κυρίαρχο και μη κυρίαρχο πόδι (Clagg, Warnock et al. 2009, Sinclair and Hobbs 2016, Thomas, Dos'santos et al. 2020). Τέλος στην προπονητική, η πρόληψη τραυματισμών και η μεγιστοποίηση της απόδοσης της

τεχνικής του λακτίσματος είναι από τους κυριότερους σκοπούς προς έρευνα για τον τομέα της εμβιομηχανικής. (Kellis, Katis et al. 2006, Katis, Giannadakis et al. 2013, Manolopoulos, Katis et al. 2013, Severin, Mellifont et al. 2017, Cigoja, Vienneau et al. 2019, Rosa de Olivera, Onodera et al. 2019) Αυτό συμβαίνει γιατί το λάκτισμα διακρίνεται σε πολλούς τύπους τους οποίους οι ερευνητές θέλουν να κατανοήσουν και να συγκρίνουν, ώστε να δώσουν συγκεκριμένες κατευθύνσεις για την προπόνηση των αθλητών (Kellis, Katis et al. 2004, Brophy, Backus et al. 2007, Scurr and Hall 2009, Cerrah, Soyulu et al. 2018, Watanabe, Nunome et al. 2020). Επίσης, ένας από τους κυριότερους στόχους των ερευνών που ασχολούνται με το λάκτισμα είναι η πρόληψη τραυματισμών και η αποκατάστασή τους (Charnock, Lewis et al. 2009, Andersen 2014, Cordeiro, Cortes et al. 2015, Severin, Mellifont et al. 2017).

Γνωρίζουμε ότι πολλοί τραυματισμοί που επέρχονται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του λακτίσματος παρουσιάζονται λόγω λανθασμένης εμβιομηχανικής ή λόγω παρεμβολής κατά το λάκτισμα, δηλαδή πρόκειται για τραυματισμούς μη επαφής (non – contact injures) και επαφής (contact injures). Οι τραυματισμοί λόγω λανθασμένης εκτέλεσης του λακτίσματος συμβαίνουν εξαιτίας καινούριων και απρόσμενων εκείνη τη στιγμή ερεθισμάτων. Εργαστηριακές έρευνες παρουσίασαν πως η αλληπάλληλη έκθεση των αθλητών σε απρόσμενες επιβαρύνσεις αυξάνει υπερβολικά τις πιθανότητες τραυματισμού. Ο Kellis και οι συνεργάτες του (2004) αναφέρθηκαν στην επιδημιολογία των αθλητικών κακώσεων και ανέλυσαν τις επιβαρύνσεις που δέχονταν το πόδι στήριξης και το πόδι εκτέλεσης. Αντίστοιχη αναφορά έκαναν ο Katis και οι συνεργάτες του (2012). Υπήρχε όμως απουσία της ανάλυσης της εμβιομηχανικής του λακτίσματος όπως και του απρόσμενου ερεθίσματος που δέχεται ο αθλητής κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του λακτίσματος στον αγώνα ή την προπόνηση. Λαμβάνοντας υπόψιν τις αναφορές των συχνών κακώσεων στην επιδημιολογία, κρίνεται ορθό να αναλύσουμε και να κατανοήσουμε εις βάθος τις δυνάμεις που δρουν κατά την εκτέλεση του λακτίσματος στο πόδι στήριξης αλλά και στο πόδι εκτέλεσης με μία νέα προσέγγιση, ενώ παράλληλα γίνεται ανάλυση των κινητικών και κινηματικών χαρακτηριστικών ολόκληρης της κίνησης του λακτίσματος, συμπληρώνοντας ένα κενό που δεν είχαν καλύψει οι προαναφερθείσες έρευνες. Στόχος μας είναι να δώσουμε καινούρια απρόσμενα ερεθίσματα στον αθλητή χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές μπάλες (ποδοσφαίρισης, καλαθοσφαίρισης και πετοσφαίρισης). Παράλληλα, τα λακτίσματα θα γίνονται από διαφορετικές γωνίες προσέγγισης (0°, 45°, 90°), καθώς οι

αθλητές δε χρησιμοποιούν μόνο μία γωνία για να κατευθυνθούν προς την μπάλα, αλλά προσαρμόζονται στις νέες καταστάσεις που δημιουργούν ή δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του αγώνα. Επίσης, έχουν γίνει προσπάθειες προσδιορισμού της εμβιομηχανικής του λακτίσματος στο πόδι στήριξης και στο πόδι εκτέλεσης, χωρίς όμως να έχει πραγματοποιηθεί η συνολική ανάλυση των φάσεων.

Με βάση τα παραπάνω κατανοούμε τη σημαντικότητα της μελέτης, καθώς θα προετοιμάσει τους αθλητές γι' αυτά τα ερεθίσματα, ενώ παράλληλα, μέσω της δοκιμασίας του πρωτοκόλλου, οι αθλητικοί επιστήμονες που ειδικεύονται στον τομέα των αθλητικών κακώσεων θα μπορούν να έχουν στοιχεία για την άμεση προσαρμοστικότητα των αθλητών τους σε νέα απρόσμενα ερεθίσματα. Στηριζόμενοι σε αυτά, θα κρίνουν αν οι αθλητές πρέπει να κάνουν εξειδικευμένη προπόνηση πάνω στην εκτέλεση του λακτίσματος.

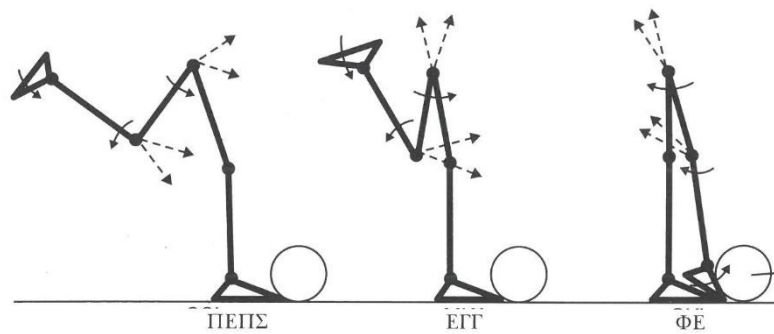
Η μελέτη διαμορφώθηκε βάσει ενδεδειγμένης έρευνας της εμβιομηχανικής του λακτίσματος στη βιβλιογραφία και συνυπολογίζοντας τα κενά που βρέθηκαν σε αυτή και τις ανάγκες του αθλήματος. Σκοπός της μελέτης ήταν η διερεύνηση της τεχνικής του λακτίσματος μέσω της χρήσης διαφορετικών προσεγγίσεων από γωνίες (0° , 45° , 90°) και του βάρους μπάλας (ποδοσφαίρου, καλαθοσφαίρισης και πετοσφαίρισης). Επιμέρους στόχος ήταν να τεθεί μία βάση που αργότερα μπορεί να αποτελέσει έναν τρόπο αξιολόγησης της εμβιομηχανικής του λακτίσματος. Επιμέρους στόχος της έρευνας ήταν ακόμα να παρουσιαστεί μία σύγχρονη μεθοδευμένη ανάλυση του συνόλου των φάσεων του λακτίσματος τόσο στο πόδι εκτέλεσης όσο και στο πόδι στήριξης. Σύμφωνα με τις ερευνητικές υποθέσεις που τέθηκαν, αναμένονταν αλληλεπίδραση των εξεταζόμενων παραγόντων και άρα διαφοροποιημένη εμβιομηχανική κατά την εκτέλεση του λακτίσματος με την περιοχή των μεταταρσίων από προσέγγιση γωνίας των 0° , 45° και 90° με τη χρήση μπάλας διαφορετικού βάρους.

II. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Εμβιομηχανική ανάλυση του λακτίσματος

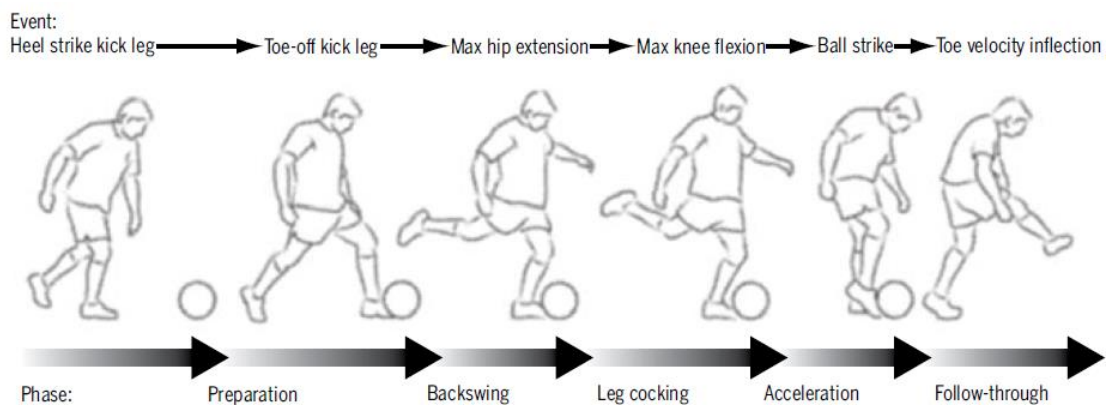
Το λάκτισμα στο ποδόσφαιρο είναι μία πολυαρθρική κίνηση, η οποία απαιτεί μία αλληλουχία ενεργοποιήσεων – συσπάσεων των μυών που περιβάλλουν τις αρθρώσεις του κάτω άκρου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι λακτίσματος. Οι αθλητές επιλέγουν το λάκτισμα που αρμόζει ανάλογα με την πρόθεσή τους (Nunome, Asai et al. 2002). Πρέπει να αναφέρουμε πως υπάρχουν έξι διαφορετικοί τύποι λακτίσματος. Ο Ali Cerrah και οι συνεργάτες του (2018) μελέτησαν τη συμπεριφορά συγκεκριμένων μυών του άκρου εκτέλεσης με τη χρήση της ηλεκτρομυογραφίας (EMG). Σκοπός της μελέτης ήταν να οριστεί η σχέση της ενεργοποίησης των μυών που λειτουργούν γύρω από το πόδι εκτέλεσης και της ταχύτητας της μπάλας στους έξι διαφορετικούς τύπους λακτίσματος. Τα έξι λακτίσματα που αποτελούσαν το πρωτόκολλο ήταν: το λάκτισμα με την περιοχή των μεταταρσίων ($0^\circ - 10^\circ$ γωνία προσέγγισης και το πόδι εκτέλεσης πρέπει να χτυπήσει την μπάλα γύρω από το κέντρο βάρους της), το λάκτισμα με την εσωτερική πλευρά της ποδοκνημικής – εσωτερικό λάκτισμα ($0^\circ - 10^\circ$ γωνία προσέγγισης), το εσωτερικό λάκτισμα με φάλτσο ($30^\circ - 45^\circ$ γωνία προσέγγισης), το ψηλοκρεμαστό λάκτισμα ($0^\circ - 10^\circ$ γωνία προσέγγισης και το πόδι εκτέλεσης πρέπει να χτυπήσει την μπάλα κάτω από το κέντρο βάρους της), το λάκτισμα με την εξωτερική πλευρά της ποδοκνημικής – εξωτερικό λάκτισμα ($0^\circ - 10^\circ$ γωνία προσέγγισης) και το εξωτερικό λάκτισμα με φάλτσο ($30^\circ - 45^\circ$ γωνία προσέγγισης). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι διαφορετικοί τύποι λακτίσματος παρουσίασαν διαφοροποιημένη μέγιστη ισχύ και μεταβολή της σειράς ενεργοποίησης των μυών κατά την εκτέλεση των λακτισμάτων.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο τρόπος εκτέλεσης αλλάζει από λάκτισμα σε λάκτισμα, άρα ταυτόχρονα διαφοροποιούνται και το πρότυπο των κινήσεων και οι θέσεις των κάτω άκρων (Cerrah, Soylu et al. 2018). Αντίστοιχα, θα πρέπει να διαφοροποιείται η ανάλυση του εκάστοτε λακτίσματος. Παλαιότερα για την ανάλυση του λακτίσματος εφαρμοζόταν οπτική παρακολούθηση ή βιντεοανάλυση. Μέχρι πριν λίγα χρόνια, η βιομηχανική ανάλυση του λακτίσματος διαχωριζόταν σε τρεις φάσεις: α) την πρώτη επαφή του ποδιού στήριξης, β) την ελάχιστη γωνία γόνατος και γ) τη φάση επαφής του ποδιού με την μπάλα (Σχήμα 1).

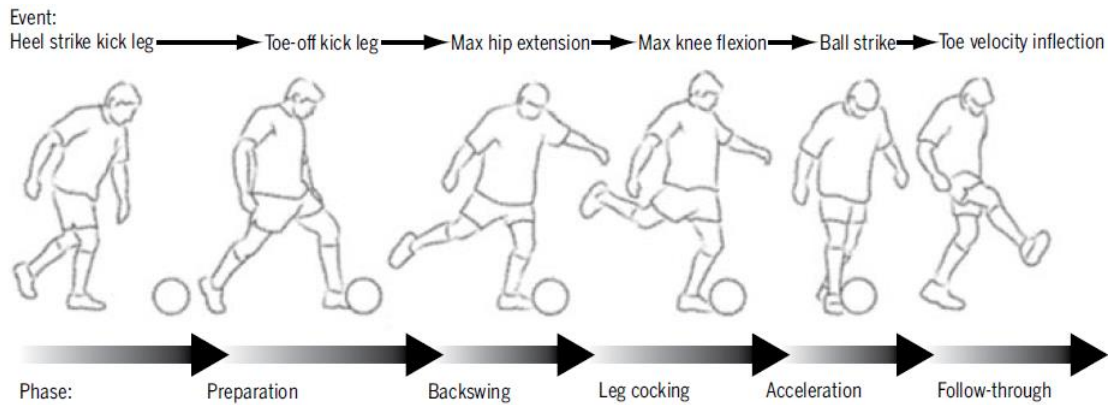


Σχήμα 1. ΠΕΠΣ: Φάση Πρώτης Επαφής του Ποδιού Στήριξης, ΕΓΓ: Φάση Ελάχιστης Γωνίας Γόνατος, ΦΕ: Φάση Επαφής του ποδιού με τη μπάλα (Ekblom 2009).

Στη συνέχεια, η εξέλιξη της τεχνολογίας αναφορικά με τη μεθοδολογία ανάλυσης της κίνησης οδήγησε σε έναν πιο εμπειριστατωμένο τρόπο διαχωρισμού των φάσεων του λακτίσματος. Συγκεκριμένα, ο Brophy και οι συνεργάτες του (2007) εξειδίκευσαν την ερευνητική τους προσέγγιση διαχωρίζοντας το λάκτισμα σε πέντε φάσεις (phases), οι οποίες οριοθετούνταν από έξι «events» (Σχήμα 2 και 3). Μελέτησαν τις δύο κύριες τεχνικές εκτέλεσης του λακτίσματος που χρησιμοποιούνται στο ποδόσφαιρο, το λάκτισμα με τα μετατάρσια και το λάκτισμα με το εσωτερικό. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να ποσοτικοποιήσει και να συγκρίνει τη διάρκεια των φάσεων και τη μυϊκή ενεργοποίηση των κάτω άκρων κατά την εκτέλεση των εν λόγω λακτισμάτων. Οι συμμετέχοντες ήταν δεκατρείς άντρες, αθλητές στην πρώτη κολεγιακή κατηγορία, με απουσία αθλητικών κακώσεων στο ιατρικό τους ιστορικό. Η συγκεκριμένη μελέτη θα μπορούσαμε να πούμε πως έδωσε το έναυσμα για να μελετηθεί το λάκτισμα με το εσωτερικό, καθώς μετά από ενδελεχή έρευνα φαίνεται να είναι η πρώτη που απεικόνισε τις φάσεις και τα events στο λάκτισμα με το εσωτερικό.

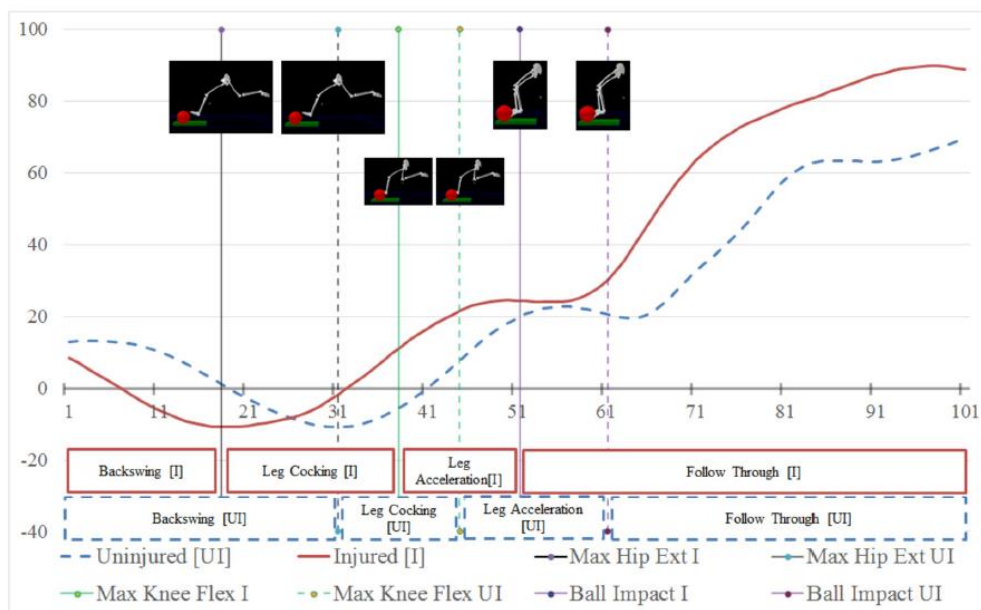


Σχήμα 2. Τα έξι events και οι πέντε φάσεις που απαρτίζουν την εκτέλεση λακτίσματος με την περιοχή των μεταταρσίων (Brophy, Backus et al. 2007).



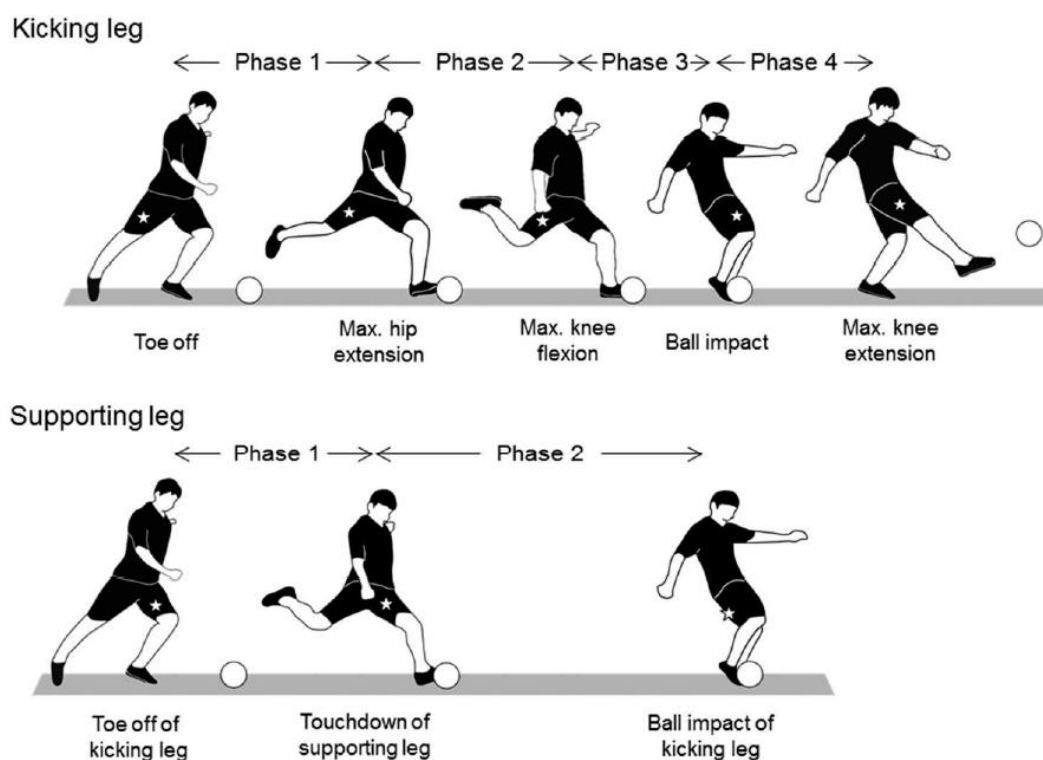
Σχήμα 3. Τα έξι events και οι πέντε φάσεις που απαρτίζουν την εκτέλεση λακτίσματος με το εσωτερικό (Brophy, Backus et al. 2007).

Η πιο σύγχρονη παρουσίαση των φάσεων του άκρου εκτέλεσης στο λάκτισμα με τα μετατάρσια έγινε από τον Navandar και τους συνεργάτες του (2018) (Σχήμα 4). Πρέπει να σημειωθεί πως, αν γίνει μία ιστορική αναδρομή στον τρόπο παρουσίασης των φάσεων του λακτίσματος, θα συμπεράνουμε πως η εν λόγω έρευνα παρουσιάζει την πιο σύγχρονη επιστημονική απεικόνιση του λακτίσματος από την πλευρά της εμβιομηχανικής. Συγκεκριμένα, η έρευνα πραγματευόταν τις επιδράσεις των τραυματισμών του δικέφαλου μηριαίου στη μηχανική του λακτίσματος. Ο πυρήνας αυτής της έρευνας ήταν η συσχέτιση των δύο φύλων σε όλες τις φάσεις του λακτίσματος για πιθανότητα τραυματισμού καθώς και η εκτέλεσή του με κυρίαρχο ή με μη κυρίαρχο άκρο.



Σχήμα 4. Οι πέντε φάσεις που απαρτίζουν την εκτέλεση λακτίσματος με τα μετατάρσια στην πιο σύγχρονη απεικόνισή του (Navandar, Veiga et al. 2018).

Ο Watanabe και οι συνεργάτες του (2020) στην έρευνά τους παρουσίασαν για πρώτη φορά στη βιβλιογραφία, απ' όσο γνωρίζουμε, μια συνδυαστική απεικόνιση των πέντε events του άκρου εκτέλεσης και των events του άκρου στήριξης κατά την εκτέλεση του λακτίσματος (Σχήμα 5). Απουσιάζει η ονομασία των τεσσάρων φάσεων του άκρου εκτέλεσης καθώς και η ονομασία των δύο φάσεων του άκρου στήριξης.



Σχήμα 5. Τα πέντε events του ποδιού εκτέλεσης και τα τρία events του ποδιού στήριξης. Εδώ παρουσιάζεται η πιο ολοκληρωμένη απεικόνιση που έχει αποδοθεί για την εκτέλεση του λακτίσματος. Σε σύγκριση με την υπόλοιπη βιβλιογραφία, απουσιάζει η ονομασία των φάσεων καθώς και η πέμπτη φάση – follow through phase (Watanabe, Nunome et al. 2020).

Επίσης η ονομασία των φάσεων του άκρου στήριξης απουσιάζει γενικά από τη βιβλιογραφία. Οι περισσότεροι επιστήμονες μελετάνε σε συνολική εικόνα την επιβάρυνση που θα δεχθεί το άκρο στήριξης από τη στιγμή που θα πατήσει στο δυναμοδάπεδο (initial contact) μέχρι και τη στιγμή της μέγιστης έκτασης του γόνατος (max knee extension), δηλαδή το τελευταίο event του λακτίσματος με τα μετατάρσια (Lees, Asai et al. 2010, Augustus, Mundy et al. 2017).

Ο Kellis και οι συνεργάτες του (2004) μελέτησαν τα κινηματικά και ηλεκτρομυογραφικά χαρακτηριστικά των κάτω άκρων κατά τη διάρκεια της μέγιστης εκτέλεσης λακτίσματος. Παράλληλα, μετρήθηκαν και οι δυνάμεις αντίδρασης του

εδάφους κατά την εκτέλεση των λακτίσμάτων με διαφορετικές προσεγγίσεις από γωνίες. Η προσέγγιση των τριών διευθύνσεων (0° , 45° και 90°) έγινε με τυχαία σειρά και υπήρχε ξεκούραση τρία με πέντε λεπτά ανάμεσα στα λακτίσματα. Το λάκτισμα διαχωρίστηκε σε δύο φάσεις, τη φάση προ – στήριξης και τη φάση στήριξης. Στην εν λόγω έρευνα η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο πόδι εκτέλεσης και στο πόδι στήριξης. Αυτό έγινε για την ταυτόχρονη εξέταση και απεικόνιση των δεδομένων ηλεκτρομυογραφίας (EMG) και δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους (GRF). Ως φάση προ – στήριξης ορίστηκε ο χρόνος από το ξεκίνημα της κίνησης μέχρι και την επαφή με το έδαφος, ενώ ως φάση στήριξης ορίστηκε η χρονική περίοδος από την επαφή με το έδαφος μέχρι την επαφή του άκρου εκτέλεσης με την μπάλα. Αντίστοιχη ανάλυση στο πόδι στήριξης έγινε από τον Kellis και τους συνεργάτες του (2005). Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν να διαπιστωθεί αν η κόπωση επηρεάζει τα εμβιομηχανικά χαρακτηριστικά κατά την εκτέλεση του λακτίσματος. Δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική διαφορά στα κινητικά χαρακτηριστικά, παρά μόνο στην ποδοκνημική άρθρωση. Ένας από τους λόγους που έγινε αυτό μπορεί να είναι και η απουσία της προσέγγισης από γωνία. Γενικά, οι αθλητές προτιμούν να έχουν μία εξατομικευμένη γωνία προσέγγισης κατά την εκτέλεση ενός λακτίσματος και ο λόγος είναι ότι κερδίζουν μεγαλύτερο εύρος κίνησης για την κάμψη του ισχίου και του γόνατος (Scuff and Hall 2009). Προηγούμενες έρευνες αναφέρουν πως η προσέγγιση από γωνία που προτιμούν οι περισσότεροι αθλητές είναι κοντά στις 45° , με την προϋπόθεση ότι το λάκτισμα είναι μέγιστης ισχύος (Severin, Mellifont et al. 2017).

Η σταδιακή εξέλιξη της ανάλυσης του λακτίσματος δεν πρέπει να σταματάει, διότι, εμβαθύνοντας όλο και περισσότερο, θα εμπλουτίζουμε τις απαντήσεις των κύριων ερωτημάτων που μας απασχολούν στην εμβιομηχανική του ποδοσφαίρου: Ποιοι τραυματισμοί μπορούν να επέλθουν κατά τη λάθος αλλά παράλληλα και τη σωστή εκτέλεση (τραυματισμοί χωρίς επαφή) της εν λόγω δεξιότητας; Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν αυτούς τους τραυματισμούς; Πώς προλαμβάνουμε τους τραυματισμούς αυτούς; Πώς θα μεγιστοποιήσω την απόδοση της συγκεκριμένης δεξιότητας, χωρίς να προκαλέσω τραυματισμό; Έχοντας στο μυαλό αυτά τα ερωτήματα, νιώθουμε την ανάγκη για μία πιο ολοκληρωμένη αναλυτική απεικόνιση των φάσεων και των event της σημαντικότερης δεξιότητας στο ποδόσφαιρο. Αναδεικνύεται, λοιπόν, η αναγκαιότητα παράλληλης μελέτης του ποδιού εκτέλεσης και του ποδιού στήριξης, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ανάλυση των δεδομένων, να

εξάγονται πιο ακριβή αποτελέσματα, προκειμένου να κατανοηθεί εις βάθος η κατεξοχήν σημαντικότερη δεξιότητα του ποδοσφαίρου. Βάσει όλων αυτών προκύπτουν τα ακόλουθα στάδια φάσεων και events:

1. Πόδι εκτέλεσης
 - Άρση του άκρου εκτέλεσης από το έδαφος
 - Backswing phase
 - Μέγιστη έκταση ισχίου
 - Leg coking phase
 - Μέγιστη κάμψη γόνατος
 - Acceleration phase
 - Επαφή με τη μπάλα
 - Follow through phase
 - Μέγιστη έκταση γόνατος
2. Πόδι στήριξης
 - Άρση του άκρου εκτέλεσης από το έδαφος
 - Pre – support phase
 - Επαφή του άκρου στήριξης με το έδαφος
 - Support phase
 - Επαφή του ποδιού εκτέλεσης με την μπάλα

Η άρτια συνολική εκτέλεση των παραπάνω φάσεων και events απαιτείται για ένα επιτυχημένο λάκτισμα με τα μετατάρσια. Για να γίνει αυτό, πρέπει πρώτα το πόδι στήριξης να εφάπτεται στο έδαφος σε μία ιδανική απόσταση 30.5 – 45.7 cm (για λάκτισμα με 45° προσέγγισης). Επίσης, είναι επιτακτική ανάγκη να βρίσκεται παράλληλα και από την μπάλα (Shan, Zhang et al. 2019). Ταυτόχρονα, το άκρο εκτέλεσης θα κάνει μία ελαφριά έξω στροφή από την άρθρωση του ισχίου, ενώ την ίδια στιγμή η ποδοκνημική άρθρωση θα βρεθεί σε πελματιαία κάμψη με τρόπο που τα ακροδάκτυλα να κοιτάνε προς το έδαφος (Cerrah, Soylu et al. 2018). Η περιοχή με την οποία θα έρθει σε επαφή το πόδι εκτέλεσης είναι αυτή των μεταταρσίων και για την μπάλα θα είναι γύρω από το κέντρο μάζας της.

Αθλητικές κακώσεις στο λάκτισμα

Ο Andersen Lars (2014) ανέφερε ότι, παρόλο που το ποδόσφαιρο προσφέρει πολλά οφέλη για την υγεία, την ευεξία και τη μυϊκή δύναμη, υπάρχει και ο κίνδυνος για τραυματισμό (Andersen 2014), είτε από την πλευρά της άσκησης για υγεία είτε από την πλευρά του πρωταθλητισμού. Οι αθλητικές κακώσεις απασχολούν τους ειδικούς πολλά χρόνια. Μία από τις πρώτες εμβιομηχανικές μελέτες που έδωσαν το έναυσμα για τη διαμόρφωση του σύγχρονου ποδοσφαίρου έγινε από τον G. R. Johnson και τους συνεργάτες του το 1976. Στόχος της έρευνας ήταν η δημιουργία ενός κατάλληλου υποδήματος για τους αθλητές, με σκοπό τη μείωση των τραυματισμών στα κάτω άκρα (Johnson, Dowson et al. 1976). Οι αθλητικές κακώσεις που γίνονται στο ποδόσφαιρο είναι πολλές, έχουν διαφορετικό τρόπο κατηγοριοποίησης καθώς και διαφορετικό βαθμό βαρύτητας (Σχήμα 6 και 7).

	Σύνολο	Ελαφριά	Μέτρια	Σοβαρή
Άκρος πόδας	12	10	2	0
Ποδοκνημική	17	11	5	2
Κνήμη	12	6	4	2
Γόνατο	20	11	5	4
Μηρός	14	6	5	2
Βουβωνική χώρα	13	9	3	1
Οσφύ	5	4	1	0
Άλλα	7	5	2	0
Σύνολο	100	62	27	11

Σχήμα 6. Επιδημιολογική απεικόνιση των αθλητικών κακώσεων (Ekblom 2009).

	Σύνολο	Ελαφριά	Μέτρια	Σοβαρή
Διάστρεμμα	29	16	7	5
Υπέρχρηση	23	17	5	2
Μώλωπας	20	15	5	0
Θλάση	18	9	7	2
Κάταγμα	4	1	1	2
Εξάρθρωμα	2	0	2	0
Άλλα	4	4	0	0
Σύνολο	100	62	27	11

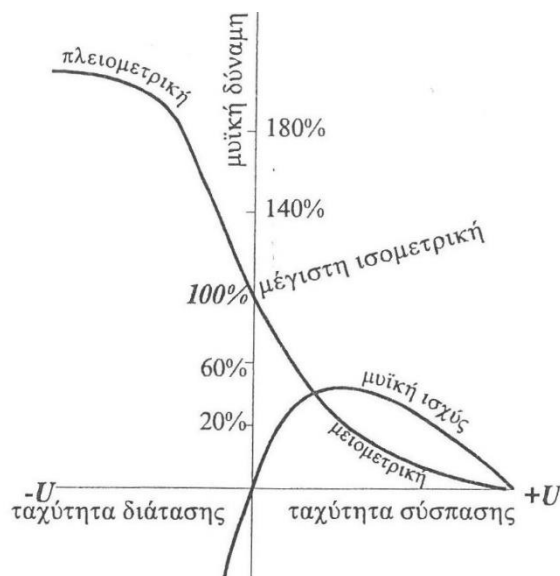
Σχήμα 7. Κατηγοριοποίηση των αθλητικών κακώσεων (Ekblom 2009).

Ακόμα και σήμερα οι αθλητικές κακώσεις επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα άτομα που ασχολούνται με το ποδόσφαιρο. Οι κακώσεις αυτές εντοπίζονται λιγότερο

στα άνω άκρα. Η εμφάνισή τους υπάρχει λόγω υπερπροπόνησης, κακής αποκατάστασης και κυρίως λόγω των πτώσεων των αθλητών κατά τη διάρκεια της προπόνησης και του αγώνα. Μεγαλύτερη συχνότητα σε αυτές υπάρχει στην ιδιαίτερη θέση του τερματοφύλακα. Τα κάτω άκρα βρίσκονται σε συνεχή επιβάρυνση, κατά την προπόνηση αλλά και κατά τον αγώνα, με αποτέλεσμα είναι πιο επιρρεπή στους τραυματισμούς. Αυτό αποδείχθηκε από τους Ekstrand, Hagglund και Walden (2011), οι οποίοι πραγματοποίησαν μία επιδημιολογική έρευνα που διήρκησε από το 2001 μέχρι και το 2009. Στην έρευνα αυτή συμμετείχαν πενήντα ένα επαγγελματικές ομάδες από όλο τον κόσμο, οι οποίες απαρτίζονταν από δύο χιλιάδες διακόσιους είκοσι ένα αθλητές. Όταν ένας από αυτούς τους αθλητές τραυματιζόταν σε τέτοιο βαθμό που να μην μπορούσε να συμμετέχει, γινόταν καταγραφή του τραυματισμού και παρακολούθησή του μέχρι την πλήρη αποκατάσταση. Μετά την ολοκλήρωση της έρευνας και την καταγραφή των δεδομένων, η επιστημονική ομάδα ήρθε στο συμπέρασμα πως 92% των τραυματισμών στο ποδόσφαιρο γίνεται στα κάτω άκρα, επηρεάζοντας τέσσερις μεγάλες μυϊκές ομάδες: τους οπίσθιους μηριαίους (37%), τους απαγωγούς (23%), τον τετρακέφαλο (19%) και το γαστροκνήμιο (13%). Μία ακόμα ενδιαφέρουσα στατιστική παρουσιάζει μόνο τους απλούς τραυματισμούς λαμβάνοντας υπόψιν τέσσερα Παγκόσμια Κύπελα (World Cups) κι αναφέροντας ποσοστό τραυματισμού στην περιοχή του ισχίου 23% – 24%, στην περιοχή της ποδοκνημικής άρθρωσης 18% – 19% και στην περιοχή του γόνατος 15% – 17% (Charnock, Lewis et al. 2009). Συμπερασματικά, παρουσιάστηκε ένα ποσοστό 56% – 60% που αφορούσε απλούς τραυματισμούς μόνο στα κάτω άκρα, ενώ παράλληλα το 5% – 13% των τραυματισμών αυτών θα οδηγούσε τους τραυματισμένους αθλητές εκτός αγωνιστικών υποχρεώσεων για ένα χρονικό διάστημα.

Η εμβιομηχανική περιγραφή της εκτέλεσης του λακτίσματος αντιστοιχεί στην κατανόηση της ορθής εκτέλεσής του. Αυτό που δεν αναφέραμε είναι τι γίνεται αν δεν είναι τεχνικά και κινησιολογικά επιτυχημένη αυτή η κίνηση. Εξηγήσαμε πως το λάκτισμα απαρτίζεται από κάποιες φάσεις και event. Σε καθένα από αυτά υπάρχει συμβολή της δύναμης και της ταχύτητας από εκτεινόντες και καμπτήρες μύες για την παραγωγή της ισχύος που απαιτείται στην εκτέλεση του εκάστοτε λακτίσματος. Η ισχύς είναι ο κυριότερος παράγοντας, καθώς το λάκτισμα είναι μία εκρηκτική κίνηση που σημαίνει πως θέλουμε το δυνατότερο αποτέλεσμα στον λιγότερο δυνατό χρόνο. Αυτό το κατανοούμε καλύτερα παρατηρώντας το διάγραμμα σχέσης δύναμης –

ταχύτητας της καμπύλης του Hill (Σχήμα 8), στο οποίο φαίνεται ότι η μέγιστη ισχύς ενός μυός παρουσιάζεται όταν η ταχύτητα σύσπασης είναι 25 – 30% της μέγιστης ταχύτητας και η εφαρμοζόμενη δύναμη είναι περίπου 30% της μέγιστης δύναμης (Κόλλιας, 2011).



Σχήμα 8. Σχέση δύναμης και ταχύτητας. Η σχέση αυτή στον κλάδο της επιστήμης της άθλησης εδώ και πολλά χρόνια είναι γνωστή και ως καμπύλη του Hill (Κόλλιας 2011).

Εφόσον παραχθεί η ανάλογη ποσότητα ισχύος που χρειάζεται για την εκτέλεση του λακτίσματος και δε γίνει η μεταφορά της ενέργειας που έχει παραχθεί στην μπάλα, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα τραυματισμού. Ο τραυματισμός μπορεί να επέλθει στον άκρο πόδα, στο γόνατο καθώς και στον μηρό.

α) Άκρος πόδας

Πιο συγκεκριμένα, στην ποδοκνημική άρθρωση μπορεί κατά την εκτέλεση του λακτίσματος να επέλθει διάστρεμμα του μεταταρσιοφαλαγγικού συνδέσμου. Αυτό προκαλείται, συνήθως, στον σύνδεσμο του μεγάλου δακτύλου, λόγω της χρήσης του ως κύριο μοχλοβραχίονα της ποδοκνημικής άρθρωσης. Η παρουσία της αυξημένης τριβής μεταξύ δακτύλων και υποδήματος, κατά την προετοιμασία εκτέλεσης του λακτίσματος στο πόδι στήριξης και στο πόδι εκτέλεσης, όταν γίνεται η άρση τους από το έδαφος και εκτελείται βίαιη ραχιαία κάμψη, έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζεται κάκωση.

Το υπονύχιο αιμάτωμα, γνωστό κι ως δάκτυλο του ποδοσφαιριστή, είναι μία κάκωση που συμβαίνει συχνά σε ποδοσφαιριστές. Το τελευταίο event που συμβαίνει στο πόδι στήριξης κατά την εκτέλεση λακτίσματος (επαφή με τη μπάλα από το πόδι

εκτέλεσης) έχει ως αποτέλεσμα την ενσφήνωση του μεγάλου δακτύλου στο εσωτερικό μέρος του υποδήματος. Η ενσφήνωση του ποδιού στήριξης γίνεται λόγω της ακινητοποίησης του άκρου, με αποτέλεσμα να λαμβάνουν χώρα εξωτερικές δυνάμεις κατά την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης κίνησης. Οι δυνάμεις αυτές είναι η τριβή, η δύναμη αντίδρασης του εδάφους και η αντίσταση που ασκεί το υπόδημα γύρω από τον ταρσό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αιματώματος.

Η ποδοκνημική του ποδοσφαιριστή είναι συνηθισμένος αθλητικός τραυματισμός για τον αθλητή κατά την εκτέλεση του λακτίσματος. Συγκεκριμένα, το πόδι εκτέλεσης, μετά τη δεύτερη φάση στην εκτέλεση του τρίτου event (μέγιστη κάμψη γόνατος), εκτελεί ταυτόχρονα μία πελματιαία κάμψη. Η οξεία υπερδιάταση ή επαναλαμβανόμενη υπερδιάταση της ποδοκνημικής μπορεί να συμβάλει στην αναδημιουργία του οστού, δηλαδή στην εμφάνιση οστεόφυτων, κυρίως στην μπροστινή επιφάνεια της ποδοκνημικής, καθώς και στον έσω ή έξω σφυρό.

Τέλος, ο πιο συχνός τραυματισμός στο ποδόσφαιρο αλλά και στην περιοχή αυτή είναι το διάστρεμμα της ποδοκνημικής. Ο συγκεκριμένος τραυματισμός λαμβάνει χώρα κατά την προσπάθεια τελειοποίησης της πρώτης φάσης του άκρου στήριξης. Η σωστή ακολουθία της επαφής του άκρου στήριξης με το έδαφος είναι ίδια με εκείνη της βάδισης, δηλαδή εκτέλεση τριών συνεχόμενων περιστροφών: της πτέρνας – heel rocker, της ποδοκνημικής – ankle rocker και του μπροστινού μέρους του ποδιού – forefoot rocker. Λόγω της λανθασμένης πρώτης επαφής του άκρου, ο αθλητής στηρίζεται σε μία ποδοκνημική άρθρωση η οποία έχει υποβληθεί σε υπτιασμό. Η δύναμη αντίδρασης του εδάφους θα απορροφηθεί από την εν λόγω άρθρωση λανθασμένα και για τον λόγο αυτό θα προκληθεί κάκωση.

Στον άκρο πόδα βρίσκεται ο ισχυρότερος τένοντας στο σώμα μας, που ονομάζεται Αχίλλειος τένοντας. Οι κακώσεις στον τένοντα αυτό έχουν τη μορφή μερικής ή ολικής ρήξης, τενοντίτιδας ή θυλακίτιδας. Μερική ή ολική ρήξη μπορεί να επέλθει στον τένοντα του αθλητή, λόγω των ισχυρών δυνάμεων που ασκούνται στα κάτω άκρα (δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους) ή της φτωχής αιμάτωσής τους. Η τενοντίτιδα και η θυλακίτιδα είναι σύνδρομα υπέρχρησης. Συγκεκριμένα, η τενοντίτιδα προκαλείται από τα επαναλαμβανόμενα παρατεταμένα φορτία που ασκούνται στον Αχίλλειο. Αντίθετα, η θυλακίτιδα είναι η εμφάνιση φλεγμονής στον θύλακα που καταφύεται ο Αχίλλειος τένοντας. Και οι δύο μορφές κακώσεων μπορεί να επέλθουν σε οποιαδήποτε φάση του λακτίσματος. Στο πόδι εκτέλεσης είναι πιθανότερο να

εμφανιστεί η θυλακίτιδα. Η φλεγμονή αυτή δημιουργείται λόγω της λειτουργίας της ποδοκνημικής ως δίαυλο για τη μεταφορά ενέργειας στην μπάλα. Το πόδι στήριξης είναι πιο επιρρεπές στην τενοντίτιδα, λόγω της συνεχούς απορρόφησης των δυνάμεων κατά τις φάσεις στήριξης. Τα παραπάνω αναφέρονται τόσο στο άκρο προτίμησης για το λάκτισμα όσο και στο άκρο στήριξης.

β) Γόνατο

Μία από τις κακώσεις που συμβαίνουν στους ποδοσφαιριστές κατά την εκτέλεση του λακτίσματος στην άρθρωση του γόνατος, είναι το σύνδρομο τριβής της λαγονοκνημιαίας ταινίας. Είναι κάκωση υπέρχρησης που συμβαίνει κατά την κίνηση των κάτω άκρων είτε στο τρέξιμο είτε κατά την εκτέλεση οποιασδήποτε δεξιότητας (λάκτισμα). Η άρθρωση του γόνατος εκτελεί έσω – έξω στροφή και στις φάσεις του άκρου εκτέλεσης αλλά και στις φάσεις του άκρου στήριξης, ασκώντας συνεχή τριβή στη λαγονοκνημιαία ταινία.

Οι κακώσεις στον μηνίσκο είναι τραυματισμοί που συμβαίνουν συχνά στο ποδόσφαιρο, λόγω της φύσης και των απαιτήσεων του αθλήματος. Οι ακραίες θέσεις στις οποίες έρχεται το γόνατο είναι αυτές που προκαλούν την κάκωση. Μετά την εκτέλεση της δεύτερης φάσης του λακτίσματος, στο τρίτο event (μέγιστη κάμψη γόνατος), μπορεί να επέλθει τραυματισμός του μηνίσκου στο πόδι εκτέλεσης, εφόσον η κάμψη της άρθρωσης ήταν πολύ έντονη. Αντίστοιχα, μετά την τέταρτη φάση του λακτίσματος, στο τελευταίο event (μέγιστη έκταση γόνατος), μπορεί να επέλθει τραυματισμός, εάν η άρθρωση του γόνατος φτάσει σε υπερέκταση.

Τραυματισμός του μηνίσκου στο πόδι στήριξης μπορεί να γίνει κατά τη δεύτερη φάση, εφόσον το πέλμα του υποδήματος κολλήσει στο έδαφος, με συνέπεια να εμποδιστεί η ολοκλήρωση των κρίσιμων περιστροφών. Η αδυναμία έναρξης κι ολοκλήρωσης της τρίτης περιστροφής (περιστροφή του μπροστινού μέρους του ποδιού – forefoot rocker) θα αναγκάσει το πόδι στήριξης σε υπερέκταση, με αποτέλεσμα τον τραυματισμό. Συχνά οι κακώσεις του μηνίσκου προκαλούνται παράλληλα με άλλες κακώσεις των συνδέσμων της άρθρωσης του γόνατος.

Μία από αυτές είναι η κάκωση του πρόσθιου χιαστού συνδέσμου (ACL). Η συγκεκριμένη κάκωση απασχολεί υπερβολικά την κοινότητα του αθλήματος, λόγω της συχνής εμφάνισής της στους αθλητές. Η εν λόγω κάκωση μπορεί να προκληθεί χωρίς επαφή αλλά και μέσω επαφής στην εκτέλεση του λακτίσματος. Η κάκωση μέσω

επαφής κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του λακτίσματος μπορεί να επέλθει κατά την εμπόδιση ολοκλήρωσης της τέταρτης φάσης του λακτίσματος από έναν αντίπαλο παίκτη, ενώ παράλληλα το γόνατο εκτέλεσης έρχεται σε υπερέκταση ή μέσω ώθησης υπόκειται σε βλαισότητα.

γ) Μηρός

Οι κακώσεις που εμφανίζονται στον μηρό είναι γνωστές ως θλάσεις ή μυϊκές ρήξεις. Όπως προαναφέραμε, είναι μία κατηγορία κακώσεων που εμφανίζεται πολύ συχνά στο ποδόσφαιρο και διαχωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες: τις ολικές και μερικές μυϊκές ρήξεις. Κατά την εκτέλεση λακτίσματος στο ποδόσφαιρο μπορεί να εμφανιστούν μερικές ρήξεις στους μύες του μηρού, λόγω υπερδιάτασης ή υπερφόρτισης κατά την εκτέλεση της πρώτης φάσης του λακτίσματος από το άκρο εκτέλεσης, φτάνοντας στο δεύτερο event (μέγιστη έκταση ισχίου). Ανάλογες ρήξεις μπορεί να εμφανιστούν και στον μηρό του άκρου στήριξης μέσω της υπερφόρτισης καθ' όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης του λακτίσματος.

Τα προαναφερθέντα μας φέρουν υπόψιν τη βαρύτητα αλλά και την αναγκαιότητα της σωστής εκτέλεσης ενός λακτίσματος. Οι μύες και οι μυϊκές ομάδες από τη φύση τους, λόγω της προπόνησης αλλά και της καθημερινότητας, αναδιαμορφώνονται και πιο συγκεκριμένα βραχύνονται ή διατείνονται. Για να τους επαναφέρουμε σε μια ευνοϊκή κατάσταση, προκειμένου επιτευχθεί η αποφυγή των τραυματισμών ενώ παράλληλα γίνεται η παραγωγή μέγιστης απόδοσης, θα πρέπει να μπορούμε να προσδιορίσουμε την άρτια εμβιομηχανική της εν λόγω δεξιότητας. Έχοντας παρουσιάσει τη θεμέλια βάση της δεξιότητας του λακτίσματος, θεωρούμε πως η συγκεκριμένη έρευνα είναι σημαντική, καθώς μπορεί να συμβάλει στο να δούμε την εμβιομηχανική του λακτίσματος υπό διαφορετικές συνθήκες, αποτελώντας έναν τρόπο αξιολόγησης της πιο σημαντικής δεξιότητας του ποδοσφαίρου στο μέλλον.

III.Μεθοδολογία

Δείγμα

Οι συμμετέχοντες της παρούσας μελέτης ήταν αθλητές τοπικών ομάδων Α΄ κατηγορίας αλλά και φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Πίνακας 1). Η συμμετοχή των 15 συνολικά εξεταζόμενων ήταν εθελοντική. Κριτήρια αποκλεισμού για τη συμμετοχή του δείγματος ήταν η ύπαρξη ιστορικού οποιασδήποτε κάκωσης 2ου ή 3ου βαθμού τους τελευταίους έξι μήνες καθώς και ο τραυματισμός κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου. Αποκλείστηκαν τελικά έξι από τους παραπάνω συμμετέχοντες, διότι η εμβιομηχανική του λακτίσματός τους δεν τηρούσε την ακολουθία των events και φάσεων που έχει τεθεί από την επίσημη βιβλιογραφία του λακτίσματος. Τα μέτρα αυτά λήφθηκαν για την άρτια εκτέλεση της εμβιομηχανικής του λακτίσματος και την αποφυγή καταγραφής λανθασμένης τεχνικής.

Πίνακας 1: Πίνακας ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων

ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Ηλικία (έτη)	20.88
Ανάστημα (cm)	176.81
Σωματικό Βάρος (kg)	72.22
Προπονητική Ηλικία (έτη)	12
Μήκος Κάτω Άκρου (cm)	927.33
Περιφέρεια Γόνατος (cm)	95.66
Περιφέρεια Ποδοκνημικής (cm)	74.55

Μετρήσεις – Επιλογή Οργάνων

- Το ανάστημα των δοκιμαζόμενων μετρήθηκε μέσω αναστημόμετρου.
- Το σωματικό βάρος των δοκιμαζόμενων μετρήθηκε χρησιμοποιώντας το δυναμοδάπεδο.

- Το μήκος των κάτω άκρων βρέθηκε με τη χρήση μεζούρας.
- Το πάχος της ποδοκνημικής και του γόνατος βρέθηκε με τη χρήση παχύμετρου.
- Για την καταγραφή της κινηματικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν 10 κάμερες τρισδιάστατης ανάλυσης (Vicon T-series Oxford, UK) και η συχνότητα δειγματοληψίας ορίστηκε στα 200 Hz κατά την εκτέλεση των λακτισμάτων.
- Η διαδικασία του πρωτοκόλλου περιελάμβανε προσέγγιση από γωνία για την εκτέλεση λακτίσματος από 0°, 45° και 90° χρησιμοποιώντας τρεις μπάλες διαφορετικού βάρους και μεγέθους.

Τόπος διεξαγωγής μετρήσεων

Η προετοιμασία – προθέρμανση των αθλητών αλλά και η αξιολόγηση των λακτισμάτων του πρωτοκόλλου πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Εμβιομηχανικής της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Συμπλήρωση ερωτηματολογίων

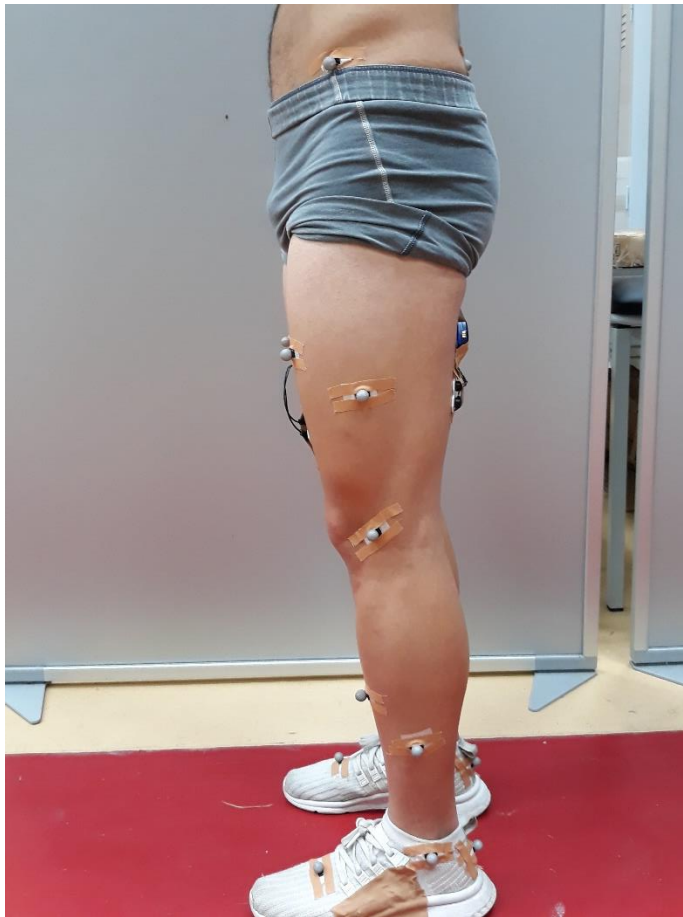
Όλοι οι δοκιμαζόμενοι δήλωσαν εθελοντική συμμετοχή, αφού πρώτα ενημερώθηκαν για τον σκοπό της μελέτης. Αρχικά, υπέγραψαν το έντυπο συμμετοχής, ενώ παράλληλα μας ανέλυσαν το ιατρικό τους ιστορικό, προκειμένου να αποκλεισθούν όσοι δεν πληρούσαν τα προαναφερθέντα κριτήρια.

Μέτρηση Ανθρωπομετρικών Χαρακτηριστικών

Κατά τη διαδικασία καταγραφής των ανθρωπομετρικών των συμμετεχόντων μετρήθηκαν πέντε χαρακτηριστικά: το ανάστημα των αθλητών, το βάρος τους, το μήκος των κάτω άκρων, το πάχος της άρθρωσης του γόνατος και της ποδοκνημικής του κάθε αθλητή. Όπως αναφερθήκαμε και προηγουμένως, το ανάστημα μετρήθηκε με αναστημόμετρο και το βάρος από το δυναμοδάπεδο. Το μήκος του κάτω άκρου καθορίστηκε μετρώντας την ακριβή απόσταση της πρόσθιας λαγόνιας ακάνθας και του έσω σφυρού του ίδιου τεταρτημορίου. Στην άρθρωση του γόνατος το πάχος καθορίστηκε μετρώντας την απόσταση ανάμεσα από τον έσω με έξω μηριαίο κόνδυλο. Τέλος, στην ποδοκνημική άρθρωση το πάχος καθορίστηκε βάσει της απόστασης που υπήρχε μεταξύ του έσω και έξω σφυρού.

Διαδικασία κινηματικής ανάλυσης – τοποθέτηση ανακλαστήρων

Η τοποθέτηση των ανακλαστήρων (markers) έγινε σύμφωνα με τη μελέτη των Schwartz και Rozumalski (2005). Πιο συγκεκριμένα, η τοποθέτηση των ανακλαστήρων στην περιοχή της λεκάνης έγινε στις πρόσθιες και οπίσθιες λαγόνιες ακάνθες. Στον μηρό οι ανακλαστήρες τοποθετήθηκαν στη μέση του ορθού μηριαίου, λίγο κάτω από τη μέση της λαγονοκνημιαίας ταινίας και στον έξω μηριαίο κόνδυλο. Τέλος, στον άκρο πόδα οι ανακλαστήρες τοποθετήθηκαν στη μέση του πρόσθιου κνημιαίου, ανάμεσα από τον έξω μηριαίο κόνδυλο και τον έξω σφυρό πάνω στον έσω σφυρό, στο ύψος της πτέρνας και ανάμεσα από το πρώτο και δεύτερο μετατάρσιο (σχήμα 9 και 10).



Σχήμα 9. Τοποθέτηση ανακλαστήρων με βάση Schwartz & Rozumalski (2005) από πλάγια όψη.



Σχήμα 10. Τοποθέτηση ανακλαστήρων με βάση Schwartz & Rozumalski (2005) από πρόσθια όψη.

Διαδικασία ρύθμισης των καμερών και των δυναμοδαπέδων

Για να γίνει η καταγραφή και έπειτα η ανάλυση της κίνησης, χρησιμοποιήθηκε ένα οπτικοηλεκτρονικό σύστημα που απαρτιζόταν από 10 κάμερες υψηλής ανάλυσης (Vicon T-series, Oxford, UK) έχοντας ρυθμισμένη τη συχνότητα δειγματοληψίας στα 200 Hz . Η τοποθέτηση των καμερών στο εργαστήριο προϋπήρχε και έχουν διαταχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα σφάλματος κατά τον υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων (X,Y,Z). Οι δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους (GRFs) καταγράφηκαν από συγχρονισμένο με την ανάλυση της κίνησης δυναμοδάπεδο BERTEC (4060-15), το οποίο βρισκόταν ενσωματωμένο στο έδαφος πάνω σ' ένα διάδρομο βάδισης (walk way) 10 μέτρων. Η συχνότητα δειγματοληψίας που είχε το δυναμοδάπεδο ήταν στα 1000 Hz.

Διαδικασία στατικού και δυναμικού «καλιμπραρίσματος» του εξεταζόμενου.

Οι αθλητές στέκονταν ακίνητοι και σε όρθια στάση στο δυναμοδάπεδο για πέντε δευτερόλεπτα, ενώ παράλληλα είχαν τα άνω άκρα σε έκταση με την άρθρωση του αγκώνα να βρίσκεται σε κάμψη. Στη στατική θέση χρησιμοποιήθηκε το κλασικό μοντέλο του Davis, για να γίνει ένας πρώτος υπολογισμός των θέσεων των κέντρων και των αξόνων περιστροφής (Davis Iii, Ounpuu et al. 1991). Στη συνέχεια οι αθλητές στέκονταν σε μονοποδική στήριξη στο δυναμοδάπεδο. Το πόδι εκτέλεσης βρισκόταν στον αέρα με το ισχίο σε κάμψη, ενώ το γόνατο σχημάτιζε γωνία 90°, και το πόδι στήριξης βρισκόταν σε πλήρη έκταση. Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν τρεις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες κάμψης και έκτασης του γόνατος με σταθερό ρυθμό κίνησης. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα δύο άκρα. Έπειτα, καθώς οι συμμετέχοντες βρίσκονταν σε διποδική στήριξη, εκτέλεσαν με το ένα άκρο σε συγκεκριμένο ρυθμό, επτά κινήσεις σε διαφορετικές κατευθύνσεις, τις οποίες ακολούθησαν μία έσω και μία έξω στροφή του ισχίου. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στα δύο άκρα. Με τις παραπάνω δοκιμασίες μειώνονται τα σφάλματα στον προσδιορισμό των θέσεων των αρθρώσεων και των αξόνων περιστροφής, με αποτέλεσμα οι τελικές κινηματικές και κινητικές παράμετροι που εξάγονται από το μετωπιαίο και από το εγκάρσιο επίπεδο να είναι πιο ακριβείς.

Διαδικασία πειραματικής αξιολόγησης

Από τους εννέα τελικά συμμετέχοντες οι πέντε είχαν ως πόδι προτίμησης το δεξί και οι υπόλοιποι τέσσερις είχαν το αριστερό. Ως πόδι προτίμησης ορίστηκε το πόδι που χρησιμοποιούν για την εκτέλεση του λακτίσματος (Dörge, Andersen et al. 2002). Καθένας από αυτούς εκτέλεσε 10 λεπτά προθέρμανσης, μέσα στα οποία τα πέντε ήταν τρέξιμο σε διάδρομο, με προοδευτική αύξηση της έντασης (Kellis, Katis et al. 2006). Τα υπόλοιπα λεπτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση διατάσεων και δρομικών ασκήσεων, ενώ πρέπει να σημειωθεί πως το πρωτόκολλο που θα εκτελούσε ο αθλητής εξηγούνταν κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης. Το πρωτόκολλο απαρτιζόταν συνολικά από δεκαοκτώ λακτίσματα σε τρεις διαφορετικές γωνίες (Kellis, Katis et al. 2004, Scuff and Hall 2009) με τρεις διαφορετικές μπάλες. Ο τρόπος εκτέλεσης του λακτίσματος γινόταν με τα μετατάρσια, ενώ προηγούνταν ένα βήμα προσέγγισης από διαφορετικές κατευθύνσεις προς την μπάλα. Η εκτέλεση του λακτίσματος γινόταν έξι φορές από 0° προσέγγισης, δύο φορές με την μπάλα της καλαθοσφαίρισης, δύο με την

μπάλα της ποδοσφαίρισης και δύο με την μπάλα της πετοσφαίρισης. Αντίστοιχα, γινόταν το ίδιο στις 45° προσέγγισης, αλλά και στις 90°. Κάθε μπάλα είχε διαφορετικό μέγεθος και βάρος. Η μπάλα της καλαθοσφαίρισης ήταν Νο 6, ζύγιζε 560gr και πάνω της ήταν τοποθετημένοι περιμετρικά τρεις ανακλαστήρες. Η μπάλα της ποδοσφαίρισης ήταν Νο 5 ζύγιζε 443gr (Σχήμα 13) με τοποθετημένους ανακλαστήρες στα αντίστοιχα σημεία. Η μπάλα της πετοσφαίρισης ήταν Νο 5, ζύγιζε 283gr με τοποθετημένους ανακλαστήρες στα αντίστοιχα σημεία. Οι αθλητές κατά την εκτέλεση των λακτισμάτων είχαν διάλειμμα τριάντα δευτερόλεπτα ανάμεσα από κάθε λάκτισμα και ένα λεπτό μεταξύ της εκτέλεσης από κάθε γωνία.



Σχήμα 11. Απεικόνιση προσπάθειας εκτέλεσης λακτίσματος με μπάλα ποδοσφαίρου.

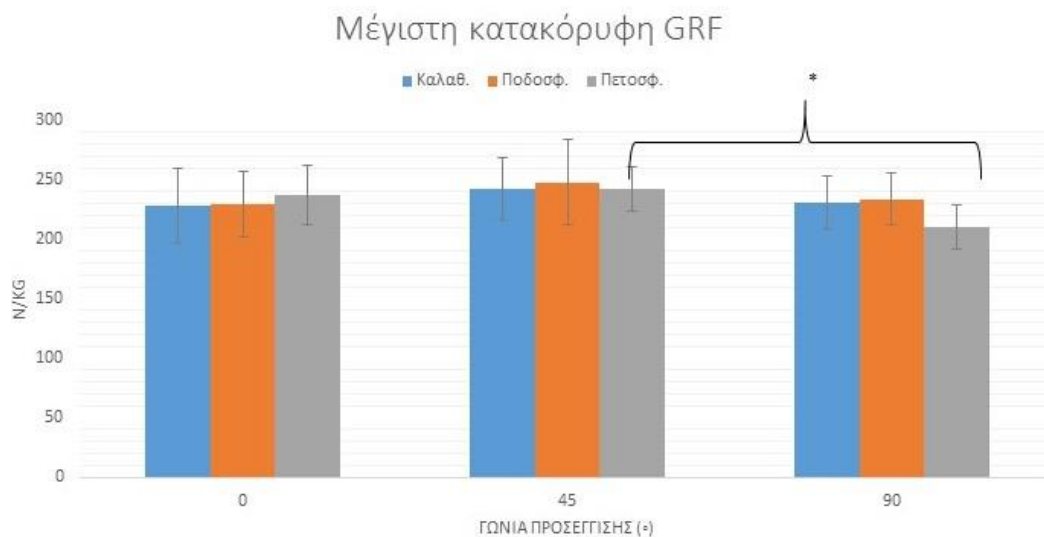
Στατιστική ανάλυση

Για τον έλεγχο της ομαλότητας της κατανομής των εξεταζόμενων μεταβλητών εφαρμόστηκε το τεστ Smirnov-Kolmogorov. Χρησιμοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις 2 παραγόντων (προσέγγιση από γωνία: 3 επίπεδα, τύπος μπάλας: 3 επίπεδα). Στην παραπάνω ανάλυση οι σημαντικές αλληλεπιδράσεις ή κύριες επιδράσεις μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας post – hoc ανάλυση με διόρθωση bonferroni. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε για όλες τις παραπάνω μετρήσεις σε $p < 0,05$.

IV. Αποτελέσματα

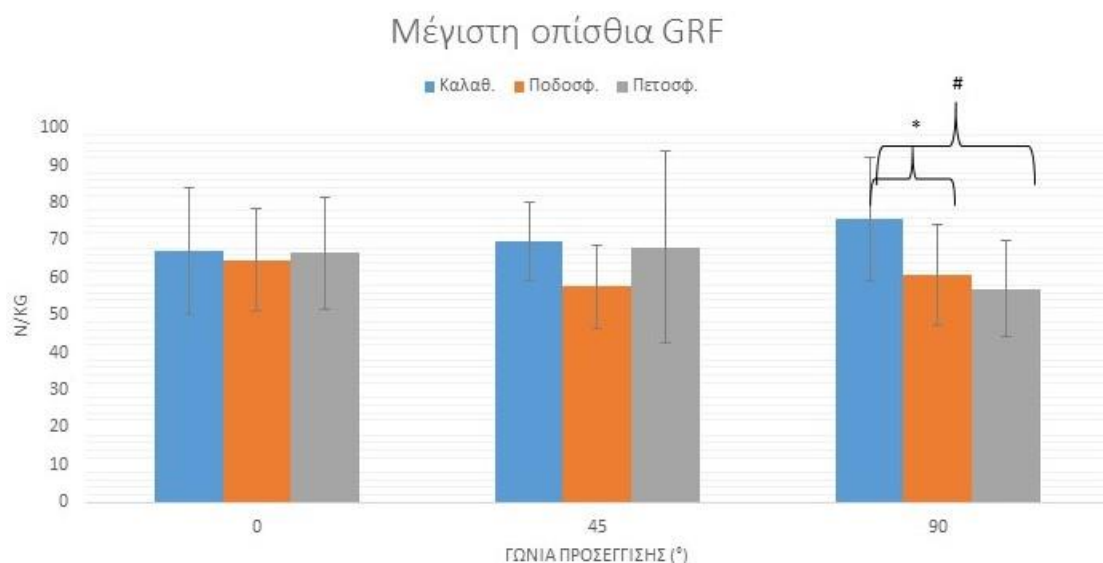
Δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους

Όσον αφορά την κατακόρυφη δύναμη του εδάφους, η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι υπάρχει αλληλεπίδραση των παραγόντων προσέγγισης από γωνία και τύπου μπάλας ($p < 0.05$). Η post-hoc ανάλυση έδειξε ότι, κατά το λάκτισμα με την μπάλα της πετοσφαίρισης, η κατακόρυφη GRF ήταν μικρότερη στις 90° συγκριτικά με τις 45° (Σχήμα 11).



Σχήμα 12. Κατακόρυφες δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ δύο γωνιών προσέγγισης.



Σχήμα 13. Οπίσθιες δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

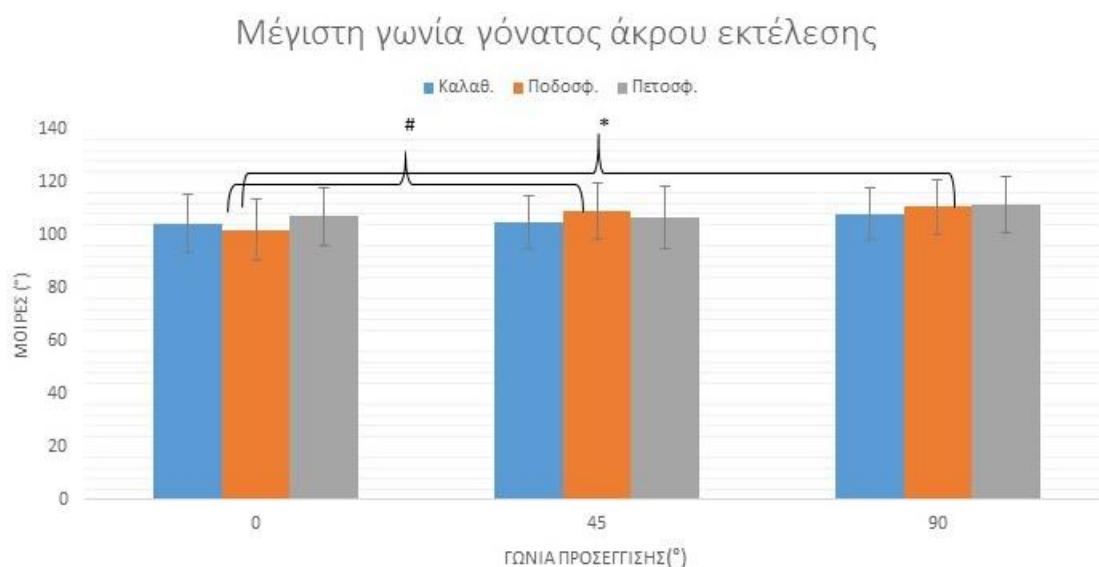
* Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ μπάλας καλαθοσφαίρισης και ποδοσφαίρισης στις 90°.

Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ μπάλας καλαθοσφαίρισης και πετοσφαίρισης στις 90°.

Σχετικά με την οπίσθια δύναμη αντίδρασης του εδάφους, παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση των παραγόντων προσέγγισης από γωνία και τύπου μπάλας ($p < 0.05$). Μετά την post – hoc ανάλυση παρατηρήθηκε μεγαλύτερη οπίσθια GRF στις 90° κατά το λάκτισμα με μπάλα καλαθοσφαίρισης σε σχέση με τις άλλες δύο μπάλες (Σχήμα 12).

Κινηματικές και κινητικές παράμετροι στην άρθρωση του γόνατος

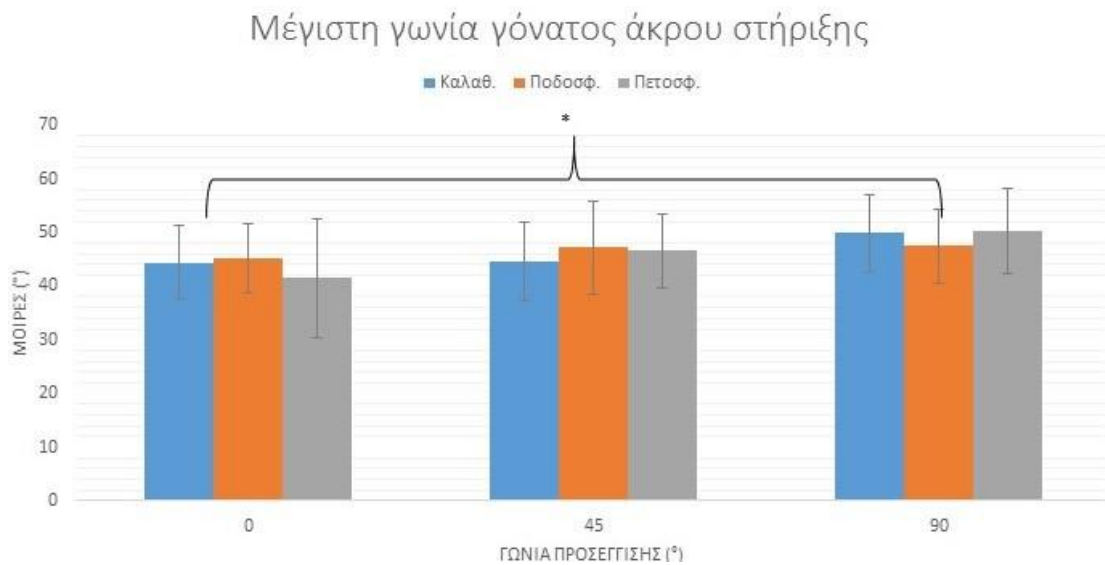
Όσον αφορά τη μέγιστη γωνία γόνατος του άκρου εκτέλεσης στο προσθοπίσθιο επίπεδο, παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση των παραγόντων προσέγγισης από γωνία και τύπου μπάλας ($p < 0.05$). Η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι η γωνία κάμψης του γόνατος του άκρου εκτέλεσης ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη στις 90° και 45° σε σχέση με τις 0° μόνο κατά το λάκτισμα της μπάλας του ποδοσφαίρου (Σχήμα 13). Σχετικά με τη μέγιστη γωνία γόνατος στο προσθοπίσθιο επίπεδο του άκρου στήριξης, παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα προσέγγισης από γωνία ($p < 0.05$). Η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι, ανεξάρτητα από το είδος της μπάλας κατά το λάκτισμα, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη κάμψη του άκρου στήριξης κατά τη προσέγγιση από γωνία των 90° σε σύγκριση με τις 0° (Σχήμα 14).



Σχήμα 14. Μέγιστη γωνία γόνατος άκρου εκτέλεσης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά λακτίσματος με μπάλα ποδοσφαίρου σε δύο διαφορετικές γωνίες.

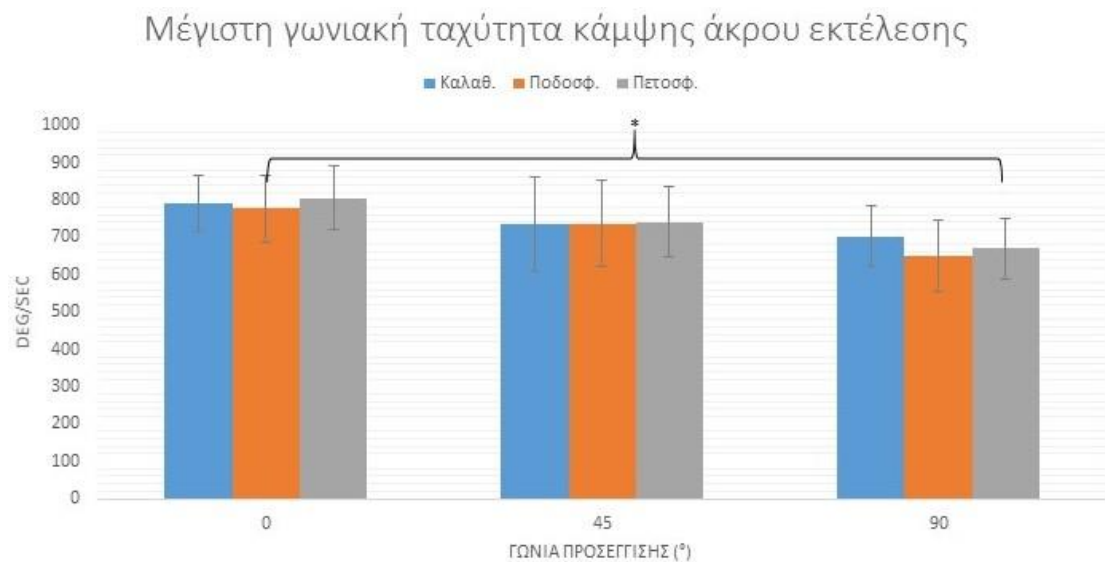
Στατιστικά σημαντική διαφορά λακτίσματος με μπάλα ποδοσφαίρου σε δύο διαφορετικές γωνίες.



Σχήμα 15. Μέγιστη γωνία γόνατος άκρου στήριξης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών.

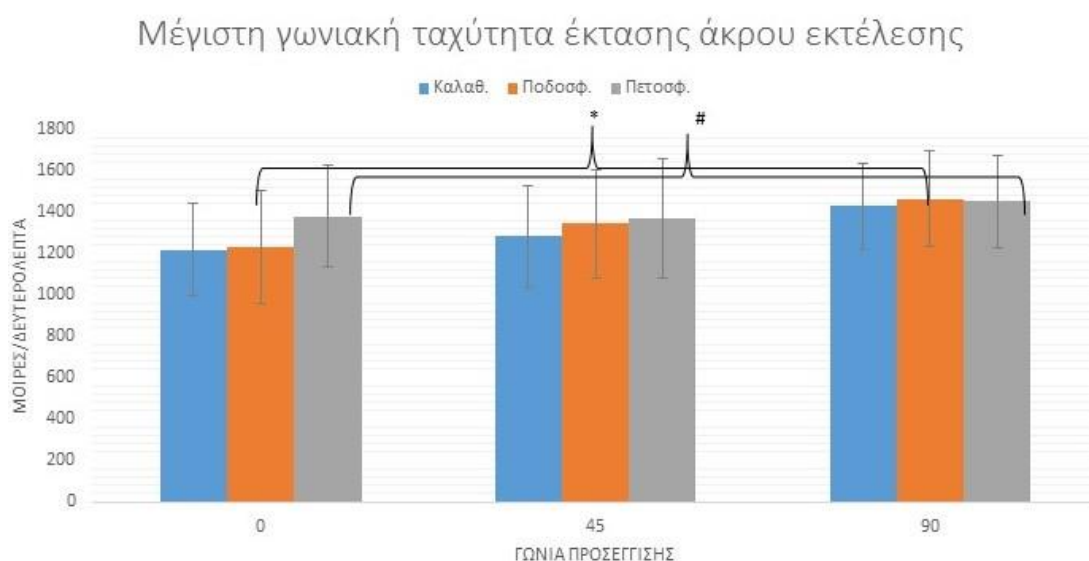
Όσον αφορά τη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κάμψης του άκρου εκτέλεσης, παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της προσέγγισης από γωνία ($p < 0.05$). Συγκεκριμένα, η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι στις 0° υπήρχε μεγαλύτερη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κάμψης του γόνατος σε σχέση με τις 90° (Σχήμα 15).



Σχήμα 16. Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κάμψης γόνατος του άκρου εκτέλεσης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών.

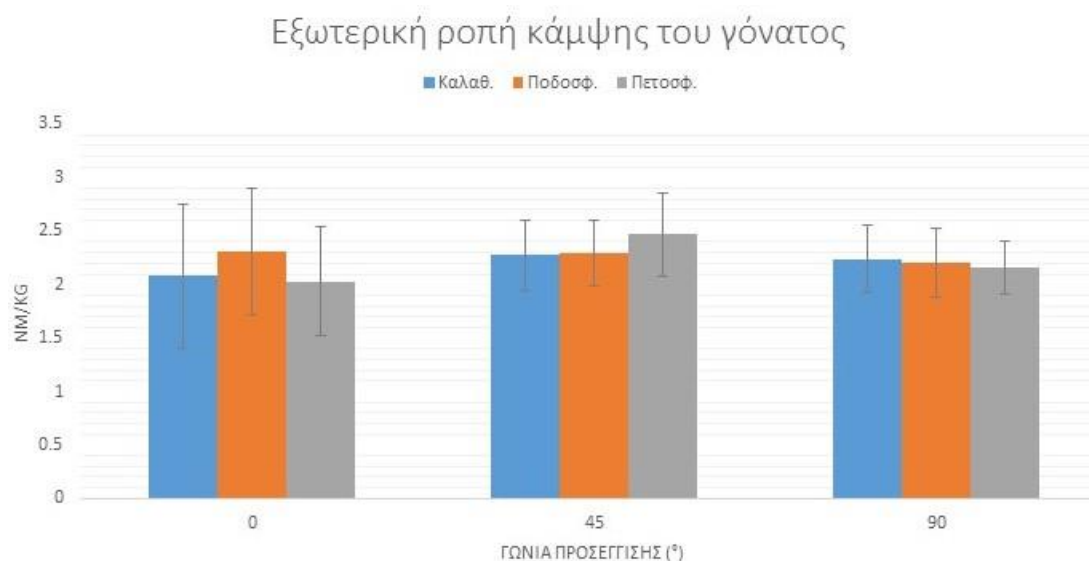
Κατά τη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα έκτασης παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της προσέγγισης από γωνία και του τύπου μπάλας ($p < 0.05$). Η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι, κατά τη διάρκεια του λακτίσματος με προσέγγιση από γωνία 90° , παρουσιάζεται μεγαλύτερη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα έκτασης σε σχέση με το λάκτισμα από τις 0° . Επίσης, βρέθηκε πως, κατά την εκτέλεση λακτίσματος με μπάλα πετοσφαίρισης, υπάρχει μεγαλύτερη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα έκτασης σε σχέση με την μπάλα της καλαθοσφαίρισης σε όλες τις προσεγγίσεις από γωνία (Σχήμα 16).



Σχήμα 17. Μέγιστη γωνιακή ταχύτητα έκτασης γόνατος του άκρου εκτέλεσης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών.

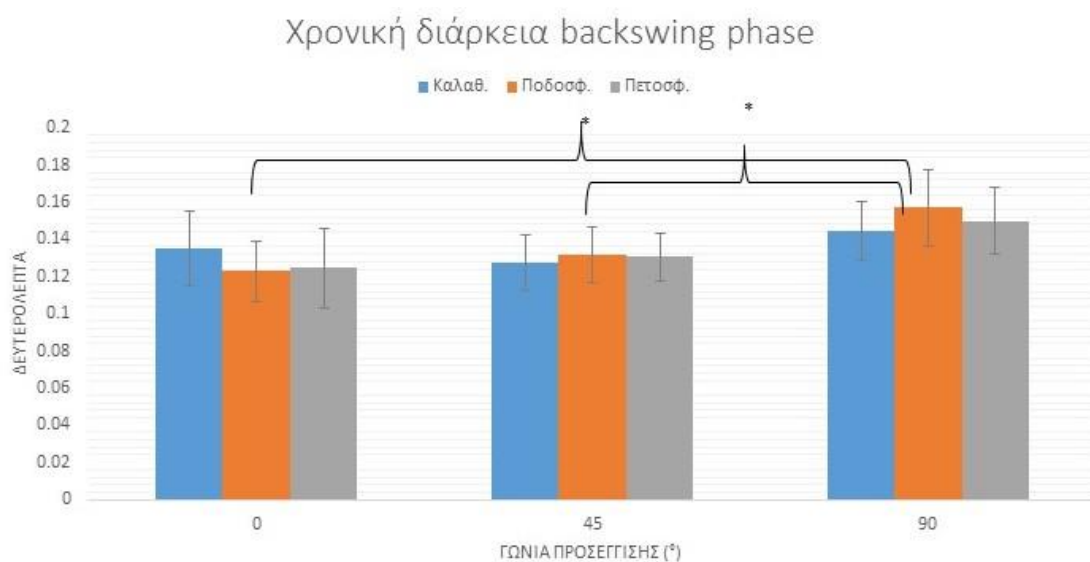
Στατιστικά σημαντική διαφορά κατά την εκτέλεση λακτίσματος με δύο διαφορετικές μπάλες.



Σχήμα 18. Εξωτερική ροπή κάμψης του γόνατος σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

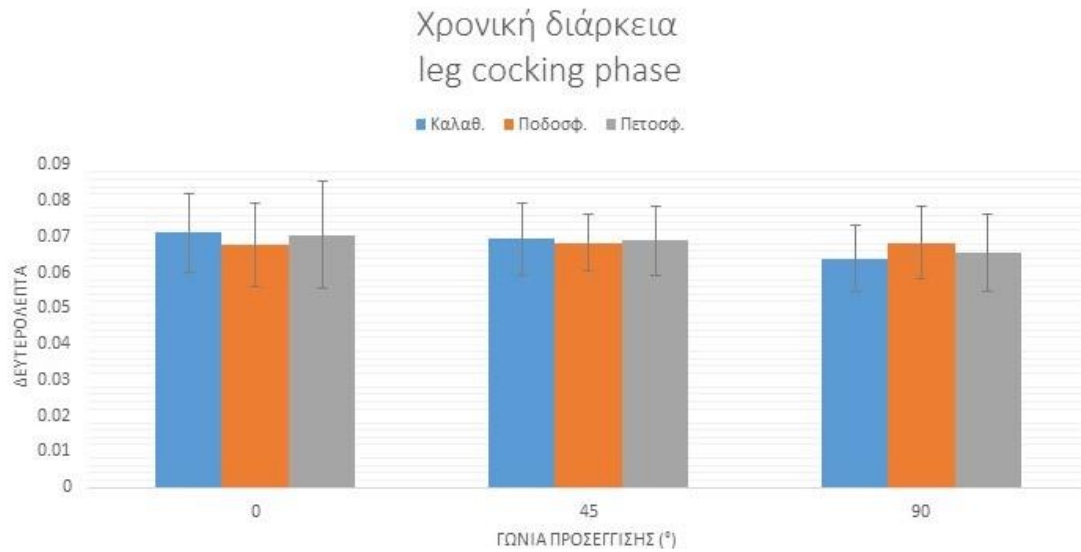
Αναφορικά με την εξωτερική ροπή κάμψης του άκρου στήριξης, δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση των παραγόντων προσέγγισης από γωνία και τύπου μπάλας ($p < 0.05$) (Σχήμα 17).

Σχετικά με τη χρονική διάρκεια του «backswing phase» του άκρου εκτέλεσης, παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της προσέγγισης από γωνία ($p < 0.05$). Η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι, κατά το λάκτισμα με προσέγγιση από γωνία 90°, η χρονική διάρκεια του «backswing phase» ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε σύγκριση με εκείνη των 0° (Σχήμα 18). Στη συνέχεια, κατά τη χρονική διάρκεια του «leg – cocking phase» του άκρου εκτέλεσης, δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση ή κύρια επίδραση των εξεταζόμενων παραγόντων (Σχήμα 19). Στα αποτελέσματα της χρονικής διάρκειας του «acceleration phase» στο άκρο εκτέλεσης, παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της προσέγγισης από γωνία ($p < 0.05$). Η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι, κατά το λάκτισμα από γωνία προσέγγισης 90°, η χρονική διάρκεια του «acceleration phase» ήταν σημαντικά μεγαλύτερη συγκριτικά με τον αντίστοιχο χρόνο της προσέγγισης από γωνία των 45° και με των 0°. Επιπρόσθετα, η χρονική διάρκεια στις 45° ήταν μεγαλύτερη από τις 0° (Σχήμα 20).

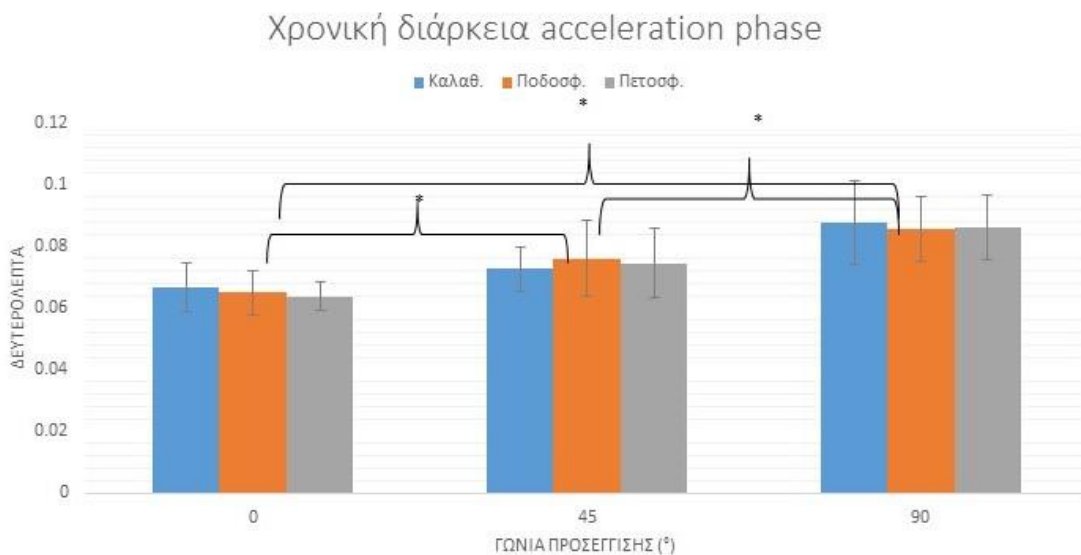


Σχήμα 19. Χρονική διάρκεια backswing phase σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών.



Σχήμα 20. Χρονική διάρκεια leg cocking phase σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

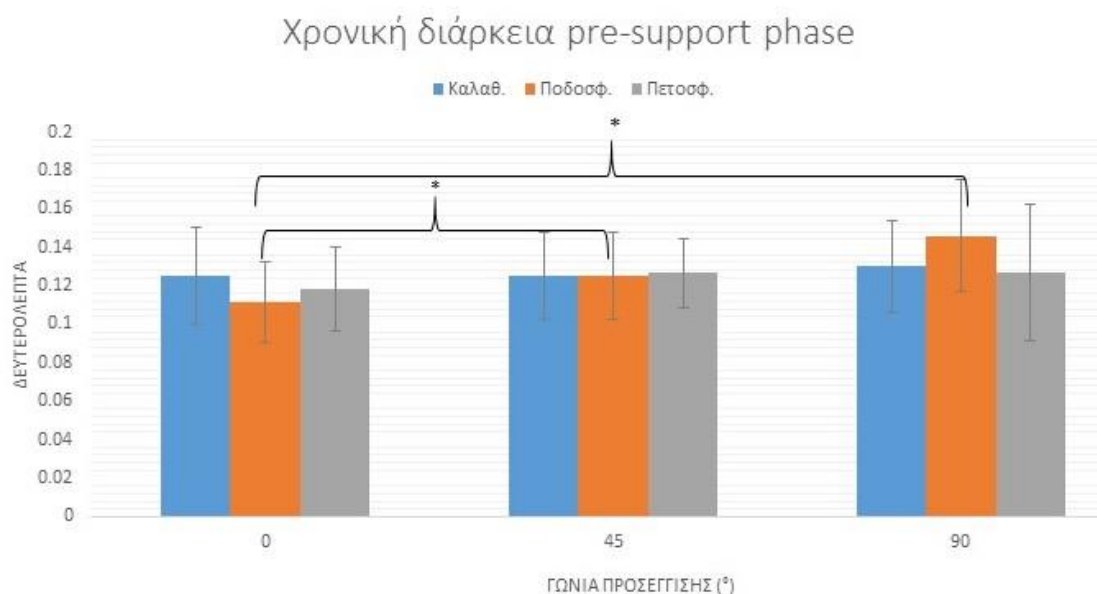


Σχήμα 21. Χρονική διάρκεια acceleration phase σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0°, 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών.

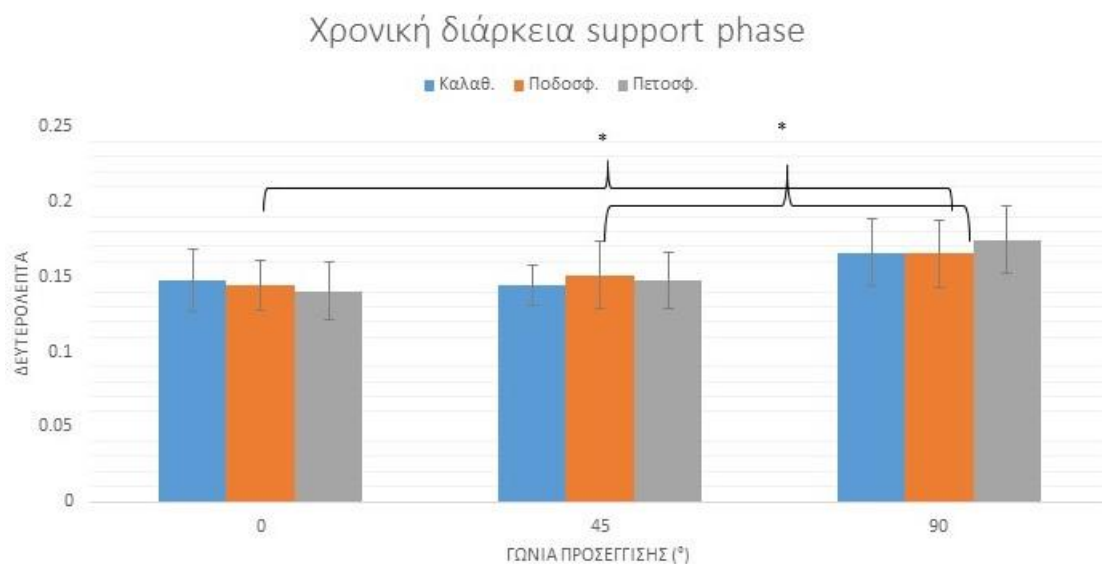
Όσον αφορά τη χρονική διάρκεια του «pre – support phase» του άκρου στήριξης, παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση των παραγόντων προσέγγισης από γωνία και τύπου μπάλας ($p < 0.05$). Συγκεκριμένα, η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι μόνο κατά το λάκτισμα με την μπάλα του ποδοσφαίρου παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντικά μικρότερη χρονική διάρκεια στις 0° και στις 45° σε σχέση με τις 90° (Σχήμα 21). Τέλος, σχετικά με τη χρονική διάρκεια του «support phase» του άκρου στήριξης,

παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα προσέγγισης από γωνία ($p < 0.05$). Η post – hoc ανάλυση έδειξε ότι, κατά το λάκτισμα σε γωνία 90° , η περίοδος στήριξης ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες γωνίες (Σχήμα 22).



Σχήμα 22. Χρονική διάρκεια προ στήριξης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών



Σχήμα 23. Χρονική διάρκεια στήριξης σε τρεις προσεγγίσεις από γωνίες (0° , 45° και 90°) και με τρεις διαφορετικές μπάλες.

* Στατιστικά σημαντική διαφορά δύο γωνιών.

V. Συζήτηση

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η διερεύνηση της εμβιομηχανικής του λακτίσματος κατά τη χρήση διαφορετικού βάρους μπάλας και την επιλογή διαφορετικής προσέγγισης εκτέλεσης. Η μελέτη των αποτελεσμάτων επιβεβαίωσε εν μέρει την ερευνητική μας υπόθεση, σύμφωνα με την οποία αναμενόταν διαφοροποιημένη εμβιομηχανική κατά την εκτέλεση λακτίσματος με την περιοχή των μεταταρσίων με προσέγγιση από γωνία 0° , 45° και 90° με τη χρήση μπάλας ποδοσφαίρου, καλαθοσφαίρισης και πετοσφαίρισης.

Τα ευρήματα της διατριβής αναφορικά με την επίδραση τη προσέγγιση από γωνία κατά το λάκτισμα με μπάλα ποδοσφαίρου συμφωνούν σε συγκεκριμένα σημεία με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Nunome, Asai et al. 2002, Kellis, Katis et al. 2004, Kellis, Katis et al. 2006, Brophy, Backus et al. 2007, Katis, Kellis et al. 2015). Ωστόσο, η συγκεκριμένη μελέτη εστιάζει το ενδιαφέρον της στην αλληλεπίδραση που έχει η προσέγγιση από γωνία και η μπάλα διαφορετικού βάρους κατά την εκτέλεση του λακτίσματος με τα μετατάρσια.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, είναι γνωστό ότι οι αθλητές του ποδοσφαίρου επιλέγουν πολύ συχνά μία εξατομικευμένη προσέγγιση από γωνία πριν την εκτέλεση του λακτίσματος. Η μελέτη των GRFs είναι από τις σημαντικότερες εμβιομηχανικές παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψιν για την πρόληψη των τραυματισμών στο άκρο στήριξης (Kellis, Katis et al. 2006, Manolopoulos, Katis et al. 2013). Στην παρούσα μελέτη η κατακόρυφη GRF δε φαίνεται να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των γωνιών προσέγγισης κατά το λάκτισμα με μπάλα ποδοσφαίρου, ένα αποτέλεσμα το οποίο συνάδει με τη βιβλιογραφία (Kellis, Katis et al. 2004). Ωστόσο, διαφορές παρουσιάστηκαν ανάλογα με τη προσέγγιση από γωνία στη μέγιστη κατακόρυφη GRF κατά την εκτέλεση λακτίσματος με μπάλα πετοσφαίρισης. Δεδομένου ότι δεν υφίστανται αντίστοιχα δεδομένα στη βιβλιογραφία, υποθέτουμε ότι οι εξεταζόμενοι προσάρμοσαν το λάκτισμα μειώνοντας την κατακόρυφη GRF στη δυσκολότερη γωνία προσέγγισης των 90° γνωρίζοντας ότι η μπάλα πετοσφαίρισης είναι ελαφρύτερη από τις άλλες δύο μπάλες. Πιθανώς το εύρημα αυτό μπορεί να αποτελεί ένα κινητικό πρότυπο αποφυγής άσκοπης επιβάρυνσης του γόνατος.

Τα αποτελέσματα της οπίσθιας GRF στις 90° έδειξαν σημαντικά αυξημένη οπίσθια GRF κατά το λάκτισμα με την μπάλα καλαθοσφαίρισης σε σχέση με τα υπόλοιπα λακτίσματα της συγκεκριμένης γωνίας. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη δεν παρουσιάστηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των λακτισμάτων με μπάλα ποδοσφαίρου, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που προϋπήρχαν στη βιβλιογραφία (Kellis, Katis et al. 2004). Η αυξημένη οπίσθια GRF αποτελεί παράγοντα πρόκλησης μυοσκελετικών τραυματισμών και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στην προπονητική πρακτική σε περίπτωση χρήσης βαρύτερης μπάλας, όπως είναι στην προκειμένη περίπτωση η μπάλα καλαθοσφαίρισης. Τα διαφοροποιημένα αποτελέσματα αναφορικά με την μπάλα ποδοσφαίρου συγκριτικά με τη μελέτη του Kellis και των συνεργατών του (2004) μπορούν να αποδοθούν σε διαφορές στην επιλογή του δείγματος και στη μεθοδολογική προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε.

Η μέγιστη γωνία κάμψης γόνατος του άκρου εκτέλεσης είναι ένα στοιχείο το οποίο δεν έχει μελετηθεί αρκετά, αποτελεί όμως ένα σημαντικό γεγονός κατά την τεχνική του λακτίσματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγαλύτερη κάμψη του γόνατος κατά το λάκτισμα με προσέγγιση από γωνία 90°. Σύγκριση των αποτελεσμάτων με την υπάρχουσα βιβλιογραφία μπορεί να γίνει μόνο για το λάκτισμα κατά τη γωνία των 0°. Κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί πως υπάρχει διακύμανση των αποτελεσμάτων μεταξύ μελετών που έχουν ερευνήσει τον συγκεκριμένο παράγοντα με ορισμένες μελέτες να αναφέρουν μεγαλύτερη και ορισμένες μικρότερη κάμψη συγκριτικά με την παρούσα διατριβή (Kellis, Katis et al. 2006, Brophy, Backus et al. 2007, Orloff, Sumida et al. 2008). Από την άλλη πλευρά, στη μέγιστη γωνία κάμψης του άκρου στήριξης παρατηρήθηκε κύρια επίδραση της προσέγγισης από γωνία με μεγαλύτερη κάμψη του γόνατος στις 90°. Αυτό είναι λογικό, καθώς οι αθλητές πρέπει να σταθεροποιήσουν το σώμα, ενώ παράλληλα το άκρο εκτέλεσης κινείται μακριά από τον κορμό. Η μεγάλη δυσκολία παρουσιάζεται στη μεταβολή του κέντρου βάρους, οπότε το άκρο στήριξης αναγκάζεται να κάνει μεγαλύτερη κάμψη για να παράγει περισσότερη δύναμη και να σταθεροποιήσει το σώμα.

Η γωνιακή ταχύτητα είναι από τις πλέον μελετημένες παραμέτρους της άρθρωσης του γόνατος κατά την εκτέλεση λακτίσματος. Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί ότι υπάρχουν δύο μορφές γωνιακής ταχύτητας κατά την εκτέλεση ενός λακτίσματος (Kellis and Katis 2007), της κάμψης και της έκτασης. Η πλέον μελετημένη πτυχή είναι η γωνιακή ταχύτητα έκτασης. Τα αποτελέσματά της έδειξαν πως, όσο μεγαλώνει η

προσέγγιση από γωνία, τόσο μεγαλώνει και η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα. Επίσης, κατά την εκτέλεση λακτίσματος με μπάλα πετοσφαίρισης, υπάρχει μεγαλύτερη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα έκτασης σε σχέση με την μπάλα της καλαθοσφαίρισης. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Kellis, Katis et al. 2004, Kellis, Katis et al. 2006, Katis, Kellis et al. 2015).

Μετά από έρευνα στη βιβλιογραφία της εμβιομηχανικής του λακτίσματος, παρατηρήθηκε ότι μόνο δύο ακόμα έρευνες έχουν μελετήσει τη γωνιακή ταχύτητα κάμψης του γόνατος. Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε πως στις 0° γωνιακής προσέγγισης υπήρχε μεγαλύτερη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κάμψης του γόνατος και, όσο μεγάλωνε η γωνία προσέγγισης, τόσο μικρότερη γινόταν η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα του λακτίσματος. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με τα δεδομένα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία (Kellis, Katis et al. 2004). Είναι, λοιπόν, λογικό να συμπεράνουμε πως, όσο μεγαλώνει η γωνία προσέγγισης, τόσο μικρότερη θα είναι η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κάμψης του γόνατος.

Η εξωτερική ροπή κάμψης δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές κατά την εκτέλεση οποιουδήποτε λακτίσματος σε όλες τις γωνίες προσέγγισης. Αξίζει να αναφερθεί πως στο λάκτισμα με προσέγγιση 0° τα ευρήματά μας έρχονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα ευρήματα άλλων ερευνών (Nunome, Asai et al. 2002, Navandar, Veiga et al. 2018). Το γεγονός ότι δεν διαφοροποιείται η ροπή του γόνατος στο προσθοπίσθιο επίπεδο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διαφορετική προσέγγιση εκτέλεσης σε συνδυασμό με το διαφορετικό βάρος μπάλας δεν κρίνονται ικανά να επιβαρύνουν σημαντικά τη συγκεκριμένη άρθρωση. Περαιτέρω μελέτη της εμβιομηχανικής του γόνατος απαιτείται και στις τρεις διαστάσεις καθώς και των επιβαρύνσεων στις υπόλοιπες αρθρώσεις των κάτω άκρων, ώστε να αποσαφηνισθεί κατά πόσο ισχύει το ίδιο και σε αυτές.

Τέλος, η χρονική διάρκεια των φάσεων της εκτέλεσης του λακτίσματος είναι η τελευταία παράμετρος που βοηθάει να κατανοήσουμε αν η εμβιομηχανική του λακτίσματος επηρεάζεται από τη προσέγγιση από γωνία και τον τύπο μπάλας. Κατά τη διάρκεια του «backswing phase» παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά χρονικής διάρκειας της συγκεκριμένης φάσης μεταξύ δύο γωνιών προσέγγισης, συγκεκριμένα των 90° και των 0°. Η μεγαλύτερη προσέγγιση από γωνία είχε και μεγαλύτερη χρονική διάρκεια. Συγκρίνοντας μόνο το λάκτισμα κατά τη γωνία προσέγγισης στις 0°, λόγω απουσίας αντίστοιχων ερευνών για άλλες προσεγγίσεις από γωνία, παρατηρείται πως

οι εξεταζόμενοι στην εν λόγω έρευνα παρουσίασαν μικρότερη χρονική διάρκεια στη συγκεκριμένη φάση σε σχέση με την υπόλοιπη βιβλιογραφία (Nunome, Asai et al. 2002, Brophy, Backus et al. 2007). Η εξήγηση σε αυτή την περίπτωση πιθανώς έρχεται να καλυφθεί από τον συνεχή εκσυγχρονισμό και την ανάπτυξη του ποδοσφαίρου. Το ποδόσφαιρο έχει γίνει πιο απαιτητικό σε φυσικές ικανότητες, με αποτέλεσμα οι αθλητές να έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα και δύναμη, συνεπώς και ισχύ. Ως εκ τούτου η χρονική διάρκεια που απαιτείται για την εκτέλεση ενός λακτίσματος μειώνεται.

Παρατηρώντας τη χρονική διάρκεια του «leg cocking phase», βλέπουμε πως δεν παρουσιάστηκε κάποια διαφορά μεταξύ των λακτισμάτων. Επίσης, η συγκεκριμένη φάση έχει παρόμοια χρονική διάρκεια κατά την εκτέλεση του λακτίσματος στις 0° με προηγούμενες μελέτες (Nunome, Asai et al. 2002). Η χρονική διάρκεια του «acceleration phase» έδειξε πως, όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία προσέγγισης του λακτίσματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η χρονική διάρκεια της φάσης. Επίσης, παρουσιάζει μικρότερη χρονική διάρκεια κατά το λάκτισμα με προσέγγιση από γωνία 0° σε σύγκριση με τις υπάρχουσες έρευνες της βιβλιογραφίας (Nunome, Asai et al. 2002, Kellis and Katis 2007). Τα αποτελέσματα αυτά εξηγούνται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο «backswing phase».

Η χρονική διάρκεια στο άκρο στήριξης του «pre – support phase», κατά το λάκτισμα με την μπάλα του ποδοσφαίρου, είναι μεγαλύτερη στις 90° μετά στις 45° και τέλος στις 0°. Στα αποτελέσματα και αυτής της επιμέρους φάσης του λακτίσματος σημειώνεται μεγάλη διαφορά της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης σε σχέση με τη βιβλιογραφία (Kellis, Katis et al. 2004). Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για την παράμετρο του «support phase», βλέπουμε πως η χρονική διαφορά σε αυτή τη φάση του λακτίσματος αυξάνεται όσο αυξάνεται και η γωνία προσέγγισης. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Kellis, Katis et al. 2004).

VI. Συμπεράσματα

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων προκύπτει πως, κατά το λάκτισμα με διαφορετική προσέγγιση από γωνία και με διαφορετικό τύπο μπάλας, οι συμμετέχοντες επηρεάζονται από τα πρωτόγνωρα για αυτούς ερεθίσματα και αναπροσαρμόζουν επιμέρους παραμέτρους της εμβιομηχανικής του λακτίσματος. Συγκεκριμένα, παρατηρώντας τα αποτελέσματα των GRFs, κατανοούμε ότι υπάρχουν μερικά πρότυπα λακτίσματος προς αποφυγή, καθώς εκθέτουν την άρθρωση του γόνατος σε άσκοπη επιβάρυνση. Τα αποτελέσματα των κινηματικών και κινητικών παραμέτρων μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση από γωνία επηρεάζει άμεσα την εμβιομηχανική του λακτίσματος, καθώς λειτουργεί ως κύρια επίδραση στα περισσότερα προαναφερθέντα ερευνητικά αποτελέσματα. Ειδικότερα, αυτό φαίνεται στη γωνιακή ταχύτητα κάμψης και έκτασης του γόνατος, καθώς και στη χρονική διάρκεια των φάσεων του άκρου στήριξης αλλά και του άκρου εκτέλεσης.

Μερικές προτάσεις που θα μπορούσαν να υπερκαλύψουν τους περιορισμούς της παρούσας διατριβής και να προεκτείνουν τα ευρήματά της είναι οι ακόλουθες:

- Χρήση τεχνικού τάπητα για τη καλύτερη προσομοίωση αγωνιστικών συνθηκών.
- Επιλογή αθλητών με παρόμοια προπονητική εμπειρία.
- Μελέτη ενός επιπλέον τύπου λακτίσματος.
- Μελέτη αθλητών ανάλογα με τις θέσεις που αγωνίζονται.
- Σύγκριση κυρίαρχου και μη κυρίαρχου άκρου.

VII. Βιβλιογραφία

Andersen, L. (2014). "Risk factors for groin injury during football kicking - A biomechanical perspective." Aspetar Sports Medicine Journal **3**: 252-256.

Augustus, S., P. Mundy and N. Smith (2017). "Support leg action can contribute to maximal instep soccer kick performance: an intervention study." Journal of Sports Sciences **35**(1): 89-98.

Brophy, R. H., S. I. Backus, B. S. Pansy, S. Lyman and R. J. Williams (2007). "Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks." Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy **37**(5): 260-268.

Cerrah, A. O., A. R. Soylu, H. Ertan and A. Lees (2018). "The effect of kick type on the relationship between kicking leg muscle activation and ball velocity." Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine **7**(1): 39-44.

Charnock, B. L., C. L. Lewis, W. E. Garrett Jr and R. M. Queen (2009). "Adductor longus mechanics during the maximal effort soccer kick." Sports Biomechanics **8**(3): 223-234.

Cigoja, S., J. Vienneau, S. R. Nigg and B. M. Nigg (2019). "The effects of midsole bending stiffness on ball speed during maximum effort soccer kicks." Footwear Science **11**(3): 153-160.

Clagg, S. E., A. Warnock and J. S. Thomas (2009). "Kinetic analyses of maximal effort soccer kicks in female collegiate athletes." Sports Biomechanics **8**(2): 141-153.

Cordeiro, N., N. Cortes, O. Fernandes, A. Diniz and P. Pezarat-Correia (2015). "Dynamic knee stability and ballistic knee movement after ACL reconstruction: an application on instep soccer kick." Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy **23**(4): 1100-1106.

Davis Iii, R. B., S. Öunpuu, D. Tyburski and J. R. Gage (1991). "A gait analysis data collection and reduction technique." Human Movement Science **10**(5): 575-587.

Dörge, H. C., T. B. Andersen, H. Sørensen and E. B. Simonsen (2002). "Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg." Journal of Sports Sciences **20**(4): 293-299.

Katis, A., E. Giannadakis, T. Kannas, I. Amiridis, E. Kellis and A. Lees (2013). "Mechanisms that influence accuracy of the soccer kick." Journal of Electromyography and Kinesiology **23**(1): 125-131.

Katis, A., E. Kellis and A. Lees (2015). "Age and gender differences in kinematics of powerful instep kicks in soccer." Sports Biomechanics **14**(3): 287-299.

Kawamoto, R., O. Miyagi, J. Ohashi and S. Fukashiro (2007). "Kinetic comparison of a side-foot soccer kick between experienced and inexperienced players." Sports Biomechanics **6**(2): 187-198.

Kellis, E. and A. Katis (2007). "Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick." Journal of Sports Science and Medicine **6**(2): 154-165.

Kellis, E., A. Katis and I. Gissis (2004). "Knee biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach." Medicine and Science in Sports and Exercise **36**(6): 1017-1028.

Kellis, E., A. Katis and I. S. Vrabas (2006). "Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance." Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports **16**(5): 334-344.

Lees, A., T. Asai, T. B. Andersen, H. Nunome and T. Sterzing (2010). "The biomechanics of kicking in soccer: A review." Journal of Sports Sciences **28**(8): 805-817.

Manolopoulos, E., A. Katis, K. Manolopoulos, V. Kalapotharakos and E. Kellis (2013). "Effects of a 10-week resistance exercise program on soccer kick biomechanics and muscle strength." Journal of Strength and Conditioning Research **27**(12): 3391-3401.

Navandar, A., S. Veiga, G. Torres, D. Chorro and E. Navarro (2018). "A previous hamstring injury affects kicking mechanics in soccer players." Journal of Sports Medicine and Physical Fitness **58**(12): 1815-1822.

Nunome, H., T. Asai, Y. Ikegami and S. Sakurai (2002). "Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks." Medicine and Science in Sports and Exercise **34**(12): 2028-2036.

Orloff, H., B. Sumida, J. Chow, L. Habibi, A. Fujino and B. Kramer (2008). "Ground reaction forces and kinematics of plant leg position during instep kicking in male and female collegiate soccer players." Sports Biomechanics **7**(2): 238-247.

Rada, A., G. Kuvačić, A. De Giorgio, M. Sellami, L. P. Ardigò, N. L. Bragazzi and J. Padulo (2019). "The ball kicking speed: A new, efficient performance indicator in youth soccer." PLoS ONE **14**(5).

Rosa de Olivera, W., A. N. Onodera and M. La Torre (2019). "Influence of cleat design on knee joint moments during cutting maneuver and instep kick in soccer." Muscles, Ligaments and Tendons Journal **9**(3): 386-394.

Scurr, J. and B. Hall (2009). "The effects of approach angle on penalty kicking accuracy and kick kinematics with recreational soccer players." Journal of Sports Science and Medicine **8**(2): 230-234.

Severin, A. C., D. B. Mellifont and M. G. L. Sayers (2017). "Influence of previous groin pain on hip and pelvic instep kick kinematics." Science and Medicine in Football **1**(1): 80-85.

Shan, G., X. Zhang, B. Wan, D. Yu, B. Wilde and P. Visentin (2019). "Biomechanics of coaching maximal instep soccer kick for practitioners." Interdisciplinary Science Reviews **44**(1): 12-20.

Sinclair, J. and S. J. Hobbs (2016). "Bilateral differences in knee and ankle loading of the support limb during maximal instep soccer kicking." Science and Sports **31**(4): e73-e78.

Thomas, C., T. Dos'santos, M. Cuthbert, C. Fields and P. A. Jones (2020). "The effect of limb preference on braking strategy and knee joint mechanics during pivoting in female soccer players." Science and Medicine in Football **4**(1): 30-36.

Vieira, L. H. P., S. A. Cunha, R. Moraes, F. A. Barbieri, R. Aquino, L. D. P. Oliveira, M. Navarro, B. L. S. Bedo and P. R. P. Santiago (2018). "Kicking Performance in Young U9 to U20 Soccer Players: Assessment of Velocity and Accuracy Simultaneously." Research Quarterly for Exercise and Sport **89**(2): 210-220.

Watanabe, K., H. Nunome, K. Inoue, T. Iga and H. Akima (2020). "Electromyographic analysis of hip adductor muscles in soccer instep and side-foot kicking." Sports Biomechanics **19**(3): 295-306.