



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ
ΑΙΩΡΗΣΗΣ ΣΤΑ 400 ΜΕΤΡΑ.**

**ANALYSIS OF GROUND CONTACT TIME AND SWING TIME
AT 400 METERS.**

Κωνσταντάρης Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλειος Α. Βουτσελάς

2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το άτομο που ήταν δίπλα μου και ανταπεξήρθε στην συγκεκριμένη έρευνα και συνέβαλε με θετικότητα ώστε να τελέσω αυτό που ξεκίνησα. Δεν θα είχε πραγματοποιηθεί η μελέτη μου αν δεν υπήρχε και αναγνωρίζω την πολύτιμη βοήθεια του.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς αλληλεπιδράσεων με διάφορα άτομα. Το κάθε ένα από αυτά έπαιξε σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη της.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Βασίλειο Βουτσελά, ο οποίος είναι καθηγητής στο ΤΕΦΑΑ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθεια, μεράκι, άμεση ανταπόκριση σε όλη την διάρκεια της έρευνας. Ταυτόχρονα θέλω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Αντώνη Παπαγεωργίου όπου ήταν συνοδοιπόρος σε όλοι αυτή την εξέλιξη της διατριβής μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα, σε κάθε μου προσπάθεια. Όλα αυτά τα άτομα του στενού μου κύκλου που με ενθαρρύνουν να συνεχίζω, να εξελίσσομαι, να προσπαθώ, να μαθαίνω, να απελπίζομαι, να αποτυγχάνω αλλά ποτέ να μην το βάζω κάτω και να είναι εκεί να με σηκώνουν πάλι και πάλι σας ευχαριστώ πολύ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να εξετάσει τις διαφορές στην απόδοση του αθλητή στο δρόμο ταχύτητας των 400^{ων} μέτρων, στα τμήματα ανά 50 μέτρα και να εντοπιστούν οι φάσεις «επιτάχυνσης, μέγιστης ταχύτητας και διατήρησης της, ο χρόνος επαφής με το έδαφος και ο χρόνος αιώρησης, η έκκεντρη και ομόκεντρη συστολή των σκελετικών μυών. Ο δοκιμαζόμενος που έλαβε μέρος είναι υγιείς αθλητής ηλικίας 20 ετών, ο οποίος ασχολούνται ενεργά με τους δρόμους 400^{ων} μέτρων, με σωματικό λίπος 7,023%, σωματικό ύψος αναστήματος 1,82 και σωματική μάζα 74kg. Στην έρευνα είχε να τελέσει στον ερευνητικό σχεδιασμό 2 φάσεις. Η πρώτη φάση είχε να κάνει με τις σωματομετρικές μετρήσεις ενώ η δεύτερη φάση είχε να τελέσει 400 μέτρα σπριντ ρουτίνα αγώνα. Στα αποτελέσματα μετρήθηκε η απόδοση της αντοχής στην ταχύτητα και η διατήρηση της. Συγκεκριμένα αναλύθηκε ο δρόμος ταχύτητας 400^{ων} μέτρων ανά 50 μέτρα. Συμπερασματικά θα λέγαμε έως τα πρώτα 150 μέτρα ο αθλητής έχει φτάσει την μέγιστη του ταχύτητα. Έπειτα υπήρχε μια σταδιακή πτώση της ταχύτητας αυτής συν νάμα και της απόδοσης του παράλληλα υπήρχε μια σταδιακή πτώση του χρόνου επαφής στο έδαφος όπως άλλωστε και μείωση του χρόνου επίδοσης. Η πτώση του αθλητή που προήρθε από την έντονη κόπωση της ταχύτητας μετά την κορύφωση της ήταν σταδιακή και αργή λαμβάνοντας το συμπέρασμα ότι ο αθλητής μπορεί να αντιστέκετε στην κόπωση και να προσπαθεί να διατηρήσει αυξημένα τα επίπεδα του χρόνου επαφής και του χρόνου πτήσης.

ABSTRACT

The purpose of this research was to examine the differences in the athlete's performance on the 400-meter sprint road, in the 50-meter sections and to identify the phases of "acceleration, maximum speed and its maintenance, the contact time with the ground and the swing time, the eccentric and concentric contraction of skeletal muscles. The participating subject is a healthy 20-year-old athlete who actively engages in 400-meter road running, with a body fat of 7.023%, a body height of 1.82 and a body mass of 74kg. In the research, there were 2 phases in the research design. The first phase had to do with body measurements while the second phase had to do a 400 meter sprint race routine. The results measured the speed endurance performance and its retention. Specifically, the speed road of 400 meters per 50 meters was analyzed. In conclusion, we would say up to the first 150 meters the athlete has reached his maximum speed. Then there was a gradual drop in that speed plus name and its performance while there was a gradual drop in ground contact time as well as a reduction in performance time. The athlete's decline resulting from intense speed fatigue after peak speed was gradual and slow, suggesting that the athlete may be resisting fatigue and attempting to maintain elevated levels of contact time and flight time.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη

Abstract

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στάδιο πρώτο: Ερευνητικός Σχεδιασμός

Στάδιο δεύτερο: Μετρήσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον κλασικό αθλητισμό οι κυριότεροι παράγοντες οι οποίοι αποτελούν τον δείκτη φυσικής κατάστασης ενός ατόμου είναι η αντοχή, η δύναμη, η κινητικότητα, οι συντονιστικές ικανότητες και η ταχύτητα. Στα δρομικά αγωνίσματα, υπάρχουν αθλήματα που είναι ιδιαίτερα ταχυδυναμικά. Ένα από αυτά είναι, οι δρόμοι των 400 μέτρων. Αυτό το αγώνισμα αποτελεί τον μεγαλύτερης διάρκειας αγώνα δρόμου ταχύτητας («σπριντ»). Ένας δρομέας πρέπει να μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλή ταχύτητα χρησιμοποιώντας μια οικονομική τεχνική και να μπορεί να διατηρήσει σωστά την τεχνική του. Μερικά χαρακτηριστικά που παίζουν σημαντικό ρόλο καθώς μπορούν να μετρηθούν και με τους αισθητήρες inertial measurement units είναι ο χρόνο επαφής στο έδαφος, ο χρόνο αιώρησης και η συχνότητα του διασκελισμού. Όλα τα παραπάνω είναι χρήσιμα για τους προπονητές και τους αθλητές στην προπόνηση και τον αγώνα (Blauberger, Horsch & Lames, 2021).

Σημαντικός παράγοντας στο τρέξιμο είναι ο μήκος διασκελισμού όπου είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών στηρίξεων και εξαρτάτε από το μέγεθος των σκελών και τη δύναμη των μυών, ενώ η συχνότητα διασκελισμού είναι ο αριθμός των διασκελισμών στη μονάδα του χρόνου και εξαρτάτε από την λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος και κατά ένα μεγάλο μέρος προκαθορίζεται γενετικά (Mero, Komi, & Gregor, 1992; Κέλλης et al., 2009). Η ταχύτητα είναι το γινόμενο του μήκους επί τη συχνότητα του διασκελισμού ($V = \text{μήκος} \times \text{συχνότητα}$). Η σχέση του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού καθορίζει την πορεία της ταχύτητας. Για να αυξηθεί η δρομική ταχύτητα πρέπει να γίνουν μεγαλύτεροι διασκελισμοί ή να αυξηθεί η συχνότητα των διασκελισμών, χωρίς να μειωθεί το μήκος τους. Η ευνοϊκότερη σχέση μεταξύ μήκους και συχνότητας διασκελισμού καθορίζει τη μέγιστη ταχύτητα. Στους δρομείς ταχύτητας χαμηλότερου επιπέδου η αύξηση της μέγιστης ταχύτητας συντελείται συνήθως με την αύξηση του μήκους διασκελισμού, ενώ στους δρομείς υψηλού επιπέδου με την αύξηση της συχνότητας των διασκελισμών. Από την άλλη πλευρά η ταχύτητα επηρεάζεται και από εξωγενείς παράγοντες όπως είναι τα υποδήματα και οι κλιματικές συνθήκες (Hunter, McLeod, Valentine, Low, Ward & Hager, 2019)

Όσο αφορά τον διασκελισμό στο τρέξιμο επηρεάζετε από το ύψος του αθλητή, όσο πιο ψηλός είναι ο αθλητής τόσο μεγαλύτερο διασκελισμό έχει, φυσικά συμβάλλει και η δύναμη των εκτινόντων μυών του κάτω άκρους και η ευλυγισία. Ο δρομικός διασκελισμός αποτελείται από δύο φάσεις την φάση στήριξης και αιώρησης (Σμυρνιώτου, 1989). Η φάση στήριξης υφίσταται όταν ο αθλητής βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος π.χ. από την επαφή μέχρι την απογείωση από το έδαφος. Αυτή η φάση μπορεί να διαχωριστεί περαιτέρω σε αρνητική φάση (δημιουργείται αρνητική οριζόντια φάση δύναμης) και σε θετική (θετική οριζόντια δράση δύναμης) (Mero, Komi, & Gregor, 1992). Όταν το πόδι απομακρύνεται από το έδαφος ξεκινάει η φάση της αιώρησης διαμέσου της οποίας προωθείται για τον επόμενο διασκελισμό. Η φάση αιώρησης χωρίζεται στην αρχική, ενδιάμεση και τελική αιώρηση ενώ η φάση στήριξης

χωρίζεται στην αρχική και τελική στήριξη (Johnson, & Buckley, 2001). Κατά την διάρκεια ενός διασκελισμού ο αθλητής θα βρεθεί σε φάση αιώρησης και των δύο ποδιών, την επονομαζόμενη φάση πτήσης. Σε αυτή ο αθλητής δεν έχει επαφή με το έδαφος. Η αρχική φάση στήριξης ξεκινάει από τη στιγμή που το πόδι θα αποκτήσει επαφή με το έδαφος μέχρι τη στιγμή περίπου που το Κέντρο Βάρους του Σώματος θα βρίσκεται πάνω από το σημείο της στήριξης του ποδιού.

Αξίζει να σημειωθεί οι δρομείς των τετρακοσίων μέτρων έχουν διαφορετικές μυϊκές ίνες από τους δρομείς μεγάλων αποστάσεων. Το μεγαλύτερο μέρος στους σκελετικούς μυς αποτελείται από ταχείες οξειδωτικές ίνες (τύπος IIa) υψηλή ταχύτητα συστολής της μυϊκής ίνας και μεγάλη οξειδωτική ικανότητα. Καθώς έχουν ένα ποιο μικρό ποσοστό ταχείες γλυκολιτικές ίνες (τύπος IIβ) υψηλή ταχύτητα συστολής της μυϊκής ίνας αλλά μικρή οξειδωτική ικανότητα, περιλαμβάνουν ακόμα ένα ποιο μικρό ποσοστό μυϊκών ινών βραδείας οξειδωτικές ίνες (τύπος I) χαμηλής ταχύτητας συστολής της μυϊκής ίνας αλλά μεγάλη οξειδωτική ικανότητα. Είναι ένα αγώνισμα όπου έχει υψηλή παραγωγή γαλακτικού οξέος (Wróblewski, Edström, & Mair, 1982).

Τα τελευταία χρόνια, η απόκτηση παραμέτρων απόδοσης με αισθητήρες inertial measurement units για εφαρμογή στην αθλητική επιστήμη αποτελεί ένα αναπτυσσόμενο θέμα, που μπορεί να μας βοηθήσει στην ανάλυση των 400 μέτρων. Ωστόσο σε ένα στάδιο για στίβο κανονικών μέτρων η χρήση των (IMU) επιταχυνσιομέτρων είναι τόσο σημαντική όπου η παραμικρή κίνηση μπορεί να καταγραφεί. Η χρήση τους είναι για σημαντικές μετρήσεις όπου μπορούν να συλλεχθούν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με (χρόνο επαφής στο έδαφος, χρόνο αιώρησης και συχνότητα του διασκελισμού) για αξιόπιστη ανίχνευση παραμέτρων αγώνα δρόμου ταχύτητας και για σωστή καταγραφή χρόνου. Ακόμα χρησιμοποιούνται συνήθως φωτοκύτταρα για την καλύτερη χρονομέτρηση τα συστήματα αυτά είναι δύσκολα να τοποθετηθούν στον χώρο τον οποίων θα κάνουμε την μέτρηση ειδικά αν είναι εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, ο Blauburger και οι συνεργάτες του (2021) μας πληροφορούν ότι μπορούν να αξιολογηθούν καλύτερα μόνο οι ευθείες διαδρομές ενός αθλητή μέσα στο στάδιο καθώς αν είναι τοποθετημένα τα φωτοκύτταρα στις στροφές μπορεί να κάνουν μερική απόκλιση.

Την τελευταία δεκαετία η ενσωμάτωση των (IMU) στο χώρο του σταδίου έχει θετική επίδραση ανάλυσης της κινηματικής στα δρομικά αγωνίσματα του κλασικού αθλητισμού όπως του σπριντ, του βαδίσματος, του τρεξίματος. Σημαντικός παράγοντας στην ανάλυση των δεδομένων παίζει η τοποθέτηση του αισθητήρα διαφορετικά αποτελέσματα θα μας δώσει αν είναι στην κνήμη, στον τετρακέφαλο μυ ή στο ενδιάμεσο από το μέσο σφηνοειδές οστό και το εξωτερικό σφηνοειδές οστό στο άκρο πόδι. Αναλόγως τι ψάχνουμε και τι θέλουμε να βρούμε (Blauburger et al., 2021).

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Σκοπός αυτού του άρθρου μας εξηγούν οι (Macadam, Cronin, Neville, & Dieward, 2019) είναι η αξιολόγηση της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων απόδοσης σπριντ που υπολογίζονται με χρήση επιταχυνσόμετρων-αισθητήρων inertial measurement units. Οι φορητοί αισθητήρες (IMU) επιτρέπουν την εμβιομηχανική αξιολόγηση του σπριντ με απλό και χρονικά αποδοτικό τρόπο εκτός εργαστηριακού περιβάλλοντος. Το ερώτημα που γεννήθηκε είναι, οι φορητοί αισθητήρες (IMU) δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα σε μία μέτρηση σπριντ σε σύγκριση με άλλες μελέτες όπως του (Schmidt et al., 2016) ή του (Norris, Anderson, & Kenny, 2014), είναι έγκυροι με σαφή αποτελέσματα. Δεκαπέντε μελέτες πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης και προχώρησαν για ανάλυση. συντελεστές συσχέτισης Pearson (r) παρατηρήθηκαν για το χρόνο επαφής ($ICC \geq 0,80$, $r \geq 0,99$), τη γωνιακή μετατόπιση κορμού ($r \geq 0,99$), την κατακόρυφη και οριζόντια δύναμη ($ICC \geq 0$), μέτρα δύναμης, ταχύτητας και ισχύος ($r \geq 0,81$). Ο χαμηλός συντελεστής διακύμανσης (CV) βρέθηκε στη μέγιστη ταχύτητα ($\leq 1\%$), τη μέση ταχύτητα ($\leq 3\%$) και τον χρόνο επαφής ($\leq 3\%$). Η μέση και η μέγιστη ταχύτητα και οι δυνάμεις που προκύπτουν, βρέθηκαν να έχουν ένα ευρύ φάσμα r (0,32-0,92) και CV (0,78-20,2%). Το χαμηλότερο r (-0,24 έως 0,49) και το υψηλότερο CV (15-22,4%) σημειώθηκαν για τη μέση επιτάχυνση, την κατακόρυφη δύναμη, τις στιγμιαίες δυνάμεις, τις δυνάμεις του εδάφους και τον ρυθμό μείωσης των δυνάμεων. Η μελλοντική έρευνα για την τοποθέτηση του αισθητήρα, τη μέθοδο προσάρτησης και τη συχνότητα δειγματοληψίας είναι μεταξύ πολλών παραγόντων που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Αλλά μια μελέτη με αισθητήρες (IMU) μας δίνει πολλά και καλά δεδομένα τόσο για την χρήση του αθλητή όσο και για την βοήθεια του προπονητή.

Οι αισθητήρες μέτρησης inertial measurement units μας εξηγούν οι Washabaugh, Kalyanaraman, Adamczyk, Claflin, & Krishnan, (2017) ότι είναι μικροί φορητοί αισθητήρες που έχουν τεράστιες δυνατότητες ώστε τα δεδομένα τους μπορούν να φανούν χρήσιμα και στην «ανάλυση βάδισης στους κλινικούς πληθυσμούς». Ο λόγος που συστήνεται από τον Washabaugh ανεπιφύλαχτα είναι γιατί μας εξηγεί δεν χρειάζεται να γίνει μεταφορά του ατόμου σε ένα διαφορετικό περιβάλλον που να μην έχει καμία εξοικειώσει εκεί, αλλά να βρίσκετε στο δικό του περιβάλλον το οικιακό. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των (IMU) στην βάδιση μεταξύ των ημερών και των μετρήσεων, όπως (ταχύτητα βάδισης, διάρκεια στάσης σώματος καθιστή η όρθια, χρόνος κύκλου βάδισης, μήκος βηματισμού, ρυθμού και διάρκειας του βήματος). Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε σε 39 υγιή άτομα, «25 άνδρες, 14 γυναίκες, ηλικία $23,8 \pm 6,2$ ετών» οι αισθητήρες (IMU) τοποθετήθηκαν σε κάθε εθελοντή ένας στο οσφυϊκό κομμάτι της σπονδυλικής στήλης και δύο στα πόδια στον έξω σφυρό, τα άτομα δοκιμάστηκαν σε δύο ημέρες ενώ περπατούσαν σε διάδρομο δεν είχε σημασία ο χώρος αρκεί να ήταν εφικτό να

πραγματοποιηθεί η έρευνα. Μετά από μια σύντομη προθέρμανση, τα άτομα περπάτησαν στον διάδρομο με 0,45, 0,67, 0,89, 1,12, 1,34, 1,56 και 1,79 m/s για ένα λεπτό σε κάθε ταχύτητα. Στα άτομα δόθηκε περίπου 30 δευτερόλεπτα για να ισορροπήσουν σε κάθε ταχύτητα. Η σειρά των ταχυτήτων ήταν τυχαιοποιημένη, για την πρώτη συνεδρία δοκιμής (αρχίζει στα 0,89 και τελειώνει στα 0,45 m/s). Παρατηρήθηκε ότι το δεξί πόδι κινούνταν με 1,5m/s ενώ το αριστερό πόδι κινούνταν με 0,05, 0,75, 1,0 Κι 1,25 m/s. Συμπερασματικά, το σύστημα IMU σε αυτή τη μελέτη φαίνεται να είναι ακριβές.

Ο στόχος της παρούσας μελέτης μας αναλύει ο Hanon, και ο Gajer (2009) ήταν να αξιολογήσουν τη χρονική πορεία τόσο των παραμέτρων ταχύτητας όσο και του διασκελισμού «μήκος και συχνότητα» κάθε 50 μέτρα κατά τη διάρκεια των αγώνων των 400 μέτρων που εκτελούνται σε αγώνα για να συγκριθούν 3 διαφορετικά επίπεδα απόδοσης για να προσδιοριστούν οι παράγοντες εξειδίκευσης, που διακρίνουν τους δρομείς παγκόσμιας κλάσης από τους λιγότερο έμπειρους ομολόγους τους. Αναλύθηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα απόδοσης: παγκόσμιας κλάσης, εθνικό και περιφερειακό επίπεδο και για τα δύο φύλα. Κάθε μία από τις 6 ομάδες είχε 5 άτομα. Ο μέσος χρόνος εκτέλεσης για κάθε ομάδα ήταν σημαντικά διαφορετικός από κάθε άλλη ομάδα. Η κατάσταση προπόνησης των ατόμων ήταν 5-7 συνεδρίες την εβδομάδα για εθνικό πρότυπο και 3-5 φορές την εβδομάδα για περιφερειακό επίπεδο. Στα αποτελέσματα οι μέγιστες τιμές του μήκους διασκελισμού για δρομείς στον κόσμο των γυναικών (WWC), στην εθνική (WN) και σε περιφερειακούς (WR) δρομείς ήταν $2,29 \pm 0,04$, $2,21 \pm 0,07$ και $2,16 \pm 0,05$ m. Για δρομείς του κόσμου των ανδρών (MWC), των εθνικών (MN) και των περιφερικών (MR) δρομέων ήταν $\pm 2,0,08$, $2,40 \pm 0,06$ και $2,35 \pm 0,08$ m. Οι τιμές μήκους διασκελισμού των δρομέων παγκόσμιας κλάσης ήταν σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές των άλλων δρομέων, εκτός από το τελευταίο τμήμα, αυτή η κορύφωση διαπιστώθηκε μετά τα 100-150m στον αγώνα 400m. Η μέγιστη συχνότητα βημάτων ήταν $3,99 \pm 0,13$, $3,89 \pm 0,14$ και $3,86 \pm 0,16$ Hz για τους δρομείς γυναικών (WWC), WN και WR. Η τελική μείωση του ρυθμού βήματος ήταν ιδιαίτερα σημαντική από 250 σε 400 m στην ομάδα WWC και σε αντίθεση με τα WN και WR. Στις ομάδες των ανδρών, οι μέγιστες τιμές για MWC, MN, MR, ήταν $4,12 \pm 0,19$, $4,10 \pm 0,16$ και $4,00 \pm 0,16$ Hz, αντίστοιχα. Οι διαφορές μεταξύ των τιμών συχνότητας δεν ήταν ποτέ σημαντικά διαφορετικές μεταξύ των ομάδων. Η μείωση στα τελευταία 100 μ. ήταν παρόμοια για τα 3 επίπεδα των ανδρών δρομέων. Αυτή η μελέτη μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι αθλητές προσαρμόζουν ανάλογα τον ρυθμό τους, ώστε να φτάνουν τις κρίσιμα χαμηλές τιμές του pH κοντά στο τέλος του αγώνα και την υπόθεση της χαμηλότερης κρίσιμης τιμής pH σε δρομείς παγκόσμιας κλάσης σε σύγκριση με λιγότερο έμπειροι μπορούν να προχωρήσουν.

Μία κινηματική ανάλυση των τριών καλύτερων επιδόσεων πραγματοποιήθηκε από τους Mackala και ο Mero (2013) για τα 100 μέτρα. Ο σκοπός αυτής της έρευνας ήταν να συγκρίνουν και να προσδιορίσουν τη συνάφεια των μορφολογικών χαρακτηριστικών και της μεταβλητότητας των παραμέτρων ταχύτητας τρεξίματος

μεταξύ των τριών καλύτερων επιδόσεων στα 100m του Usain Bolt. Με βάση αυτό, έγινε προσπάθεια να καθοριστεί ποιοι παράγοντες καθορίζουν την απόδοση στο σπριντ του Usain Bolt και τον ξεχώρισαν από τους άλλους σπρίντερ. Ανάλυσαν το προηγούμενο παγκόσμιο ρεκόρ των 9,69 δευτερολέπτων που σημειώθηκε στους Ολυμπιακούς Αγώνες του Πεκίνου το 2008, το τρέχον ρεκόρ των 9,58 δευτερολέπτων που σημειώθηκε στο Παγκόσμιο Πρωτάθλημα Στίβου του 2009 στο Βερολίνο και το Ολυμπιακό ρεκόρ 9,63 δευτερολέπτων που σημειώθηκε στους Ολυμπιακούς Αγώνες του Λονδίνου το 2012 από τον Usain BOLT. Η Εφαρμογή του προγράμματος VirtualDub επέτρεψε την απόκτηση βασικών κινηματικών μεταβλητών όπως παραμέτρους μήκους διασκελισμού και συχνότητας διασκελισμού 100m σπριντ από καταγραφή βίντεο που πραγματοποιήθηκε κατά την εκκίνηση του αγώνα. Αυτά τα δεδομένα συγκρίθηκαν με δεδομένα που δημοσιεύθηκαν από το Γραφείο Επιστημονικών Ερευνών Προγραμμάτων που είναι αρμόδιο για λογαριασμό της IAAF. Η κύρια υπόθεση ήταν το μήκος του διασκελισμού είναι κύριος παράγοντας που καθορίζει την ταχύτητα τρεξίματος στα πρώτα 10 και 20 μέτρων ολόκληρης της απόστασης των 100m. Το ανθρωπομετρικό πλεονέκτημα του Bolt είναι το σωματικός ύψος, το μήκος ποδιού και το καλό δυναμωμένο σώμα του παίζει αρκετή σημασία καθώς των κάνουν ταχύτερο από τους υπόλοιπους αθλητές. Ωστόσο, ο μακρύτερος διασκελισμός του Bolt κατά 20cm δείχνει όφελος στο τελευταίο μέρος του αγώνα. Επίσης ασκεί περισσότερα newton στο έδαφος με το πάτημα του, άρα μπορεί να μεγιστοποιήσει το χρόνο του στο έδαφος και να ασκήσει την ίδια δύναμη. Αυτή η ικανότητα, σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο διασκελισμό του επιτρέπει να δημιουργεί πολύ υψηλή ταχύτητα τρεξίματος πάνω από 12m/s (12,05 – 12,34m/s) ανά 10 μέτρα στις τρεις επιδόσεις του στα 100m. Στα περισσότερα τμήματα των 10m του σπριντ των 100m, το μήκος του διασκελισμού ήταν η παράμετρος που καθόρισε σημαντικά την αύξηση της μέγιστης ταχύτητας τρεξίματος, επομένως, διακρίνοντας τον Bolt από τους άλλους αθλητές.

Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να αξιολογήσει την απόδοση διαφορετικών κινηματικών χαρακτηριστικών όπου διεξάχθηκε μέτρηση με αισθητήρες inertial measurement units που φοριούνται στο πόδι για την ανίχνευση «χρόνου πτήσης, χρόνου επαφής» με το έδαφος τρεξίματος ή βαδίσματος, προκειμένου να εκτιμηθεί η διάρκεια των φάσεων του βήματος όπως (χρόνος επαφής, χρόνος πτήσης, χρόνος αιώρησης, χρόνος βήματος). Οι συμμετέχοντες ήταν 41 άτομα (13 γυναίκες και 28 άνδρες) υγιείς ενήλικες έτρεξαν πολλαπλές δοκιμές σε κυλιόμενο διάδρομο γυμναστικής με τα δικά τους καθημερινά παπούτσια γυμναστικής, ενώ φορούσαν αισθητήρες (IMU) στη ράχη και κνήμη κάθε ποδιού. Πριν την μέτρηση υπήρχε προθέρμανση πάνω στον κυλιόμενο διάδρομο γυμναστικής 6 λεπτά, η έρευνα ξεκινούσε τα άτομα από 8 km/h και αυξάνοντας κατά 2 km/h μέχρι τη μέγιστη τους ταχύτητά, εκεί σταματούσανε. Οι συμμετέχοντες ήταν ελεύθεροι να αποφασίσουν για τη διάρκεια ανάπαυσης μεταξύ των δοκιμών. Διαφορετικοί αλγόριθμοι για την ανίχνευση για τον χρόνο επαφής του ποδιού στο έδαφος κατά την έκκεντρη συστολή του μυός με την κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης του εδάφους στο πάτημα του

ποδιού. Η ελάχιστη γωνιακή ταχύτητα του βήματος εντός του πρώτου και του δεύτερου μισού ενός κύκλου μεσαίας αιώρησης αναγνωρίστηκε ως τα πιο ακριβή χαρακτηριστικά για την ανίχνευση χρόνου πτήσης και χρόνου επαφής του ποδιού με ενδιάμεση μέση $\pm$ IQR ακρίβεια 2 ± 1 ms και 4 ± 2 ms αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας αυτά τα χαρακτηριστικά αρχικής και τερματικής επαφής, αυτή η μελέτη έδειξε ότι ο χρόνος επαφής με το έδαφος, ο χρόνος πτήσης, και ο χρόνος αιώρησης μπορούν να εκτιμηθούν μεταξύ των δοκιμών μικρότερη από 12 ± 10 ms και ακρίβεια μικρότερη από 4 ± 3 ms. Τέλος, αυτή η μελέτη έδειξε ότι η ταχύτητα τρεξίματος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων, υποδηλώνοντας ότι θα πρέπει να εφαρμοστεί μια διόρθωση που εξαρτάται από την ταχύτητα για να βελτιωθεί η ακρίβεια του συστήματος. Αυτή η μελέτη έδειξε ότι ο χρόνος επαφής με το έδαφος, ο χρόνος πτήσης, και ο χρόνος αιώρησης μπορούν να εκτιμηθούν με διάμεσο μεταξύ των δοκιμών μικρότερη από 12 ± 10 ms και ακρίβεια μικρότερη από 4 ± 3 ms (Falbriard, Meyer, Mariani, Millet, & Aminian, 2018).

Ο στόχος μιας έρευνας (Napier et al., 2021), ήταν να αξιολογήσει την εγκυρότητα δύο συσκευών inertial measurement units των (RunScribe και Plantiga) για να διαπιστώσουν την ποιο έγκυρη μέτρηση κατά την διάρκεια του τρεξίματος ανάμεσα των δύο επιταχυνσόμετρων. Έχουν τοποθετηθεί στην ραχιαία επιφάνια του άκρου ποδιού, δηλαδή πάνω στην επιφάνια των κορδονιών του παπουτσιού και άλλοι δυο ακόμα ένας στο σημείο της κνήμη του ποδιού και ο άλλος στην περόνη του ποδιού στο ίδιο ύψος με την κνήμη. Οι δευτερεύοντες στόχοι ήταν να προσδιοριστεί η επίδραση των υποδημάτων με πάτο, της ταχύτητας τρεξίματος και αν επηρεάζουν τον τρόπο τρεξίματος. Επομένως πραγματοποιήθηκαν δύο μέγιστες μετρήσεις μία με πάτο στα υποδήματα κι άλλη μια χωρίς πάτο στα υποδήματα. Χρησιμοποιήθηκαν 8 φωτοκύτταρα στο άκρο πόδι για την καλύτερη ανάλυση στο βίντεο 3D. Οι συμμετέχοντες ήταν γυναίκες από ηλικία 35 ετών έως 39 ετών. Τα αποτελέσματα που ακολούθησαν είχαν υψηλή θετική συσχέτιση με τα ουδέτερα και μαξιμαλιστικά χαρακτηριστικά ($r = 0,70-0,72$, $p \leq 0,001$), αλλά βρέθηκε χαμηλή θετική συσχέτιση στην κατάσταση με τα υποδήματα που είχαν πάτο ($r = 0,47$, $p < 0,05$). Ταξινομήθηκαν ως χαμηλές ($0,30-0,49$), μέτριες ($0,50-0,69$), υψηλές ($0,70-0,89$) και πολύ υψηλές ($0,90-1,0$). Οι μέτριες έως πολύ υψηλές συσχετίσεις θεωρήθηκαν στατιστικά σημαντικές. Η μέτρηση έγινε σε παρκέ τα παπούτσια που φορούσαν μερικοί εθελοντές ήταν ποιο ελαφριά και σε άλλους ποιο βαριά μερικοί δηλαδή είχαν πλεονέκτημα να κινηθούν ποιο γρήγορα από κάποιους άλλους μέσα στον χώρο. Επίσης μερικά άτομα από το δείγμα είχαν πλατυποδία κάποιοι άλλοι βλαιοποδία και μερικοί ραιβοποδία οι υπόλοιποι ήταν ουδέτερο το πάτημα τους. Ο κάθε εθελοντής έκανε 4 μετρήσεις μία φορά διάνυσε 100 μέτρα την απόσταση με χαλαρό τζόκιν και μετά με τρέξιμο. Έπειτα φόρεσαν τους ειδικούς πάτους και ξανά έκαναν τις μετρήσεις η ταχύτητα τους είχε βελτιωθεί καθώς και η σταθερότητα του ποδιού τους ανεξαιρέτως το υποδήματα που φορούσε ο κάθε εθελοντής υπήρχε βελτίωση σε όλα τα άτομα.

Στην έρευνα του ο Bergamini, Picerno, Pillet, Natta, Thoreux, & Camomilla, (2012) ήταν να προσδιορίσει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων από τους αισθητήρες inertial measurement units στο σπριντ ώστε να ληφθούν με ακρίβεια δεδομένα χρόνου αιώρησης του κέντρου μάζας σώματος μέσα από τους διασκελισμούς όπως και εκτίμηση για την στάση σώματος, κατά την φάση συντήρησης της μέγιστης ταχύτητας των 60 μέτρων. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εσωτερικό χώρο του σταδίου, τα μέλη που πήραν μέρος στην συγκεκριμένη έρευνα αποτελούνται από 11 άτομα τα οποία ήταν, 5 ερασιτέχνες αθλητές σπριντ και 6 ελίτ αθλητές σπριντ. Ο αισθητήρας (IMU) τοποθετήθηκαν στο πάνω μέρος των οσφυϊκών σπονδύλων συγκεκριμένα στο (σπόνδυλο L1) σε κάθε αθλητή. Επίσης πέρα από τους αισθητήρες (IMU) χρησιμοποιήθηκαν, βιντεοκάμερες υψηλής ταχύτητας και πρόγραμμα καταγραφής των δεδομένων, αντίστοιχα αυτό έγινε και για της δυο ομάδες. Δεν βρέθηκαν συνεπή χαρακτηριστικά στην φάση χρόνου αιώρησης του σώματος ή στις πρώτες και δεύτερες ομάδες. Οι διασκελισμοί βρέθηκαν από χαρακτηριστικά που επιδεικνύονται από τη δεύτερη παράγωγο του μεγέθους της γωνιακής ταχύτητας και από καταγραφή βίντεο. Βρέθηκε μια μέση απόλυτη διαφορά 0,005 δευτερολέπτων μεταξύ των εκτιμήσεων (IMU), τόσο για τη διάρκεια της αιώρησης του σώματος όσο και για τη διάρκεια του διασκελισμού και για τους ερασιτέχνες και για τους επίλεκτους αθλητές. Τα όρια συμφωνίας 95% αυτής της διαφοράς ήταν μικρότερα από 0,025. Τα αποτελέσματα απέδειξαν ότι ένα μονό (IMU) τοποθετημένο στον κορμό είναι κατάλληλο για την εκτίμηση της διάρκειας της στάσης και του διασκελισμού κατά το τρέξιμο, παρέχοντας την ευκαιρία συλλογής πληροφοριών στο μέγιστο σπριντ, χωρίς να περιορίζει τις δραστηριότητες των αθλητών και των προπονητών, αρκεί να υπάρχει μία εξοικείωση με την μέτρηση και το όργανο.

Μια άλλη έρευνα από τους Suzuki, Hahn, & Enomoto (2022) έχει πραγματοποιηθεί για την εκτίμηση της τροχιάς του ποδιού και του μήκους του διασκελισμού κατά τη διάρκεια του τρεξίματος με συσκευές inertial measurement units που τοποθετήθηκαν στο άκρο πόδι πάνω στο παπούτσι και συγκεκριμένα στα κορδόνια του παπουτσιού μεταξύ τρίτου και τέταρτου μετατάρσιου. Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η ανάπτυξη μιας βελτιωμένης μεθόδου εκτίμησης της τροχιάς του ποδιού και του μήκους του διασκελισμού για την οριζόντια λειτουργία του εδάφους με βάση τη μετατόπιση του ποδιού. Εβδομήντα εννέα δρομείς πραγματοποίησαν δοκιμές τρεξίματος σε 5 διαφορετικούς ρυθμούς και οι κινήσεις τρεξίματός τους καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας ένα σύστημα καταγραφής κίνησης. Τα άτομα πραγματοποίησαν αγώνες τρεξίματος σε πέντε διαφορετικούς ρυθμούς σε έναν ευθύ διάδρομο 20 μέτρων. Οι επιταχύνσεις και οι γωνιακές ταχύτητες του αριστερού και του δεξιού ποδιού μετρήθηκαν με δύο (IMU) τοποθετημένα στη ράχη κάθε ποδιού. Σε αυτή τη μελέτη χρειάστηκαν 389 δοκιμές για τα ακριβή δεδομένα, στατιστικά παρατηρήθηκε ότι οι συνολικοί διασκελισμοί ήταν 1.414, το αριστερό πόδι έκανε 699 διασκελισμούς ενώ το δεξί πόδι 715 διασκελισμούς. Η μέση ταχύτητα τρεξίματος ήταν $3,42 \pm 0,72$ m/s, κυμαινόμενη από 1,86 έως 5,89 m/s. Το μέσο μήκος

διασκελισμού ήταν $2,08 \pm 0,38$ m. Διερευνήθηκαν ακόμα και οι επιπτώσεις του εύρους ταχύτητας στην εκτίμηση του μήκους διασκελισμού, για να γίνει αυτό χωρίστηκε το δῆγμα σε 3 ομάδες αναλόγως τον διασκελισμό. Στην παρούσα μελέτη η εκτίμηση του μήκους του διασκελισμού ήταν περιορισμένη στην παρούσα μελέτη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποδεικνύουν ότι η ακριβής εκτίμηση πατήματος του ποδιού με χρήση αισθητήρων (IMU) μπορεί να είναι σημαντική για τους ασκούμενους με αξιόπιστες πληροφορίες.

Στην έρευνα του ο Millot, Blache, Dinu, Arnould, Jusseaume, Hanon, & Slawinski, (2023) μας εξηγεί ότι η απόδοση του σπριντ μπορεί να χαρακτηριστεί μέσω της ταχύτητας μετακίνησης του κέντρο μάζας σώματος, σημαντικός παράγοντας στην προπόνηση ταχύτητας παίζει ο χρόνος είτε είναι σε κλειστό η ανοιχτό στίβο καθώς από αυτόν επιτελείτε μια καλή επίδοση. Σε αυτή την έρευνα πήραν μέρος 19 έμπειροι αθλητές (ελίτ) σπρίντερ «15 άνδρες και 4 γυναίκες, ηλικίας $23,9 \pm 3,7$ ετών», οι μέσες προσωπικές επιδόσεις των 6 ανδρών εξειδικευμένοι στα 200 μέτρα, των 9 ανδρών εξειδικευμένοι στα 400 μέτρα, των 2 γυναικών εξειδικευμένων στα 200 μέτρα και των 2 γυναικών εξειδικευμένων στα 400 μέτρα ήταν αντίστοιχα: 22,89, 49,56, 26,30 και 57,67 δευτερόλεπτα. Οι δρομείς φόρεσαν τον εξοπλισμό inertial measurement units στα πόδια τους και συγκεκριμένα στην κνήμη του ποδιού, όλοι οι δρομείς με τυχαία σειρά εκτελούσαν ένα μέγιστο σπριντ απόστασης 41,58 μέτρα. Οι συντελεστές συσχέτισης Pearson κυμαίνονταν μεταξύ 0,943 και 0,990 για $V =$ μήκος, $x =$ συχνότητα 0,423 και 0,938. Αφετέρου η ταχύτητα των επιταχυνσόμετρων (IMU) κυμάνθηκε μεταξύ 2,33 % και 4,69 %, μεταξύ 1,44 % και 19,95 % μεταφοράς του κέντρου μάζας σώματος. Οι αισθητήρες (IMU) τελικά έχουν έγκυρα αποτελέσματα σχετικά με τον χρόνο, ακόμα αποδεικνύει ότι μπορούν να δώσουν ακριβοί πληροφορίες για την μέγιστη ταχύτητα, το μήκος και την συχνότητα διασκελισμού.

Σε μία τελευταία έρευνα ο de Ruiter, & van Dieën, (2019) αναφέρει κατά την επιτάχυνση σε αγωνίσματα ταχύτητας «sprint» το μήκος του διασκελισμού, ο ρυθμός βημάτων, ο χρόνος επαφής του ποδιού με το έδαφος είναι βασικές μεταβλητές για τους προπονητές που καθοδηγούν τη διαδικασία προπόνησης και την τεχνική ανάπτυξη των αθλητών τους (χρόνο επαφής στο έδαφος, χρόνο αιώρησης και το μήκος διασκελισμού). Σε έναν διάδρομο των 100 μέτρων σε εσωτερικό χώρο με ταρτάν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C, αφού οι δρομείς είχαν φορέσει τον εξοπλισμό τους όπου περιλάμβανε δύο επιταχυνσιόμετρα inertial measurement units στα πόδια, ένα επιταχυνσιόμετρο στο αριστερό πόδι κι ένα στο δεξί πόδι τοποθετημένα στην ράχη του παπουτσιού (στην γλώσσα του παπουτσιού). Κατά την εκτέλεση του σπριντ των 60 μέτρων σε 100 μέτρα συνολικά όλης της πίστας αποδεικνύει ότι το άτομο σε αυτή την φάση είχε την μεγαλύτερη ταχύτητα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 16 αθλητές στίβου (3 γυναίκες και 13 άνδρες, $20,0 \pm 3,1$ ετών) οι περισσότεροι αθλητές ήταν προπονημένη για αγώνες σπριντ, ακόμα το ζέσταμα τους περιλάμβανε ένα ζέσταμα όπως θα ετοιμαζόντουσαν να τρέξουν έναν επίσημο αγώνα υπήρχαν αρκετά μικρά ανοίγματα πριν την μέτρηση. Οι αθλητές

ξεκινούσαν από τριποδική στήριξη στο πάτωμα. Έτρεξαν συνολικά έξι σπριντ 60 μέτρων με αντίστοιχες προσπάθειες 60%, 80%, 100%, 60%, 80% και 100%, υπήρχε επίσης καταγραφή βίντεο (30 Hz) από το πλάι με δέκα κάμερες για καλύτερη ανάλυση των αποτελεσμάτων. Το χρονικό όριο στην διάθεση τους ήταν υποκειμενικό να ξεκινήσουν την επόμενη προσπάθεια όταν αισθάνονται αυτοί έτυμοι οι περισσότεροι ξεκίνησαν για την επόμενη εκτέλεση (μέσο όρο στα 5 λεπτά). Η στατιστική ανάλυση έγινε με χρήση SPSS (έκδοση 23, IBM, Chicago, IL, USA). Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέση $\pm$ τυπική απόκλιση. Ανακαλύφθηκε ότι στα πρώτα 20 βήματα όπου καλύπτονταν τα πρώτα 35 μέτρα υπήρχε στην αρχή ομόκεντρη συστολή έως τα 3-4 πρώτα βήματα και έπειτα υπήρχε έκκεντρη συστολή αλλά συνέχισε να υπερισχύει οι ομόκεντρη συστολή. Η σύγκριση των εκτιμώμενων μηκών βημάτων με τις μετρήσεις αναφοράς δεν έδειξε σημαντική διαφορά ($p > 0,05$), οι εκτιμήσεις μήκους βημάτων βελτιώθηκαν στα δεύτερα σπριντ (RMSE = 5,7 cm, $-0,16 \pm 11$ cm). Συμπερασματικά θα λέγαμε τα 3 πρώτα σπριντ στο (60%, 80%, 100%) ήταν ποιο αργά από τα δεύτερα (60%, 80%, 100%) σπριντ.

Σε μία άλλη μελέτη οι (Bergamini et al., 2013), μιλάει για την σωστή εκκίνηση στο σπριντ έχει καθοριστική σημασία για την απόδοση κατά τη διάρκεια ενός αγώνα σπριντ. Από την τετραποδική στήριξη που δεν παράγετε μυϊκό μηχανικό έργο στην μετάβαση για μυϊκό μηχανικό έργο και στην τοποθέτηση του σώματος σε όρθια θέση, η μετακίνηση του κορμού κατά το τρέξιμο αποτελεί βασικό στοιχείο. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να επικυρώσει τη χρήση των επιταχυνσόμετρων inertial measurement units που είναι τοποθετημένα στον κορμό για την εκτίμηση της κλίσης και της γωνιακής ταχύτητας του κορμού στο οβελιαίο επίπεδο κατά την εκκίνηση του σπριντ. Οι εργαστηριακές εκκινήσεις σπριντ πραγματοποιήθηκαν από πέντε σπρίντερ με τα επιταχυνσιόμετρα να βρίσκονται στους τρεις τελευταίους οσφυϊκούς σπονδύλους. Οι συνιστώσες της τοπικής επιτάχυνσης και της γωνιακής ταχύτητας που παρέχονται από το (IMU) επεξεργάστηκαν με τη χρήση ενός προγράμματος. Η ακρίβεια της εκτίμησης της κλίσης της (IMU) και η συνέπειά της με την κλίση του κορμού αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας βιντεοσκοπημένο υλικό καθώς και φωτογραφισμένο υλικό τραβηγμένο με τηλεφωνική συσκευή που έχει κάμερα. Η ανάλυση Bland-Altman, που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση παραμέτρων (ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές) που διεξήχθησαν από το χρονικό διάστημα των εκτιμώμενων μεταβλητών, και η ανάλυση ομοιότητας καμπυλών (συντελεστής συσχέτισης $> 0,99$, μέση τετραγωνική διαφορά < 7 μοίρες, οι παράμετροι γωνιακής μετατόπισης είναι χαμηλότερη από 1 μοίρες και 4 μοίρες, αντίστοιχα οι τιμές των IMU βρέθηκαν χαμηλότερες από 9 και 6). Συμπερασματικά θα λέγαμε όσο το δυνατόν χαμηλότερα βρίσκετε το κέντρο βάρους σώματος κατά την εκκίνηση του σπριντ πριν σηκωθεί το κεφάλι προς τα πάνω τόσα περισσότερα μέτρα γλιτώνουμε.

Αυτή η μελέτη προσπάθησε να εντοπίσει τον συντονισμό μεταξύ των άκρων κατά το σπριντ και να αξιολογήσει τις αλλαγές βήμα προς βήμα και τη διακύμανση μεταξύ των ατόμων στον συντονισμό κατά την αρχική επιτάχυνση σπριντ. Στους

δρομείς παίζει σημαντικό ρόλο όπως μας αναφέρει ο Donaldson, Bezodis, & Bayne, (2022) η δρομική οικονομία, συγκεκριμένα όταν μιλάμε για ενεργειακή οικονομία το μυαλό μας πάει στην καύση του ενεργειακού αποθέματος κατά το τρέξιμο αλλά στην παρούσα φάση δεν είναι αυτό διότι η παρούσα έρευνα δεν αφορά τον μαραθώνιο. Αντίθετα αφορά την ταχύτητα επομένως παίζει σημαντικό ρόλο η σωστή τεχνική τρεξιματος χωρίς να σημαίνει ότι δεν παίζει σημαντικό παράγοντα στον μαραθώνιο. Οι δρομείς που πήραν μέρος στην παρούσα έρευνα ήταν 21 αναγνωρισμένοι σε παγκόσμιο επίπεδο 11 άνδρες με χρόνο 9,89-11,15 δευτερόλεπτα στα 100 μέτρα και 10 γυναίκες με χρόνο 11,46-12,14 δευτερόλεπτα στα 100 μέτρα. Δοκιμάστηκαν σε ένα μέγιστο σπριντ 20 μέτρων με τον εξοπλισμό inertial measurement units φορώντας τον 2 αισθητήρες (IMU) στα πόδια και συγκεκριμένα στην κνήμη και έναν ακόμα αισθητήρα (IMU) στην οσφυϊκή μοίρα. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από τα επιταχυνσιόμετρα ήταν βάση στατιστικών αναλύσεων χρόνο επαφής στο έδαφος με το αριστερό ή το δεξί πόδι όπου δεν προέκυψαν μεγάλες αποκλίσεις. Τα δεδομένα έδειξαν ότι ο συντονισμός μεταξύ των ποδιών το κυρίαρχο πόδι στον ανθρώπινο οργανισμό είναι ελάχιστα ποιο δυνατό και με καλύτερη ευλυγισία.

Σε μια άλλη έρευνα οι (Martin-Fuentes & Tillaar., 2022) ανέλυσαν την ταχύτητα του ποδιού που μεταβάλλεται ως προς ένα σημείο, παίζει σημαντικό ρόλο της ραχιαίας και πελματιαίας κάμψης του άκρου ποδιού στο σπριντ, η ανάλυση για να πραγματοποιηθεί χρησιμοποίησαν επιταχυνσιόμετρα inertial measurement units. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η σχέση του διασκελισμού των ποδιών μεταφέροντας το κέντρο βάρους σώματος βήμα προς βήμα των ποδιών και αν επηρεάζει την απόδοση στο σπριντ 50m. Η ανάλυση έγινε σε 22 έμπειρους αθλητές και αθλήτριες, 12 γυναίκες και 10 άνδρες, ο κάθε αθλητής δοκιμάστηκε σε 3 σπριντ των 50m. Η κινηματική του ποδιού μετρήθηκε με τη χρήση συσκευών (IMU) που ενσωματώθηκαν πάνω σε 3 άξονες (οβελιαίο επίπεδο, μετωπιαίο επίπεδο και εγκάρσιο επίπεδο). Τα κύρια ευρήματα ήταν ότι οι άνδρες εκτελούσαν ταχύτερα σπριντ από τις γυναίκες ($6,11 \pm 0,35$ s vs. $6,77 \pm 0,24$ s), αλλά η μέγιστη γωνία κάμψης του άκρου ποδιού στην ποδοκνημική ήταν η ίδια μεταξύ των δύο φύλων. Οι μέγιστες ταχύτητες των ποδιών ήταν αυξημένες μέχρι το 6-7ο βηματισμό, έπειτα υπήρχε μία σταθεροποίηση έως τα 50m. Ωστόσο και στα δύο φύλα ο χρόνος από την φάση στήριξης του ποδιού έως την φάση ώθησης δεν άλλαξε μεταξύ των βημάτων, ενώ ο χρόνος από τη μέγιστη ταχύτητα της φάσης στήριξης μειώθηκε μέχρι το 6ο βήμα. Οι ταχύτητες πελματιαίες κάμψης δηλαδή η φάση ώθησης, ειδικά στην απομάκρυνση των πελμάτων από το έδαφος παρουσίασαν τις μεγαλύτερες συσχέτιση με τον χρόνο σπριντ, ενώ η μέγιστη ταχύτητα ραχιαίας κάμψης δηλαδή η φάση της στήριξης δεν παρουσίασε καμία συσχέτιση με τον χρόνο σπριντ. Ο χρόνος από την ταχύτητα της ραχιαίας κάμψης έως την απομάκρυνση των ποδιών από το 7ο βήμα και μετά καθορίζει την απόδοση στα σπριντ. Όσο λιγότερο χρόνο επαφής με το έδαφος υπάρχει στην πελματιαία κάμψη ο αθλητής θα πάει τόσο καλύτερα.

Οι Johnson, και ο Buckley (2001) έδειξαν ότι οι μέγιστες επιταχύνσεις της κνήμης και η συσχέτιση των αρθρώσεων των κάτω άκρων κατά τη διάρκεια του τρεξίματος παρουσιάζουν καθοριστικό ρόλο στην δύναμη για την επιτάχυνση. Σε αυτή την έρευνα, έξι άντρες σπρίντερ 100 μέτρων με μέσο χρόνο 10,75 πραγματοποίησαν επαναλαμβανόμενα μέγιστα σπριντ κατά μήκος στο εσωτερικό μέρος του σταδίου 35 μέτρων. Έγινε χρήση inertial measurement units για να ληφθούν δεδομένα χρόνου επαφής του ποδιού όπως κι ο χρόνος αιώρησης του ποδιού μέσα από τον διασκελισμό. Η τοποθέτηση των (IMU) ήταν στην κνήμη του ποδιού δεμένη με λαστιχένιο επίδεσμο και για καλύτερο δέσιμο υπήρχε χρήση ταινίας. Κατά την εκτέλεση των 100 μέτρων σπριντ ανά 20 μέτρα υπήρχαν κάμερες για καταγραφή εικόνων του διασκελισμού για καλύτερη ανάλυση του διασκελισμού, τα βίντεο που καταγράφηκαν ήταν χειροκίνητα στην συνέχεια ενώθηκαν μετά από επεξεργασία για να ταιριάξει η ανάλυση των (IMU) και των βίντεο. Τα αποτελέσματα έδειξαν μέσα από το βιντεοσκοπημένο υλικό λαμβάνοντας υπόψιν και τα επιταχυνσιόμετρα (IMU) μετρήθηκε σε κάθε ασκούμενο πόση είναι η ροπή του εδάφους ($3242 \pm 1086 \text{ W}$) όπου βρέθηκε μια μέση αύξηση 28 και 19%, και μέση μείωση 1%, αναλόγως την δύναμη του πατήματος που εισέρχεται στο έδαφος έτσι εξαρτάτε και η ενέργεια που επιστραφεί στο πόδι ώθησης. Προσθέτοντας θα λέγαμε όσο ποιο γυμνασμένα άκρα είχαν οι αθλητές για την ακρίβεια τους καμπήρες του άκρου ποδιού τόσο η ροπή στο έδαφος αυξανόταν με αποτέλεσμα να τους ευνοεί στα πρώτα μέτρα του σπριντ.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης μας ενημερώνουν οι Kunz και Kaufmann (1981) ήταν να συγκριθούν ορισμένες εμβιομηχανικές μεταβλητές των δεκαθλητών και των σπρίντερ παγκόσμιας κλάσης ενώ έτρεχαν τον αγώνα των 100 μέτρων. Δεκαέξι Ελβετοί ελίτ δεκαθλητές και τρεις Αμερικανοί σπρίντερ παγκόσμιας κλάσης βιντεοσκοπήθηκαν από κάμερα Locam 16 mm (100 fps) στα 70 μέτρα του αγώνα. Οι συντεταγμένες ψηφιοποιήθηκαν και στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε ανάλυση από ένα πρόγραμμα υπολογιστή που παρήγαγε ποσοτικά δεδομένα για 12 εμβιομηχανικές μεταβλητές. Τα δεδομένα έδειξαν ότι οι σπρίντερ παγκόσμιας κλάσης διέφεραν από τους δεκαθλητές στο τρέξιμο των 100 μέτρων, έχοντας. Έναν βέλτιστο συνδυασμό μεγαλύτερου μήκους βήματος και υψηλότερης συχνότητας βηματισμού, μικρότερη γωνία μηρού στην επαφή που συντομεύει τον χρόνο επαφής, μια μεγαλύτερη γωνία προσγείωσης διασκελισμού, μια μεγαλύτερη μέση επιτάχυνση της γωνίας του μηρού, και μια μεγαλύτερη γωνία κορμού που συμβάλλει σε μια μεγαλύτερη γωνία του μηρού. Αν και άλλοι παράγοντες όπως η κουλτούρα, η προπόνηση, η σωματική διάπλαση και οι φυλετικές διαφορές μπορεί να επηρεάσουν τις διαφορές στην απόδοση μεταξύ Αμερικανών σπρίντερ παγκόσμιας κλάσης και Ελβετών δεκαθλητών, αυτά τα δεδομένα υποδεικνύουν ότι οι εμβιομηχανικές μεταβλητές μπορεί να συμβάλλουν σε διαφορές στην απόδοση των 100 μέτρων.

Η έρευνα του Kuhman, Paquette, Peel, & Melcher, (2016) αναφέρετε σε εμβιομηχανική μελέτη που σχετίζεται με το άθλημα τρέξιμο και τον τραυματισμό όπου έχουν συμβάλει είτε επί του παρόντος είτε αναδρομικά σε τραυματισμένους δρομείς.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η προοπτική σύγκριση των μεταβλητών της δύναμης αντίδρασης της άρθρωσης του αστραγάλου και του εδάφους μεταξύ αθλητών που παρουσίασαν τραυματισμούς κατά τη διάρκεια της σεζόν και εκείνων που δεν είχαν. Οι αναλύσεις τρεξίματος με χρήση αισθητήρων inertial measurement units καταγραφής κίνησης και δυναμοδάπεδου μέτρησης δύναμης διεξήχθησαν σε 19 δρομείς πριν από την έναρξη της αγωνιστικής τους σεζόν. Οι 10 από αυτούς μέσα στην αγωνιστική τους προετοιμασία υπέστηκαν τραυματισμούς που σχετίζονται με το τρέξιμο, ενώ οι 9 παρέμειναν υγιείς κατά την διάρκεια της σεζόν. Όσο αφορά για τις μετρήσεις έγιναν στα παρακάτω επίπεδα, δείκτης κρούσης, μέγιστος ρυθμός φόρτισης της κατακόρυφης δύναμης αντίδρασης εδάφους, εύρος κίνησης ραχιαία κάμψης (ROM), μέγιστη ταχύτητα των ποδιών. Το εύρος κίνησης ραχιαία κάμψης και η μέγιστη ταχύτητα των ποδιών ήταν μεγαλύτερη σε μη τραυματισμένους δρομείς, ενώ ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης της κατακόρυφης δύναμης και ο δείκτης κρούσης αντίδρασης εδάφους ήταν μεγαλύτερος σε τραυματισμένους δρομείς. Τα τρέχων δεδομένα μας αναφέρει ο Kuhnman μπορεί να ισχύουν μόνο για δρομείς με συγκεκριμένο πρόγραμμα επιβαρύνσεων και πρόγραμμα αγώνων. Ακόμα τα μεγέθη κατωφλίου των κινηματικών μεταβλητών του αστραγάλου για την πρόβλεψη του κινδύνου τραυματισμού είναι ακόμα άγνωστα. Το μέγιστο εύρος κίνησης ραχιαίας κάμψης του αστραγάλου και η ταχύτητα με χαμηλότερη γωνία κορυφής μπορεί να είναι ευεργετικά στη μείωση του κινδύνου τραυματισμού σε απαιτητικές προπονήσεις των δρομέων.

Μια άλλη έρευνα αναλύει τον εντοπισμό του χρόνου επαφής του ποδιού στο έδαφος μέσω της εμβιομηχανικής με μόνο έναν αισθητήρα inertial measurement units. Η ανάλυση σκόπευε την ομόκεντρη συστολή του σκελετικού μυ στο τρέξιμο, ο αισθητήρας ήταν τοποθετημένος στην κατάφυση της κνήμης. Στην έρευνα τους ο Aubol, & Milner, (2020) δοκίμασαν 19 υγιείς δρομείς, ηλικίας μεταξύ 18 και 45 ετών, (10 γυναίκες, 9 άνδρες, 31 ± 6 ετών, $1,70 \pm 0,08$ m, $68,6 \pm 11,6$ kg) όπου έτρεξε ο καθένας συνολικά 10 μίλια την εβδομάδα, αφού αναλύθηκαν τα αποτελέσματα μέσα από στατιστικό πρόγραμμα αυτό που εντοπίστηκε ήταν. Η επαφή του ποδιού που προσδιορίστηκε από την έκταση της ποδοκνημικής επιτάχυνσης «κατά την ομόκεντρη συστολή των κάτω άκρων» έγινε $2,3 \pm 4,7$ ms νωρίτερα από την επαφή του ποδιού που προσδιορίστηκε από την κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης του εδάφους, με όριο 95% από -6,8 έως 11,5 ms. Η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων ήταν μικρότερη από 10 ms για 183 από τις 190 επαφές ποδιών. Επιπλέον ο Aubol και ο Milner μας αναφέρουν, την τεχνική αυτή με τους αισθητήρες (IMU) μπορούμε να χρησιμοποιηθεί όταν οι μέγιστες επιταχύνσεις της κνήμης είναι χαμηλές. Συστήνεται αυτή η τεχνική για τον εντοπισμό της υπερκόπωσης των ποδιών στα κάτω άκρα ή να αποκαλυφθεί ο πόνος στο σημείο της κνήμης κατά το τρέξιμο που οφείλετε, συγκρίνοντας το αρχικό δείγμα της μέτρησης όταν ο αθλητής είναι ξεκούραστος, σε σχέση όταν υπάρχει πτώση της απόδοσης του αθλητή επίσης όταν είναι ξεκούραστος.

Σε μια άλλη μελέτη ο Reenalda και οι συνεργάτες του (2021) ασχολήθηκαν με την ανίχνευση επαφών του ποδιού σε κυλιόμενο διάδρομο γυμναστικής με χρήση αισθητήρων inertial measurement units και οπτικών συστημάτων. Ο ίδιος αναφέρει, «ο προσδιορισμός του χρόνου αρχικής επαφής με το πόδι μπορεί να είναι δύσκολος σε δρομείς με διαφορετικό πάτημα του ποδιού, εξάλλου δεν μπορεί να χαλάσει μόνο η τεχνική του ποδιού κατά την αύξηση της ταχύτητας αλλά και της λεκάνης». Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να επικυρώσει αν υπάρχουν διαφορές στην αρχική επαφή του ποδιού στο έδαφος στην μικρότερη ταχύτητα τρεξίματος, οι αισθητήρες (IMU) τοποθετήθηκαν στην ραχιαία κάμψη του άκρου πόδι. Με την τελική επαφή του ποδιού στο έδαφος στην μεγαλύτερη ταχύτητα τρεξίματος με σταδιακή ταχύτητα αύξησης του ρυθμού. Τα άτομα που έλαβαν μέρος ήταν 20 υγιείς δρομείς (ηλικία: $30,1 \pm 9,2$ ετών, 15 άνδρες και 5 γυναίκες) έτρεξαν για δύο λεπτά με 11km, έπειτα έτρεξαν με 13km για άλλα δυο λεπτά, και τέλος έτρεξαν με 15km για άλλα δύο λεπτά σε κυλιόμενο διάδρομο γυμναστικής σε κάθε προσπάθεια τους ξεκουραζόντουσαν για άλλα 2 λεπτά πριν μπουν την επόμενη προσπάθεια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε μια σημαντική επίδραση στον διασκελισμό, όσο μεγαλύτερος ήταν ο διασκελισμός υπήρχε πτώση της ταχύτητας ενώ όσο μικρότερος και ποιο συχνός ήταν ο διασκελισμός υπήρχε μια αύξηση της ταχύτητας. Δεν υπήρξε καμία επίδραση της ταχύτητας και της επαφής του ποδιού στις μετατοπίσεις λανθασμένου πατήματος του ποδιού. Οι μετατοπίσεις κυμαίνονταν από $21,7 \pm 0,2$ ms για άτομα που έτρεξαν με 15 km/h έως $27,2 \pm 0,1$ ms για άτομα που έτρεξαν με 11 km/h. Αυτά τα ευρήματα υποστηρίζονται από την εγκυρότητα του βιντεοσκοπημένου υλικού καθώς και από τους αισθητήρες (IMU) για την ανίχνευση της επαφής των ποδιών και σε διαφορετικές ταχύτητες λειτουργίας.

Ο Falbriard, Mohr, και ο Aminian (2020) μας εξηγούν ότι, αυτή η έρευνα στόχευε να καθορίσει εάν «οι εξειδικευμένοι μαγνήτες» που είναι κοιλημένοι στο ύψος του εμποδίου. Μπορούν να συνεργαστούν με τα επιταχυνσιόμετρα inertial measurement units που τοποθετούνται στο πάνω μέρος των παπουτσιών spikes συγκεκριμένα στα κορδόνια των παπουτσιών να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της απόστασης ανάμεσα στα εμπόδια και τον εντοπισμό της μέσης ταχύτητας, του χρόνου επαφής, του χρόνου πτήσης και της συχνότητας βημάτων μεταξύ των εμποδίων 400 μέτρων και για την παροχή μιας ανάλυσης των χρονικών παραμέτρων των εμποδιστών στα διαστήματα που ορίζονται από τη θέση των εμποδίων. Το σύνολο δεδομένων αποτελείται από καταγραφές με επιταχυνσιόμετρα (IMU), λαμβάνουν μέρος σε αυτή την έρευνα 16 αθλητών σε αγωνιστικό περιβάλλον διασυλλογικού πρωταθλήματος, $n = 10$ άντρες (ηλικία: 22 ± 4 ετών, ύψος: 183 ± 2 cm, βάρος: 69 ± 6 kg, χρόνος: 57 ± 3 s), $n = 6$ γυναίκες (ηλικία: 23 ± 3 ετών, ύψος: 165 ± 4 cm, βάρος: 55 ± 2 kg, χρόνος: 64 ± 3 s). Οι αθλητές φορούσαν πριν από την προθέρμανση τον εξοπλισμό για να μην διαταραχθεί η ρουτίνα προετοιμασίας τους και οι αισθητήρες συλλέχθηκαν στο τέλος του αγώνα. Κατά το διάστημα των μετρήσεων οι αθλητές έγιναν 15 γιατί ένας αθλητής έπρεπε να αφαιρεθεί από το σύνολο δεδομένων λόγω σφάλματος οργάνων. Στα αποτελέσματα εμφανίστηκε ότι ο χρόνος επαφής στην αρχή ήταν

μικρότερος από ότι στο τέλος του αγώνα, ο χρόνος πτήσης στην αρχή ήταν μεγαλύτερος από ότι στο τέλος, η ταχύτητα στην αρχή αλλά και στην μέση γύρος στα 180-290 μέτρα σε μερικά άτομα ήταν υψηλή από ότι στο τέλος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο η φάση ώθησης όσο και η φάση στήριξης μπορούν να παρέχουν αξιόπιστη ανίχνευση. Αυτή η μελέτη έδειξε επίσης ότι η χρήση πρόσθετων μαγνητών/μαγνητόμετρου δεν βελτιώνει τα αποτελέσματα ανίχνευσης του συστήματος.

Σκοπός αυτής της έρευνας μας αναλύει ο (Gurchiek, McGinnis, Needle, McBride, & van Werkhoven, 2017) ήταν να προσδιοριστεί η σκοπιμότητα της χρήσης με αισθητήρες μέτρησης inertial measurement units τοποθετημένη στο ιερό οστό για την εκτίμηση στα επίπεδα του ανθρώπινου σώματος «σε οβελιαίο, σε μετωπιαίο και σε εγκάρσιο επίπεδο», ακόμα πως κυμαίνεται η δύναμη αντίδρασης του εδάφους (f) κατά τη διάρκεια της γραμμικής επιτάχυνσης και αλλαγής κατεύθυνσης. Τα άτομα που έλαβαν μέρος ήταν 15 «12 άντρες, 3 γυναίκες, ηλικία: 23,20 ± 2,11 ετών, ύψος: 1,78 ± 0,09 m, μάζα: 75,46 ± 12,56 kg», οι μετρήσεις της δύναμης του (f) και οι εκτιμήσεις από την προτεινόμενη μέθοδο (IMU) συλλέχθηκαν, τα άτομα (n = 15) πραγματοποίησαν μια στάσιμη εκκίνηση σπριντ (SS) και μια άσκηση αλλαγής κατεύθυνσης 45°. Το σφάλμα στην εκτίμηση (IMU) του βαθμιαίου μέσου όρου συνιστώσας προκύπτοντας (f) σε σύγκριση με την δύναμη χρησιμοποιώντας όρια συμφωνίας Bland-Altman 95% (LOA), ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson (r), και το μέγεθος επίδρασης (ES) των διαφορών μεταξύ των δύο συστημάτων. Το RMSE όπου προσδιορίζει το «σφάλμα ρίζας μέσα από το τετράγωνο» της εκτίμησης (IMU) της μέσης δύναμης (f) κυμαίνεται από 37,70 N έως 77,05 N με ES μεταξύ 0,04 και 0,47 για SS ενώ για COD, RMSE ήταν μεταξύ 54,19 N έως 182,92 N με ES μεταξύ 0,08 και 1,69. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του (IMU) και των μετρήσεων της δύναμης ήταν σημαντικοί (p ≤ 0,05) για όλες τις τιμές (r = 0,53 έως 0,95) εκτός από το οβελιαίο επίπεδο. Το μέσο γωνιακό σφάλμα στην εκτίμηση (IMU) ήταν ≤10°. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος (IMU) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των συνιστωσών του οβελιαίου επιπέδου και του μεγέθους του βήματος μέσου όρου (f) κατά τη διάρκεια μιας γραμμικής στάσιμης εκκίνησης σπριντ καθώς και της κατακόρυφης συνιστώσας και του μεγέθους των βημάτων μέσου όρου (f) κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής 45° κατεύθυνσης.

Σε αυτή την έρευνα σκοπός ήταν να προσδιορίσει τα αποτελέσματα ενός μόνο inertial measurement units αισθητήρα κατά το τρέξιμο καθώς μετατοπίζετε το κέντρο μάζα σώματος κατά το τρέξιμο. Όπως μας αναφέρουν οι Lee, Mellifont, & Burkett, (2010) η μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με την τοποθέτηση του αισθητήρα (IMU) στο ιερό οστό και με υψηλή ποιότητας κάμερας για να μπορέσουμε στην ανάλυση να διακρίνουμε τον διασκελισμό, τα βήματα καθώς και δεδομένα χρόνου αιώρησης του κέντρου μάζας σώματος μέσα από τους διασκελισμούς. Στην παρούσα έρευνα δοκιμάστηκαν 10 δρομείς οι οποίοι 6 από αυτούς ήταν άνδρες και οι 4 από

αυτούς ήταν γυναίκες, (ηλικίας 30.3 ± 7.9 ετών). Συνολικά συλλέχθηκαν 504 δείγματα και οι ταχύτητες τρεξίματος χωρίστηκαν σε τρεις ίσες ομάδες χαμηλών (10–12 km/h), μεσαίων (13–15 km/h) και υψηλών (16–19 km/h) με 5 λεπτών διάρκειας και 1 λεπτό ανάκτησης ενδιάμεσα. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας διαπίστωσαν ότι τα επιταχυνσιόμετρα αισθητήρες είναι κατάλληλοι για τη μέτρηση του διασκελισμού, του βήματος και της διάρκειας της στάσης σώματος την μετατόπιση του κέντρου μάζας σώματος και παρέχουν την ευκαιρία να μετρηθεί η βάδιση, το τρέξιμο εκτός του παραδοσιακού εργαστηρίου περιβάλλοντος. Ένας απλός αδρανειακός αισθητήρας βρέθηκε ότι είναι κατάλληλος για τον προσδιορισμό της διάρκειας διασκελισμού με τα όρια συμφωνίας Bland–Altman 95%. Τα δεδομένα διασκελισμού έδειξαν σύμφωνα με τον αισθητήρα (IMU) σε λιγότερο από 0,02 δευτερόλεπτα για τα περισσότερα όρια. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων σύλληψης ήταν για τη μετατόπιση του κέντρου μάζας σώματος. Βρέθηκε μια μέση τιμή 0,0008 s και το τυπικό σφάλμα κυμαινόταν μεταξύ 0,0004 s και 0,0009 s σε όλες τις μεταβλητές.

Αυτή η έρευνα μας δίνει να καταλάβουμε πόσο σημαντική είναι οι αισθητήρες inertial measurement units τόσο στην αθλητική απόδοση όσο και στην αποκατάσταση κάποιων τραυματισμών ή την ανάλυση αναπηρίας. Έως τώρα χρησιμοποιούσαμε τα φωτοκύτταρα και την επεξεργασία δεδομένων σε 3D. Αυτή η μέθοδος ανάλυσης κίνησης έχει αποδειχθεί ότι παρέχει υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και εγκυρότητας όπως η ανάλυση βάδισης, τον χρόνο επαφής του ποδιού στο έδαφος, η τον ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας από βήμα σε βήμα. Ένα πλεονέκτημα των αισθητήρων (IMU) είναι, ότι μπορούν να μετρήσουν και να καταγράψουν δεδομένα ακόμα αν και το άτομο δεν είναι στο εξειδικευμένο χώρο εργαστηρίου. Ο σκοπός αυτής της μελέτης μας αναφέρουν ο Ghattas, & Jarvis, (2021) είναι να αξιολογήσουν αυτά τα δεδομένα από τους αισθητήρες (IMU) για την παρακολούθηση της κίνησης εντός και εκτός του εργαστηρίου. Ο Ghattas μας αναφέρει «εάν αυτά τα συστήματα επιταχυνσόμετρων αισθητήρων εμφανίζουν ταυτόχρονη εγκυρότητα υψηλού επιπέδου για τις συγκεκριμένες εφαρμογές τους, θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά την ευκολία και το ρυθμό της παραγωγής έρευνας, καθώς και την ανάλυση ασθενών ή τις δοκιμές απόδοσης». Πήραν μέρος τέσσερα ηλικιωμένα άτομα όπου φορούσαν αισθητήρες (IMU) στα πόδια συγκεκριμένα στον έξω σφυρό και στην οσφυϊκή μοίρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν οι αισθητήρες (IMU) έχουν υψηλά αποτελέσματα σύλληψης κίνησης (ανάλυση βάδισης, τον χρόνο επαφής του ποδιού στο έδαφος, η τον ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας από βήμα σε βήμα). Ωστόσο στα εγκάρσια και περιστροφικά μέρη των κινήσεων συλλέξαν καλύτερες πληροφορίες στο εργάσιμο. Καθώς η κίνηση αυξανόταν δεν υπήρχε διαφορά εντός και εκτός του εργαστηρίου. Συμπερασματικά αποδείχθηκε ότι οι αισθητήρες (IMU) έχουν τόσο ακριβή πληροφορίες εντός και εκτός του εργαστηρίου αρκεί να έχουν τοποθετηθεί καλά και να μην ξεκολλήσουν.

Ο (Nummela, Vuorimaa, & Rusko, 1992) έκαναν μια ανάλυση στο σπριντ από τα 100m έως τα 400m για διαφορές στις αλλαγές στην παραγωγή δύναμης, του γαλακτικού στο αίμα και την δραστηριότητα του ηλεκτρομυογραφήματος (EMG) στα 400 μέτρα σπριντ. Σε 6 υγιής άνδρες μελετήθηκαν για πειραματικά σπριντ 100, 200, 300 και 400m, τα οποία εκτελέστηκαν σύμφωνα με την ταχύτητα στα 400 m. Το γαλακτικό στο αίμα (BLa) αναλύθηκε και πραγματοποιήθηκαν στατικά άλματα με καταγραφή ηλεκτρομυογραφήματος (EMG) σε ηρεμία και μετά από κάθε σπριντ. Η ταχύτητα τρεξίματος ($P > 0,001$) και το μήκος διασκελισμού ($P > 0,05$) μειώθηκαν και ο χρόνος επαφής μειώθηκε ($P < 0,01$) κατά τη διάρκεια του σπριντ των 400 μέτρων. Ο χρόνος πτήσης ήταν μικρότερος αμέσως μετά τις διαδρομές των 100 και 300 m. Η κορύφωση γαλακτικού στο αίμα αυξήθηκε και ο ρυθμός συσσώρευσης μειώθηκε με την απόσταση τρεξίματος ($P > 0,001$). Το ύψος ανόδου του κέντρου μάζας στα άλματα πτώσης ήταν μικρότερο αμέσως μετά τα 300 m ($P > 0,05$) και τα 400 m ($P > 0,01$) από ό,τι σε κατάσταση ηρεμίας, και συσχετίστηκε αρνητικά με την κορυφή BLa ($r = -0,77$, $P > 0,001$). Η ταχύτητα τρεξίματος αυξήθηκε μετά την απόσταση των 100 μέτρων. Έτσι πρόβαλε το συμπέρασμα ότι η παραγωγή δύναμης των μυών των ποδιών είχε ήδη αρχίσει να μειώνεται κατά το πρώτο τρίμηνο του σπριντ των 400 μέτρων. Η επιδεινούμενη παραγωγή δύναμης αντισταθμίστηκε μέχρι περίπου 200-300 m. Στη συνέχεια, ήταν αδύνατο να αντισταθμιστεί η κόπωση και η ταχύτητα του τρεξίματος έπεσε. Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, η κόπωση στο σπριντ των 400 μέτρων μεταξύ προπονημένων αθλητών οφείλεται κυρίως σε διεργασίες εντός των σκελετικών μυών και όχι στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η παραγωγή δύναμης των μυών των ποδιών είχε ήδη αρχίσει να μειώνεται κατά το πρώτο τρίμηνο του σπριντ των 400 μέτρων. Η επιδεινούμενη παραγωγή δύναμης αντισταθμίστηκε μέχρι περίπου 200-300 m. Στη συνέχεια, ήταν αδύνατο να αντισταθμιστεί η κόπωση και η ταχύτητα του τρεξίματος έπεσε.

Σε μία άλλη έρευνα που έκαναν οι (Reenalda, Maartens, Buurke, & Gruber, 2019) αναφέρονται στα κατάγματα κοπώσεως συγκεκριμένα στο κνημιαίο οστό. Χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες inertial measurement units για αυτή την έρευνα, παρόλα αυτά όπως μας λέει Η Reenalda και οι συνεργάτες της (2019) η χρήση των (IMU) περιοριζόταν έως και το 2018 στην ακριβή μέτρηση των τμημάτων-επιπέδων του ανθρώπινου σώματος. Η έρευνα αυτή προσπάθησε να εξεταστεί στις επιπτώσεις ενός παρατεταμένου εξαντλητικού τρεξίματος με την παρουσία του συμπαθητικού αυτόνομου νευρικού συστήματος. Πήραν μέρος δέκα υγιής άνδρες, εκπαιδευμένοι δρομείς μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων, οι οποίοι είχαν ηλικία 31 με 35 ετών, ύψος 1,80 με 1,86 και τα κιλά τους κυμαίνονταν από 76 έως και 85 κιλά. Πραγματοποίησαν ένα παρατεταμένο τρέξιμο 20 λεπτών σε στάδιο ανοικτού στίβου ο καθένας κυμαινόταν στην δική του ταχύτητα του γαλακτικού του κατωφλίου. Χρησιμοποιήθηκαν 8 αισθητήρες (IMU) ένας τοποθετημένος στην άρθρωση του άκρο ποδιού στον έξω σφυρό, άλλος ένας στον έσω σφυρό, ένας στην κατάφυση της περόνης του οστού, ένας στο κνημιαίο οστό, ένας στο μέρος του υποκνημίδιου μυ, ένας στην κατάφυση του μηριαίου οστού, ένας μπροστά στο στέρνος και ένας

τελευταίος στην οσφυϊκή μύρα αυτό για την καλύτερη ένδειξη των παραμέτρων κρούσης και της εξασθένησης του κραδασμού στον τομέα του χρόνου ($1 - (PSA/PTA) \cdot 100$). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το PTA αυξήθηκε ενώ το PSA και η εξασθένηση του συμπαθητικού αυτόνομου νευρικού συστήματος δεν άλλαξαν μετά την παρατεταμένη εκτέλεση. Η κάμψη του ισχίου και του γόνατος στη μέση μειώθηκε. Η κατακόρυφη γωνία του κάτω ποδιού δεν άλλαξε. Με τη χρήση (IMU) αποδείχθηκε ότι μια παρατεταμένη εκτέλεση τρεξίματος με εκτιμώμενη ταχύτητα κατωφλίου γαλακτικού είχε σημαντικές επιπτώσεις στην κινηματική και στις παραμέτρους της κνημιαίας επιτάχυνσης. Τροποποιώντας την κινηματική της άρθρωσης του ισχίου και του γόνατος κατά τη διάρκεια του τρεξίματος το σώμα διατηρούσε την επιτάχυνση αλλά η μεταφορά της δύναμής από την κρούση άλλαζε.

Σε μία άλλη έρευνα μας λέει ο Santos και οι συνεργάτες του (2022), ότι η ποσότητα του γαλακτικού στο αίμα αυξάνετε πολύ σύντομα σε προσπάθειες πολύ έντονης άσκησης πχ «σπριντ». Στην παρούσα έρευνα έλαβαν μέρος δύο elite άνδρες σπρίντερ οι προσπάθειες των σπριντ εκτελέστηκε μετά την προθέρμανση τους όπου περιλάμβανε χαλαρό τρέξιμο, ασκήσεις δρομικές, διατάσεις, καθώς και μερικά βάρη όπως Deadlifts στο 80% τα σπριντ ολοκληρωθήκαν με χρόνο για τον πρώτο σπρίντερ (10"04 στα 100 μέτρα) και για τον δεύτερο σπρίντερ (10"97 στα 100 μέτρα). Παρατηρήθηκε ότι υπήρχε βελτίωση του χρόνου στον πρώτο σπρίντερ 0,09 κλάσματα του δευτερολέπτου και στον δεύτερο σπρίντερ κατά 0,06 κλάσματα του δευτερολέπτου. Επίσης πριν την έναρξη του σπριντ και των ασκήσεων μετρήθηκε το γαλακτικό οξύ στην κυκλοφορία του αίματος όπου ήταν ($< 5 \text{ mmol}$) μετά από ένα max σπριντ έγινε πάλι μέτρηση του γαλακτικού οξέος οι τιμές ήταν για τον πρώτο σπρίντερ (20,4 mmol) και για τον δεύτερο σπρίντερ (22,4 mmol). Συμπερασματικά μας λέει ο ερευνητής ότι υπήρξαν θετικά αποτελέσματα πριν εκτελεστούν τα σπριντ οι ασκήσεις Deadlifts.

3. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα έρευνα είναι μια πιλοτική έρευνα όπου μετρήθηκε η απόδοση των αθλητών στο δρόμο ταχύτητας των 400 μέτρων, ειδικότερα αναλυθήκαν τα επιμέρους τμήματα του δρόμου κάθε 50 μέτρα και εντοπίστηκαν οι φάσεις «επιτάχυνσης, μέγιστης ταχύτητας και διατήρησης της, ο χρόνος επαφής με το έδαφος και ο χρόνος αιώρησης».

Η παρούσα έρευνα έχει μια ιδιαίτερη σημασία για τους προπονητές και τους επιστήμονες, οι οποίοι βρίσκονται σε ένα χάσμα ή σε μια ανοδική πορεία προσπαθώντας να βελτιώσουν την απόδοση των αθλητών τους. Επίσης, η έρευνα έχει και μια άλλη σημασία για κάθε ξεχωριστό ασκούμενο καθώς ανακαλύπτει τις επιδόσεις του σώματος του και τα αδύναμα σημεία του. Επαναλαμβάνοντας ο χρόνος επαφής με το έδαφος και ο χρόνος αιώρησης στο τρέξιμο είναι ο συντελεστής της δρομικής οικονομίας και της φανέρωσής κάποιου σωματομετρικού προβλήματος με αυτόν τον τρόπο καθορίζεται έτσι η πορεία της ταχύτητας όπου για κάθε αθλητή είναι διαφορετική. Καθώς όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνο επαφής του ποδιού στο έδαφος τόσο περισσότερο μειώνετε το (stiffness), αλλά όσο μικρότερος είναι ο χρόνος επαφής του ποδιού στο έδαφος τόσο περισσότερο αυξάνετε το (stiffness).

Η έρευνα στοχεύει την απόσταση των 400^{ωv} μέτρων αναλόγως τον χρόνο επαφής με το έδαφος και τον χρόνο αιώρησης, την συχνότητα των διασκελισμών, το μήκος του διασκελισμού, καθώς και την κορύφωση της μέγιστης ταχύτητας και το σημείο πτώσης αυτήνης.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο δοκιμαζόμενος

Στην έρευνα έλαβε μέρος ένας υγιής αθλητής, ηλικίας 20 ετών, ο οποίος ασχολούνται ενεργά με τους δρόμους 400^{ων} μέτρων, με σωματικό λίπος (7,023%), ύψος αναστήματος 1,82 και μάζα σώματος 74kg.

Ερευνητικός Σχεδιασμός

Ο ερευνητικός σχεδιασμός περιλαμβάνει 2 φάσεις:

Φάση 1^η: Σωματομετρικές μετρήσεις

Συγκεκριμένα, μετρήθηκε στον αθλητή: το σωματικό του βάρος, το ύψος, το άνοιγμα των άνω άκρων, το μήκος των κάτω άκρων, η ευλυγισία και το ποσοστό σωματικού λίπους.

Φάση 2^η: Δρόμοι ταχύτητας 400^{ων} μέτρων

Ο δοκιμαζόμενος για να πάρει μέρος στην έρευνα πραγματοποίησε νηστεία τουλάχιστον 2-3 ώρες πριν την έναρξη της μέτρησης, ζέσταμα 20 λεπτά με χαλαρό τρέξιμο και δυναμικές διατάσεις, έπειτα ακολούθησαν δρομικές ασκήσεις.

Επίσης, ο δοκιμαζόμενος αθλητής καλείται να εκτελέσει έναν δρόμο ταχύτητας 400ων μέτρων. Η εκκίνηση δόθηκε με κλακέτα, και ο αθλητής έκαναν μια μόνο μέγιστη προσπάθεια παρόμοια με συνθήκη αγώνα. Τα επιταχυνσιόμετρα «Inertial Measurement Units» τοποθετήθηκαν από το ζέσταμα στον αθλητή για να μην χαλάσει η ρουτίνα τους και να μπορέσει να προσαρμοστεί με αυτά. Τοποθετήθηκαν κώνοι ανά 50 μέτρα από την εκκίνηση, στα πρώτα 50 μέτρα, στα πρώτα 100 μέτρα, στα πρώτα 150 μέτρα, στα πρώτα 200 μέτρα, στα πρώτα 250 μέτρα, στα πρώτα 300 μέτρα, στα πρώτα 350 μέτρα, στον τερματισμό. Για να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη η χρονομέτρηση χειρός. Επίσης βιντεοσκοπήστηκε η κάθε προσπάθεια για καλύτερα αποτελέσματα.

Μετρήσεις

Σωματικό βάρος (kg) και ύψος (cm) Με χρήση ηλεκτρονική ζυγαριά ακριβείας για το (βάρος) και για το (ύψος) χρησιμοποιήθηκε αναστημόμετρο σε τοίχο.

Σωματικό Λίπος (%): Με τη χρήση δερματοπυχόμετρου μετρήθηκαν (Δερματική πτυχή τρικεφάλου, Υποωμοπλατιαία δερματική πτυχή, Τρικεφάλου βραχιόνιου δερματική πτυχή, Θωρακική δερματική πτυχή, Κοιλιακή δερματική πτυχή, Υπερλαγόνια δερματική πτυχή, Μηριαία δερματική πτυχή, Δικεφάλου βραχιόνιου δερματική πτυχή, Γαστροκνημιαία δερματική πτυχή).

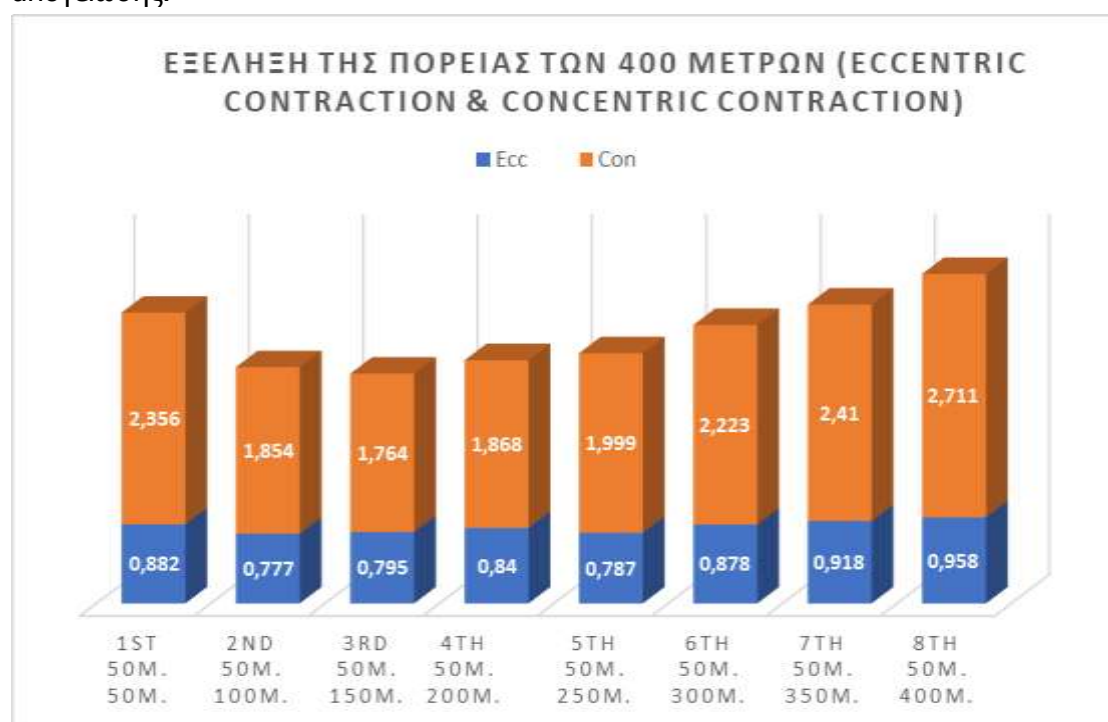
400μ. χρονομέτρηση (seconds): Η ικανότητα που αξιολογήθηκε είναι η αντοχή στην ταχύτητα και οι κινητικές ικανότητες που αξιολογήθηκαν (ταχύτητα, συχνότητα και μήκος διασκελισμού και χρόνος επαφής στο έδαφος).

Inertial Measurement Units (IMU): Τοποθετήθηκαν στο σημείο της κνήμης στην έσω και πρόσθια επιφάνια της κνήμης, κοντά στον γαστροκνήμιο μυ στο αριστερό και στο δεξί πόδι.

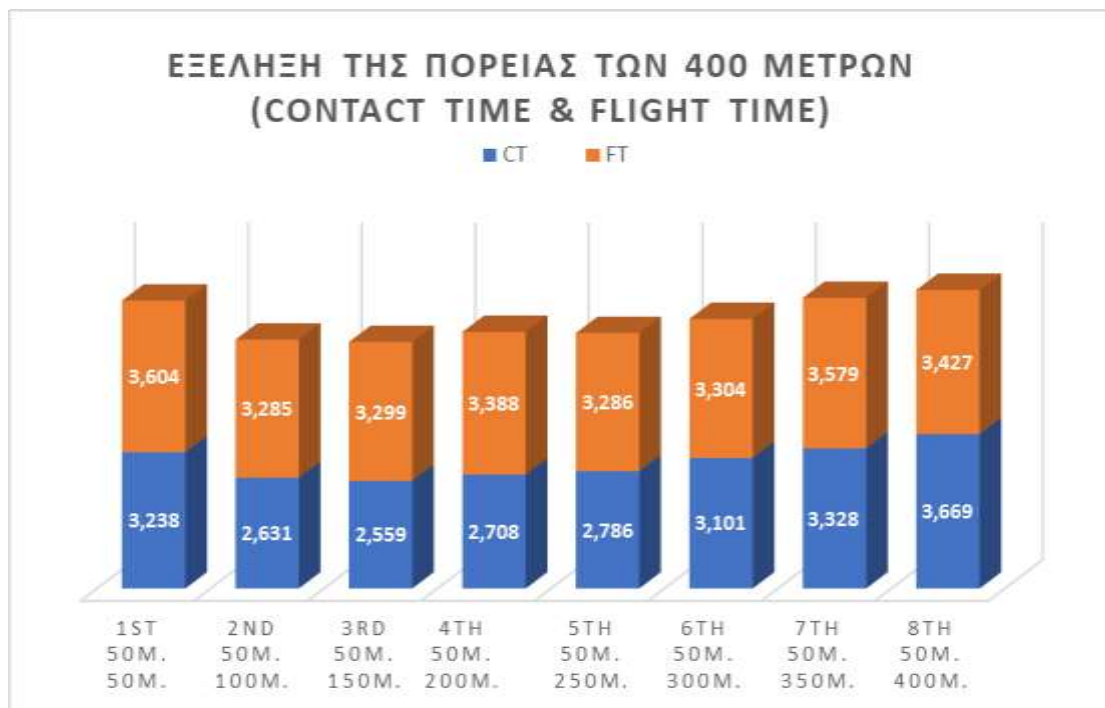
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του χρόνου επαφής με το έδαφος όπου υποδηλώνει την έκκεντρη συστολή των μυών του αθλητή, καθώς και ο χρόνος ώθησης όπου υποδηλώνει την ομόκεντρη συστολή των μυών του αθλητή στα 400 μέτρα. Η αξιολόγηση στην παρούσα μελέτη μας δείχνει σε κάθε 50 μέτρα από τα συνολικά 400 μέτρα που έτρεξε ο αθλητής την αλλαγή της συμπεριφοράς στην συστολή του σκελετικού μυ καθώς και τον χρόνο επαφής και χρόνο πτήσης. Συνεπώς υπάρχει ο συνολικός χρόνος στα 400 μέτρα όπου λάβαμε από το χρονόμετρο και τα επιταχυνσιόμετρα (IMU), αλλά και ο ξεχωριστός χρόνος ανά 50 μέτρα παρατέθονται στους (Πίνακες 1 και 2). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας δείχνουν το σύνολο και των δύο ποδιών μαζί.

Πίνακας 1: Ανάλυση της έκκεντρης φάση προσγείωσης και ομόκεντρης της φάσης απογείωσης.



Πίνακας 2: Ανάλυση του χρόνου επαφής, έκκεντρης φάση και χρόνου πτήσης, φάση απογείωσης.



Πίνακας 3: Ανάλυση του χρόνου σημειώσεις ανά 50 μέτρα στα 400 μέτρα.



Η εξέλιξη του τρεξίματος στον δρόμο των 400^{ωv} εξελίχθηκε ξεκινώντας από τα πρώτα 50 μέτρα όπου ο χρόνος επαφής ήταν μικρότερος. Ενώ στα τελευταία 50 μέτρα του τρεξίματος των 400^{ωv} μέτρων ο χρόνος επαφής ήταν μεγαλύτερος από εκεί και πέρα υπήρχε αύξηση της έκκεντρη συστολή του σκελετικού μυ (Πίνακας 1). Από την άλλη πλευρά όσο αφορά τον χρόνο του τρεξίματος στα 400 μέτρα ο συνολικός χρόνος ήταν 51:19:20 (Πίνακας 2). Στα πρώτα 50 μέτρα ο αθλητής λόγω της όρθιας εκκίνησης είχε περισσότερη ομόκεντρη συστολή καθώς πολύ μεγαλύτερη συνεισφορά αυτής υπήρχε στο τρίτο 50ρι των 400^{ωv} μέτρων ο χρόνος επαφής ήταν μειωμένος έως τα έβδομα 50 μέτρα στα επόμενα 50 και τελευταία μέτρα του τρεξίματος ο χρόνος επαφής ήταν μεγαλύτερος φυσικά η έκκεντρη συστολή ήταν κυρίαρχη.

Ειδικότερα στα πρώτα 50 μέτρα η έρευνα έδειξε ότι σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα πρώτα 50μ. < χρόνου επαφής στα δεύτερα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα πρώτα 50μ. < χρόνου πτήσεις στα δεύτερα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρη συστολής στα πρώτα 50μ. < έκκεντρη συστολή στα δεύτερα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρη συστολής στα πρώτα 50μ. < ομόκεντρη συστολή στα δεύτερα 50μ.). Σε σύγκριση (πρώτα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < πρώτα 50 μέτρα έκκεντρη συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα πρώτα 50μ. < χρόνο επαφής στα πρώτα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο τα πρώτα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν τα δεύτερα πιο αργά μέτρα στο τρέξιμο διότι ο χρόνος επαφής και ο χρόνος πτήσεις ήταν συγκριτικά μεγαλύτερος από τα επόμενα 50μ.

Σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα δεύτερα 50μ. < χρόνου επαφής στα τρίτα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα δεύτερα 50μ. > χρόνου πτήσεις στα τρίτα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρη συστολής στα δεύτερα 50μ. > έκκεντρη συστολή στα τρίτα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρη συστολής στα δεύτερα 50μ. < ομόκεντρη συστολή στα τρίτα 50μ.). Σε σύγκριση (δεύτερα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < δεύτερα 50 μέτρα έκκεντρη συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα δεύτερα 50μ. < χρόνο επαφής στα δεύτερα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο τα δεύτερα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν πολύ πιο γρήγορα από τα πρώτα.

Σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα τρίτα 50μ. > χρόνου επαφής στα τέταρτα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα τρίτα 50μ. > χρόνου πτήσεις στα τέταρτα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρη συστολής στα τρίτα 50μ. > έκκεντρη συστολή στα τέταρτα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρη συστολής στα τρίτα 50μ. > ομόκεντρη συστολή στα τέταρτα 50μ.). Σε σύγκριση (τρίτα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < τρίτα 50 μέτρα έκκεντρη συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα τρίτα 50μ. < χρόνο επαφής στα τρίτα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα τρίτα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν τα πιο γρήγορα μέτρα από τα 400 μέτρα του τρεξίματος και πολύ πιο γρήγορα από τα δεύτερα.

Σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα τέταρτα 50μ. > χρόνου επαφής στα πέμπτα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα τέταρτα 50μ. < χρόνου πτήσεις στα πέμπτα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα τέταρτα 50μ. < χρόνου πτήσεις στα πέμπτα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρη συστολής στα τέταρτα 50μ. > έκκεντρη συστολή στα πέμπτα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρη συστολής στα τέταρτα 50μ. > ομόκεντρη συστολή στα πέμπτα 50μ.). Σε σύγκριση (τέταρτα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < τέταρτα 50 μέτρα έκκεντρη συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα τέταρτα 50μ. < χρόνο επαφής στα τέταρτα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα τέταρτα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν τα πιο γρήγορα μέτρα από τα 400 μέτρα του τρεξίματος και πολύ πιο γρήγορα από τα πέμπτα.

50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρης συστολής στα τέταρτα 50μ. < έκκεντρη συστολή στα πέμπτα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρης συστολής στα τέταρτα 50μ. > ομόκεντρη συστολή στα πέμπτα 50μ.). Σε σύγκριση (τέταρτα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < τέταρτα 50 μέτρα έκκεντρης συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα τέταρτα 50μ. < χρόνο επαφής στα τέταρτα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα τέταρτα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν ποιο αργά από τα τρίτα 50μ. στα 400 μέτρα.

Σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα πέμπτα 50μ. > χρόνου επαφής στα έκτα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα πέμπτα 50μ. > χρόνου πτήσεις στα έκτα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρης συστολής στα πέμπτα 50μ. > έκκεντρη συστολή στα έκτα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρης συστολής στα πέμπτα 50μ. > ομόκεντρη συστολή στα έκτα 50μ.). Σε σύγκριση (πέμπτα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < πέμπτα 50 μέτρα έκκεντρης συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα πέμπτα 50μ. < χρόνο επαφής στα πέμπτα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα πέμπτα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν ποιο γρήγορα από τα τέταρτα 50μ. στα 400 μέτρα.

Σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα έκτα 50μ. > χρόνου επαφής στα έβδομα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα έκτα 50μ. > χρόνου πτήσεις στα έβδομα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρης συστολής στα έκτα 50μ. > έκκεντρη συστολή στα έβδομα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρης συστολής στα έκτα 50μ. > ομόκεντρη συστολή στα έβδομα 50μ.). Σε σύγκριση (έκτα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < έκτα 50 μέτρα έκκεντρης συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα έκτα 50μ. < χρόνο επαφής στα έκτα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα έκτα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν ποιο αργά από τα πέμπτα 50μ. στα 400 μέτρα.

Σε σύγκριση (χρόνου επαφής στα έβδομα 50μ. > χρόνου επαφής στα όγδοα 50μ.), σε σύγκριση (χρόνου πτήσεις στα έβδομα 50μ. < χρόνου πτήσεις στα όγδοα 50μ.), σε σύγκριση (έκκεντρης συστολής στα έβδομα 50μ. > έκκεντρη συστολή στα όγδοα 50μ.), σε σύγκριση (ομόκεντρης συστολής στα έβδομα 50μ. > ομόκεντρη συστολή στα όγδοα 50μ.). Σε σύγκριση (έβδομα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < έβδομα 50 μέτρα έκκεντρης συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα έβδομα 50μ. < χρόνο επαφής στα έβδομα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα έβδομα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν ποιο αργά από τα έκτα 50μ. στα 400 μέτρα.

Σε σύγκριση (όγδοα 50 μέτρα στην ομόκεντρη συστολή < όγδοα 50 μέτρα έκκεντρης συστολής), σε σύγκριση στον (χρόνο πτήσεις στα όγδοα 50μ. > χρόνο επαφής στα όγδοα 50μ.). Όσο αφορά το χρόνο στα όγδοα 50μ. των 400^{ωv} μέτρων ήταν ποιο αργά από τα έβδομα 50μ. στα 400 μέτρα.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να εντοπίσει πιθανές διαφορές σε έναν δρόμο 400ων μέτρων σε κάθε 50 μέτρα με χρήση των αισθητήρων *inertial measurement units* σε ενεργό αθλητή κλασικού αθλητισμού στο αγώνισμα των 400ων μέτρων. Μετρήθηκε η απόδοση της αντοχής στην ταχύτητα και η διατήρηση της. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι ο αθλητής εκμεταλλευόταν περισσότερο την ομόκεντρη συστολή του μυός από την έκκεντρη. Πολλές οι έρευνες που πραγματοποιήθηκαν και σχετίζονται με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας. Για παράδειγμα, σε μια έρευνα του (Falbriard, Meyer, Mariani, Millet, & Aminian, 2018) μας αναλύουν ότι ήθελαν να παρατηρήσουν πως αλλάζει ο χρόνος επαφής, χρόνος πτήσης στο έδαφος κατά την κούραση που υπάρχουν οι δυνάμεις έκκεντρης και ομόκεντρης συστολής. Η έρευνα αφορούσε αθλητές ημιαντοχής, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα μεταξύ των αθλητών και αθλητριών πολλοί ήταν παγκόσμιας κλάσης, διαπίστωσαν από τα αποτελέσματα ότι, η σωματική διάπλαση αποτελεί βασικό παράγοντα της απόδοσης στον διασκελισμό και στην αντοχή.

Σε μια άλλη μελέτη ο de Ruiter, & van Dieën (2019) σκοπός της έρευνα τους ήταν να βρουν σπρίντερ 100 μέτρων και να τους δοκιμάσουν σε σπριντ 6 επαναλήψεων 60 μέτρα σε διαφορετικές εντάσεις για να παρακολουθήσουν το μήκος την συχνότητα του διασκελισμού, ακόμα να δουν που αλλάζουν οι έκκεντρες και ομόκεντρες συστολές του μυός. Η συγκεκριμένη έρευνα έδειξε ότι στην αρχή και έως για τους πρώτους 30 διασκελισμούς και η ομόκεντρη αλλά και η έκκεντρη συστολή του σκελετικού μυ συμμετέχει στο μυϊκό μηχανικό έργο αλλά μεγαλύτερη κυριαρχία έχει η ομόκεντρη συστολή. Αυτό διαπιστώσαμε κι εμείς στην δική μας έρευνα στα 400 μέτρα σημαντικό παράγοντα παίζει η ομόκεντρη συστολή έως τα πρώτα 350 μέτρα.

Όπως είδαμε και παραπάνω στην έρευνα αυτή αναλύσαμε τα 400 μέτρα ανά 50 μέτρα έτσι κι ο (Nummela, Vuorimaa, & Rusko, 1992). Έκαναν μια ανάλυση από τα 100 μέτρα έως τα 400 μέτρα για να εντοπίσουν μορφολογικά χαρακτηριστικά και την μεταβλητότητα των παραμέτρων ταχύτητας τρεξίματος (χρόνου επαφής και χρόνου πτήσης). Στο τομέα αυτό τα αποτελέσματα έδειξαν και στην παρούσα έρευνα αλλά και στην έρευνα του (Nummela et al., 1992) ότι η σημαντική κορύφωση της ταχύτητας του αθλητή υπήρξε μετά τα πρώτα 100 μέτρα καθώς ο χρόνος επαφής είχε μειωθεί για τα πρώτα 150 μέτρα και στα επόμενα 250 μέτρα υπήρχε μια αύξηση πάλι. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σημαντικός παράμετρος στα 400 μέτρα έχει ο χαμηλότερος χρόνος επαφής με αυξημένο το χρόνο πτήσης με άλλα λόγια να υπάρχει μια μείωση της ομόκεντρης δύναμης και μια ελάχιστη αύξηση της έκκεντρης δύναμης αλλά να μην υπερβαίνει την ομόκεντρη δύναμη στα 400 μέτρα (Πίνακας 2).

Σε μία άλλη μελέτη του (Mackala et al., 2013), ως κύριο σκοπό είχε την σύγκριση των μορφολογικών χαρακτηριστικών και την επίδραση του χρόνου επαφής και χρόνου πτήσης καθώς του μήκους και της συχνότητας διασκελισμού. Θα

αναφερθούμε ιδιαίτερα στο χρόνο επαφής και χρόνο πτήσης του αθλητή Usain Bolt σε έναν αγώνα δρόμου των 100 μέτρων μεταξύ των καλύτερων επιδόσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως στα περισσότερα τμήματα των 10 μέτρων του σπριντ 100 μέτρων, ο χρόνος επαφής στο έδαφος ήταν μικρότερος σε σχέση από την αρχή του τρεξίματος στα 100 μέτρα, ο χρόνος πτήσης ήταν σχεδόν σταθερός αλλά αυξημένος στην αρχή. Αυτές οι παράμετροι καθόρισαν σημαντικά την μέγιστή ταχύτητα του τρεξίματος του, επομένως διακρίνοντας τον Usain Bolt από τους άλλους φιναλίστ. Έτσι στην παρούσα έρευνα παρόλα τα περισσότερα μέτρα οι παράγοντες επίδρασης της επίδοσης είναι οι ίδιοι.

Όπως στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήσαμε αισθητήρες inertial measurement units προκειμένου να αναλύσουμε την απόδοση του αθλητή κατά την διάρκεια του παρατεταμένου σπριντ 400ων μέτρων, καθώς και να καθορίσουμε τον χρόνο επαφής με το έδαφος, το χρόνο πτήσης την συστολή του σκελετικού μυ καθώς και την μέγιστη ταχύτητα του. Έτσι και οι (Miranda-Oliveira, Branco, & Fernandes, 2023) χρησιμοποίησαν τους αισθητήρες (IMU) για την χρήση όλων αυτών των παραγόντων για την ανάλυση 40^{ων} σπριντ. Όσο αφορά τον χρόνο επαφής στο έδαφος όπως και στην δική μας έρευνα έτσι και σε αυτή στην αρχή τα πρώτα 10 μέτρα ήταν αυξημένος ο χρόνος επαφής όπως και ο χρόνος πτήσης, στην συνέχεια ο χρόνος επαφής μειώθηκε αλλά ο χρόνος πτήσης δεν είχε μεγάλη διαφορά στην μείωση του παρέμεινε σταθερός με μια μικρή πτώση. Η διαφορά φυσικά σε αυτή την έρευνα βρίσκεται και στα λιγότερα μέτρα ανάλυσης. Σε μια ακόμη έρευνα του (Alexander, 1989), σημαντικό παράγοντα είχαν το βάρος, το ύψος, η ηλικία και ο καλύτερος ατομικός χρόνος των 100 μέτρων για κάθε αθλητή σπρίντερ. Υπολογίστηκαν πολλές κινηματικές μεταβλητές όπως το χρόνο επαφής με το έδαφος, τον χρόνο πτήσης, την οριζόντια και κάθετη ταχύτητα και την γωνιακή κινηματική των άκρων. Σημειώθηκε για τους άνδρες και για τις γυναίκες ότι η ομόκεντρη συστολή των μυών ήταν μεγαλύτερη από τα πρώτα 10 μέτρα και για τα επόμενα 90 μέτρα, καθώς για τα τελευταία 10 μέτρα μεγαλύτερη αύξηση υπήρχε την έκκεντρη συστολή του μυός και στους άντρες και στις γυναίκες. Στην παρούσα έρευνα μας αξιολογήθηκε το ίδιο συμπέρασμα για τα πρώτα 350 μέτρα και η αλλαγή της έκκεντρη φανερώθηκε διακριτικά στα τελευταία 50 μέτρα.

Με δεδομένο ότι αναφερόμαστε σε αθλητές ταχύτητας «παρατεταμένου σπριντ» διαπιστώνουμε ότι σε αυτούς τους αθλητές που αργεί να μπει η έκκεντρη συστολή του μυός λόγω κόπωσης. Αλλά ξεκινούν με μικρή σχέση ομόκεντρης και σταδιακά αυξάνετε με βάση τα δικά μας αποτελέσματα αλλά και των παραπάνω ερευνών οι αθλητές αυτοί είναι γρηγορότεροι μετά τα πρώτα 100 μέτρα στους δρόμους των 400^{ων} μέτρων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έρευνα, αναλύθηκε ο δρόμος ταχύτητας των 400ων μέτρων. Η μέτρηση της απόδοσης έγινε για τα 400 μέτρα παρατεταμένου σπριντ κάθε 50 μέτρα. Συμπερασματικά θα λέγαμε έως τα πρώτα 150 μέτρα ο αθλητής έχει φτάσει την μέγιστη του ταχύτητα. Έπειτα υπήρχε μια σταδιακή πτώση της ταχύτητας συν νάμα και της απόδοσης του και παράλληλα υπήρχε μια σταδιακή πτώση του χρόνου επαφής με το έδαφος όπως και μείωση του χρόνου επίδοσης. Η πτώση του αθλητή που προήρθε από την έντονη κόπωση της ταχύτητας μετά την κορύφωση της ήταν σταδιακή και αργή λαμβάνοντας το συμπέρασμα ότι ο αθλητής μπορεί να αντιστέκετε στην κόπωση και να προσπαθεί να διατηρήσει αυξημένα τα επίπεδα του χρόνου επαφής και του χρόνου πτήσης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Blauberger, P., Horsch, A., & Lames, M. (2021). Detection of Ground Contact Times with Inertial Sensors in Elite 100-m Sprints under Competitive Field Conditions. *Sensors*, 21(21), 7331.

Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. *Sports medicine*, 13(6), 376-392.

Hunter, I., McLeod, A., Valentine, D., Low, T., Ward, J., & Hager, R. (2019). Running economy, mechanics, and marathon racing shoes. *Journal of Sports Sciences*, 37(20), 2367-2373.

Mero, A., P. V. Komi, and R. J. Gregor. "Biomechanics of sprint running. A review." *Sports medicine* 13.6 (1992): 376-392.

D. Johnson, M., & Buckley, J. G. (2001). Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting. *Journal of sports sciences*, 19(4), 263-272.

Edström, L., Mair, W. G., Wroblewski, R., Hovmöller, M., & Malm, G. (1986). Type distribution of muscle fibres and their ultrastructure related to intracellular elemental composition as revealed by energy dispersive X-ray microanalysis: a study of multicore myopathy. *Journal of the neurological sciences*, 76(1), 31-48.

Napier, C., Willy, R. W., Hannigan, B. C., McCann, R., & Menon, C. (2021). The effect of footwear, running speed, and location on the validity of two commercially available inertial measurement units during running. *Frontiers in Sports and Active Living*, 102.

Suzuki, Y., Hahn, M. E., & Enomoto, Y. (2022). Estimation of Foot Trajectory and Stride Length during Level Ground Running Using Foot-Mounted Inertial Measurement Units. *Sensors*, 22(19), 7129.

Mackala, K., & Mero, A. (2013). A kinematics analysis of three best 100m performances ever. *Journal of Human Kinetics*, 36(1), 149-160.

Johnson, C. D., Tenforde, A. S., Outerleys, J., Reilly, J., & Davis, I. S. (2020). Impact-related ground reaction forces are more strongly associated with some running injuries than others. *The American journal of sports medicine*, 48(12), 3072-3080.

Martín-Fuentes, I., & van den Tillaar, R. (2022). Relationship between Step-by-Step Foot Kinematics and Sprint Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6786.

Bergamini, E., Guillon, P., Camomilla, V., Pillet, H., Skalli, W., & Cappozzo, A. (2013). Trunk inclination estimate during the sprint start using an inertial

measurement unit: A validation study. *Journal of applied Bergamini anics*, 29(5), 622-627.

Κέλλης et al., (2009). Δρόμοι. In Βασιλική Μάνου. *Κλασικός Αθλητισμός στην Εκπαίδευση & τον Αθλητισμό* (pp. 31 – 56). Θεσσαλονίκη.

Σμυρνιώτης Σ, ΣμυρνιώτουΑθ. "Βιομηχανική του δρόμου." Αθήνα Τελέθριον, (1989)

Hanon, C., & Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 524-531.

Falbriard, M., Mohr, M., & Aminian, K. (2020). Hurdle Clearance Detection and Spatiotemporal Analysis in 400 Meters Hurdles Races Using Shoe-Mounted Magnetic and Inertial Sensors. *Sensors*, 20(2), 354.

Macadam, P., Cronin, J., Neville, J., & Diwald, S. (2019). Quantification of the validity and reliability of sprint performance metrics computed using inertial sensors: A systematic review. *Gait & posture*, 73, 26-38.

Nummela, A., Vuorimaa, T., & Rusko, H. (1992). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *Journal of sports sciences*, 10(3), 217-228.

Falbriard, M., Meyer, F., Mariani, B., Millet, G. P., & Aminian, K. (2018). Accurate estimation of running temporal parameters using foot-worn inertial sensors. *Frontiers in physiology*, 610.

Schmidt, M., Rheinländer, C., Nolte, K. F., Wille, S., Wehn, N., & Jaitner, T. (2016). IMU-based determination of stance duration during sprinting. *Procedia engineering*, 147, 747-752.

Norris, M., Anderson, R., & Kenny, I. C. (2014). Method analysis of accelerometers and gyroscopes in running gait: A systematic review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(1), 3-15.

Gurchiek, R. D., McGinnis, R. S., Needle, A. R., McBride, J. M., & van Werkhoven, H. (2017). The use of a single inertial sensor to estimate 3-dimensional ground reaction force during accelerative running tasks. *Journal of biomechanics*, 61, 263-268.

Aubol, K. G., & Milner, C. E. (2020). Foot contact identification using a single triaxial accelerometer during running. *Journal of Biomechanics*, 105, 109768.

- Bergamini, E., Picerno, P., Pillet, H., Natta, F., Thoreux, P., & Camomilla, V. (2012). Estimation of temporal parameters during sprint running using a trunk-mounted inertial measurement unit. *Journal of biomechanics*, 45(6), 1123-1126.
- Reenalda, J., Zandbergen, M. A., Harbers, J. H., Paquette, M. R., & Milner, C. E. (2021). Detection of foot contact in treadmill running with inertial and optical measurement systems. *Journal of Biomechanics*, 121, 110419.
- Lee, J. B., Mellifont, R. B., & Burkett, B. J. (2010). The use of a single inertial sensor to identify stride, step, and stance durations of running gait. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 270-273.
- Kuhman, D. J., Paquette, M. R., Peel, S. A., & Melcher, D. A. (2016). Comparison of ankle kinematics and ground reaction forces between prospectively injured and uninjured collegiate cross country runners. *Human movement science*, 47, 9-15.
- Washabaugh, E. P., Kalyanaraman, T., Adamczyk, P. G., Claflin, E. S., & Krishnan, C. (2017). Validity and repeatability of inertial measurement units for measuring gait parameters. *Gait & posture*, 55, 87-93.
- Ghattas, J., & Jarvis, D. N. (2021). Validity of inertial measurement units for tracking human motion: a systematic review. *Sports Biomechanics*, 1-14.
- de Ruiter, C. J., & van Dieën, J. H. (2019). Stride and step length obtained with inertial measurement units during maximal sprint acceleration. *Sports*, 7(9), 202.
- Millot, B., Blache, P., Dinu, D., Arnould, A., Jusseaume, J., Hanon, C., & Slawinski, J. (2023). Center of mass velocity comparison using a whole body magnetic inertial measurement unit system and force platforms in well trained sprinters in straight-line and curve sprinting. *Gait & Posture*, 99, 90-97.
- Donaldson, B. J., Bezodis, N. E., & Bayne, H. (2022). Inter-and intra-limb coordination during initial sprint acceleration. *Biology Open*, 11(10), bio059501.
- Kunz, H., & Kaufmann, D. A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British journal of sports medicine*, 15(3), 177-181.
- Reenalda, J., Maartens, E., Buurke, J. H., & Gruber, A. H. (2019). Kinematics and shock attenuation during a prolonged run on the athletic track as measured with inertial magnetic measurement units. *Gait & posture*, 68, 155-160.
- Santos, J. A., Affonso, H. O., Boullosa, D., Pereira, T. M., Fernandes, R. J., & Conceição, F. (2022). Extreme blood lactate rising after very short efforts in top-level track and field male sprinters. *Research in Sports Medicine*, 30(5), 566-572.
- Miranda-Oliveira, P., Branco, M., & Fernandes, O. (2023). Accuracy and Interpretation of the Acceleration from an Inertial Measurement Unit When Applied to the Sprint Performance of Track and Field Athletes. *Sensors*, 23(4), 1761.

Alexander, M. J. (1989). The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 14(3), 148-157.