



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



**Τίτλος: Επιτάχυνση στον εγκάρσιο, μέσο και επιμήκη
άξονα στην ταχύτητα 60m**

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή: Παναγιωτόπουλος Παναγιώτης, **ΑΕΜ:** 0715139

Επιστημονικώς Υπεύθυνος: Βουτσελάς Βασίλειος Ε.Ε.Π.

Τμήμα: Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού (Τ.Ε.Φ.Α.Α)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ταχύτητα ενός σώματος ορίζεται ο ρυθμός μεταβολής της θέσης του ως προς το χρόνο, όπως αυτή μετράτε σε ένα δεδομένο σύστημα συντεταγμένων. Στην κινηματική, είναι μέγεθος διανυσματικό, δηλαδή χαρακτηρίζεται τόσο από το μέτρο (μέγεθος) της, όσο και από τη φορά (κατεύθυνση) της. Η ταχύτητα και συγκεκριμένα η επιτάχυνση στην ταχύτητα, είναι βασικός παράγοντας επίδοσης σε πολλά αγωνίσματα όπως το ποδόσφαιρο, το ράγκμπι και ο κλασικός αθλητισμός. Ειδικά στο τελευταίο είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι αθλητές του στίβου, και ειδικότερα οι σπρίντερ, εκτελούν σπριντ στην μέγιστη ταχύτητα τους σε αντίθεση με τα άλλα δύο σπορ που αναφέρθηκαν.

Πρόσφατα, ερευνητές ανακάλυψαν πως ο οριζόντιος δείκτης της προκύπτουσας (δηλαδή συνολικής) δύναμης αντίδρασης τους εδάφους (GRF) ήταν το βασικό μηχανικό χαρακτηριστικό της επιτάχυνσης του σπριντ, ανεξαρτήτως από το επίπεδο ικανοτήτων των αθλητών (Hunter et al., 2005: Kugler and Janshen, 2010: Morin et al., 2011: Morin et al., 2012: Kawamori et al., 2013: Otsuka et al., 2014: Rabita et al., 2015). Σαφώς κι άλλοι παράγοντες παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη της ταχύτητας, όπως το ύψος, βάρος και άλλα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του αθλητή. Γνωρίζουμε πως υπάρχουν τριών ειδών μυϊκές ίνες, οι τύπου I (βραδείας συστολής, οξειδωτικές), οι τύπου IIa (ταχείας συστολής, οξειδωτικές) και οι τύπου IIb (ταχείας συστολής, γλυκολητικές) οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκτέλεση των σπριντ, με κυριότερο πρωταγωνιστή τις τύπου IIb. Οι διαφορές αυτών των τύπων τις βρίσκουμε στην διάμετρο τους και στην ταχύτητα συστολής. Όπως είναι λογικό οι αθλητές με μεγαλύτερο αριθμό λευκών μυϊκών ινών (τύπου II) έχουν ένα προβάδισμα όσο αφορά τους χρόνους στις ταχύτητες.

Υπάρχουν δύο τυπικοί τρόποι λειτουργίας κατά τη διάρκεια της φάσης της επιτάχυνσης στο μέγιστο σπριντ. Κατά την αρχική φάση της επιτάχυνσης, ειδικά στο πρώτο βήμα, οι σπρίντερ έχουν μια βαθέως κρεμόμενη στάση (δηλαδή ο κορμός τους γέρνει μπροστά) το οποίο βοηθάει καθώς όλο το κέντρο της βαρύτητας είναι μετατοπισμένο μπροστά από τη βάση στήριξης και πιο κοντά στο σημείο παραγωγής της δύναμης εδάφους (Debaere et al., 2013b: Kugler and Janshe, 2010). Σε αντίθεση, στην μέγιστη ταχύτητα, οι σπρίντερ υιοθετούν μια πιο ορθή

στάση, καθώς δεν μπορούν να ασκήσουν τέτοια δύναμη που να ακυρώνει τη ροπή βαρύτητας προς τα κάτω (Bosch and Klomp, 2005; Kunz and Kaufmann, 1981). Επίσης, υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στις χωροχρονικές μεταβλητές του σπριντ από το πρώτο βήμα έως τη φάση της μέγιστης ταχύτητας. Η απόσταση των βημάτων αυξάνεται (Maćkala, 2007), ο χρόνος στήριξης μειώνεται και ο χρόνος απογείωσης αυξάνεται με μια αύξηση στην δρομική ταχύτητα καθ'όλη την διάρκεια της επιτάχυνσης σε μέγιστο σπριντ (Nagahara et al., 2014). Επιπλέον, διάφοροι τρόποι κινήσεων χρειάζονται για να επιτευχθεί η μέγιστη ταχύτητα σωστά, πχ κατά την διάρκεια της επιταχύνσεως, η ανάπτυξη της ταχύτητας βασίζεται κυρίως στις δυνατές εκτάσεις όλων των μεγάλων αρθρώσεων στα κάτω άκρα (Johnson and Buckley, 2001), και όταν ο αθλητής φτάσει μεγαλύτερες ταχύτητες, είναι απαραίτητο να περιστρέψει τα πόδια του προς τα μπρος και προς τα πίσω, ως προς την άρθρωση του ισχίου, και αυτό περιορίζει περαιτέρω την αύξηση του σπριντ (Van Ingen Schenau et al., 1994).

Σε αυτήν την έρευνα, συλλέχθηκαν δεδομένα από συμμετέχοντες ώστε να φανούν οι δείκτες των μετατοπίσεων των ισχίων κατά την εκτέλεση του δρόμου ταχύτητάς. Ο σκοπός αυτής της έρευνας είναι να βρεθεί η συσχέτιση μεταξύ της μετατόπισης των ισχίων στους τρεις άξονες (τον μετωπιαίο, τον οβελιαίο και τον εγκάρσιο) με την ταχύτητα στα 60μ.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ: Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 45 νεαροί ερασιτέχνες αθλητές, ηλικίας 18 ± 1.4 yrs, σωματικού βάρους 64.64 ± 13.39 kg, σωματικού ύψους 1.71 ± 0.11 cm. Όλοι οι ασκούμενοι μας είχαν την εμπειρία σχετικά με την σωστή τεχνική σε ικανοποιητικό βαθμό των δεξιοτήτων του πρωτοκόλλου που ακολουθήθηκε, δηλαδή σωστή τεχνική τρεξίματος και άλματος Counter Movement Jump (CMJ) ώστε τα αποτελέσματα να είναι ερευνητικά αντιμετωπίσιμα.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ: Στην πρώτη επίσκεψη των συμμετεχόντων στο στάδιο μετρήσαμε τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους όπως: ο δείκτης μάζας σώματος, το ύψος, το βάρος, το ποσοστό λίπους στο σώμα, το άνοιγμα χεριών και η ευλυγισία (sit and reach test).

Στην δεύτερη επίσκεψη οι συμμετέχοντες εξοικειώθηκαν με τον εξοπλισμό των μετρήσεων και τον χώρο που διεξήχθησαν οι μετρήσεις. Δηλαδή στην τοποθέτηση του επιταχυνσιόμετρου που βρισκόταν στην ζώνη που θα τοποθετούνταν στο ύψος της λεκάνης και στην τοποθέτηση του βατήρα που αποτέλεσαι κοινό σημείο εκκίνησης για όλους τους συμμετέχοντες. Έπειτα, ο συμμετέχοντας τοποθετείται στον βατήρα αφού πρώτα έχει τοποθετήσει τα blocks (διαφορετικό σημείο για κάθε συμμετέχοντα) στο σημείο που του επιτρέπουν την ταχύτερη για εκείνον εκκίνηση. Στην συνέχεια, έπειτα από εντολή του ερευνητή, του ζητείται του συμμετέχοντα να μείνει σταθερός μπροστά από τον βατήρα ώστε να γίνει εκμηδένιση του επιταχυνσιόμετρου και η σωστή σύνδεση του με τον υπολογιστή. Έπειτα, ο ερευνητής που χειρίζοταν τον υπολογιστή (ρόλος αφέτη) έδινε το παράγγελμα (λάβετε θέσεις, έτοιμοι, πάμε). Ο συμμετέχων, αφού πρώτα έφερνε τη λεκάνη του ψηλά (περίπου στις 90°) καλούταν να ξεκινήσει τον δρόμο των 60μ. αφού άκουγε τον ειδικό ήχο από τον σύστημά των φωτοκυττάρων. Η χρονομέτρηση των 60μ έγινε με την χρήση φωτοκυττάρων που ήταν τοποθετημένα στα 30μ και στα 60μ. Έγινε συλλογή δεδομένων από το επιταχυνσιόμετρο (XSENS accelerometer) που ήταν τοποθετημένο στη ζώνη. Η διαδικασία συνεχίστηκε έτσι με κάθε συμμετέχοντα.

ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟ: Η ανίχνευση της επιτάχυνσης βασίζεται στην αρχή της διαφορικής χωρητικότητας (Cheung et al., 2011; Gorman et al., 2014). Η διαφορική χωρητικότητα προκύπτει από την κίνηση που προκαλείται από την

επιτάχυνση ενός ειδικού στοιχείου σιλικόνης που βρίσκεται μέσα σε ένα τσιπ μικροηλεκτρονικών συστημάτων και μετράται σε τρεις ορθογώνιους άξονες (εγκάρσιο x , κατακόρυφο y και προσθοπίσθιος z). Όλη αυτή η κίνηση μετριέται σε από ηλεκτρόδια. Το αναλογικό σήμα περνάει από μια σειρά σταδίων επεξεργασίας σήματος και μετατρέπεται σε ψηφιακό. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να μένουν σταθεροί πριν κάθε προσπάθεια ούτως ώστε το επιταχυνσιόμετρο να μηδενίζεται σωστά και να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα. Τοποθετήθηκε έτσι ώστε ο άξονας Y να δείχνει τις μετατοπίσεις στον κατακόρυφο άξονα, ο X στον εγκάρσιο και ο Z στον προσθοπίσθιο.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: Τα δεδομένα μας προήλθαν από το επιταχυνσιόμετρο XSENS και από τα φωτοκύτταρα που ήταν τοποθετημένα στα 30μ και στα 60μ. Αφού συλλέξαμε όλα τα δεδομένα, δηλαδή τα ψηφιακά δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου και τους χρόνους στα 30μ και 60μ των συμμετεχόντων τα περάσαμε όλα στο πρόγραμμα Excel. Τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου μετατράπηκαν σε μορφή text χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MT Manager 2019.0.1 ώστε να είναι χρησιμοποιήσιμα. Οι χρόνοι μετατράπηκαν, για ευκολία, από seconds σε milliseconds.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ: Μετρήθηκαν οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις στο άξονα X , Y και Z στη διάρκεια του πρώτου μισού του δρόμου ταχύτητας (0-30μ), στη διάρκεια του δεύτερου μισού (30μ-60μ) καθώς και τις τιμές ολόκληρου του δρόμου ταχύτητας 60μ.. Εκτελέστηκε μια συσχέτιση κατά Pearson ώστε να βρούμε την στατιστική σημαντικότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων.

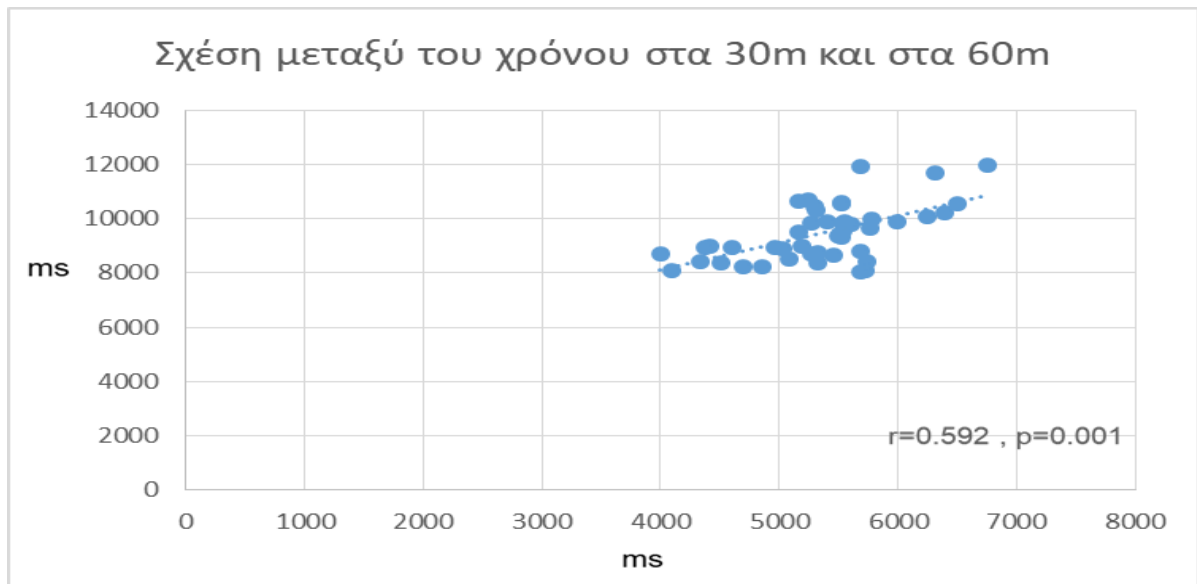
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων στα 60m και στις μετατοπίσεις της λεκάνης στους τρεις άξονες. Πιο συγκεκριμένα, υπήρξε συσχέτιση του χρόνου μεταξύ ταχύτητας στα πρώτα 30m με τον χρόνο στα 60m ($r=0.592$, $p=0.001$). Ακόμα, βρέθηκε υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ του χρόνου των δευτέρων 30m και του συνολικού χρόνου στα 60m ($r= 0.804$, $p= 0,000$).

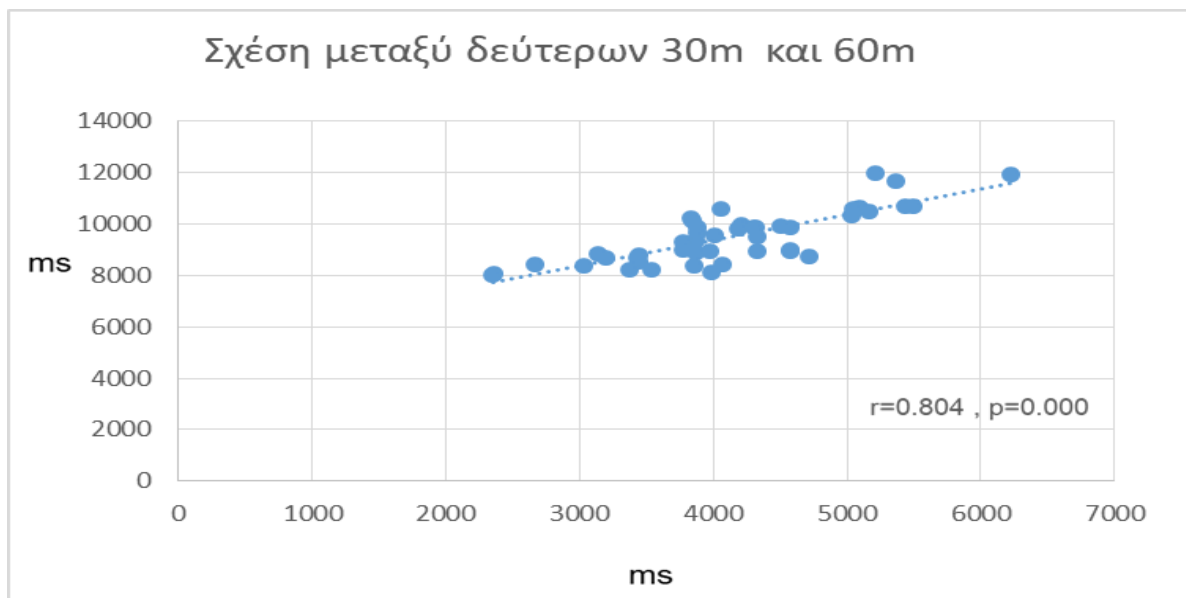
Επίσης, υπήρξε συσχέτιση μεταξύ του χρόνου στα πρώτα 30m, στις τιμές (STDEV) στα πρώτα 30m του εγκάρσιου άξονα X ($r=-0.428$, $p=0.003$) και στις τιμές (STDEV) στα πρώτα 30m του προσθοπίσθιου άξονα Z ($p=0.403$, $r=0.006$). Επιπρόσθετα, υπήρξε συσχέτιση ανάμεσα στον χρόνο των δευτέρων 30m και των τιμών (STDEV) του εγκάρσιου άξονα X ($r=-0.393$, $p=0.007$). Επιπλέον, υπήρξε συσχέτιση μεταξύ του συνολικού χρόνου των 60m και των τιμών του εγκάρσιου άξονα X στα 60m ($r=-0.617$, $p=0.000$).

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων.

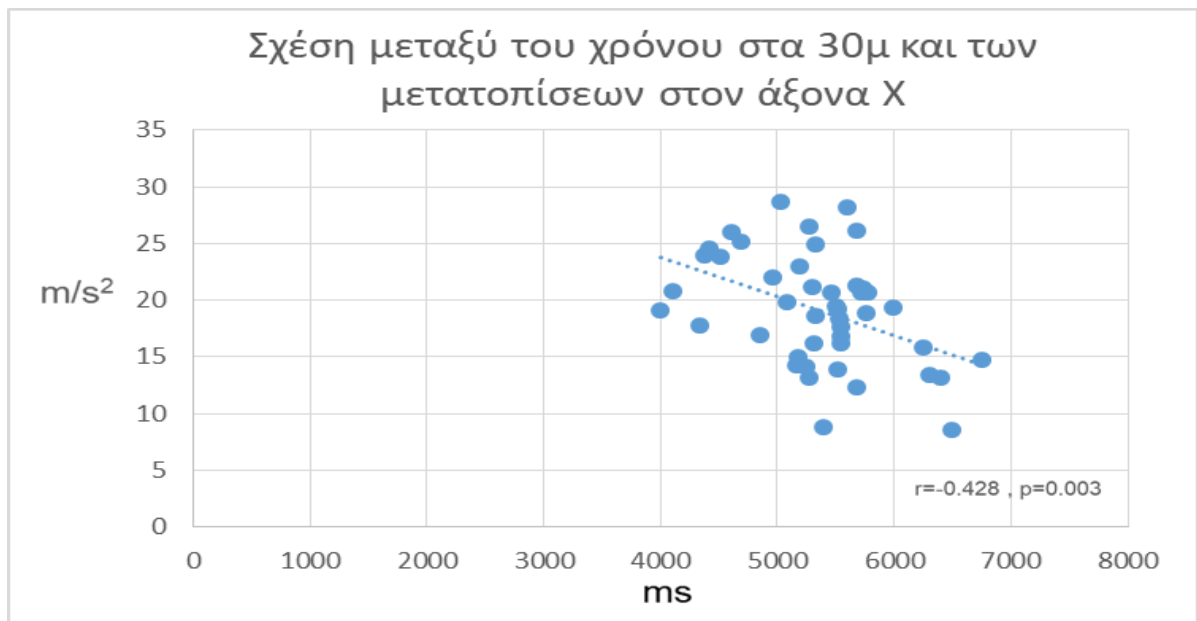
Παράμετροι	MEAN	ST DEVIATION
Συμμετέχοντες (N)	45	
Προπονητική Ηλικία (yrs)	8.25	4.50
Βάρος (kg)	66.84	11.80
Ύψος (cm)	1.71	0.10
Χρόνος στα 30μ (ms)	5353.33	611.48
Χρόνος στα 30-60μ (ms)	4119.11	828.74
Χρόνος στα 60μ (ms)	9472.44	1028.48



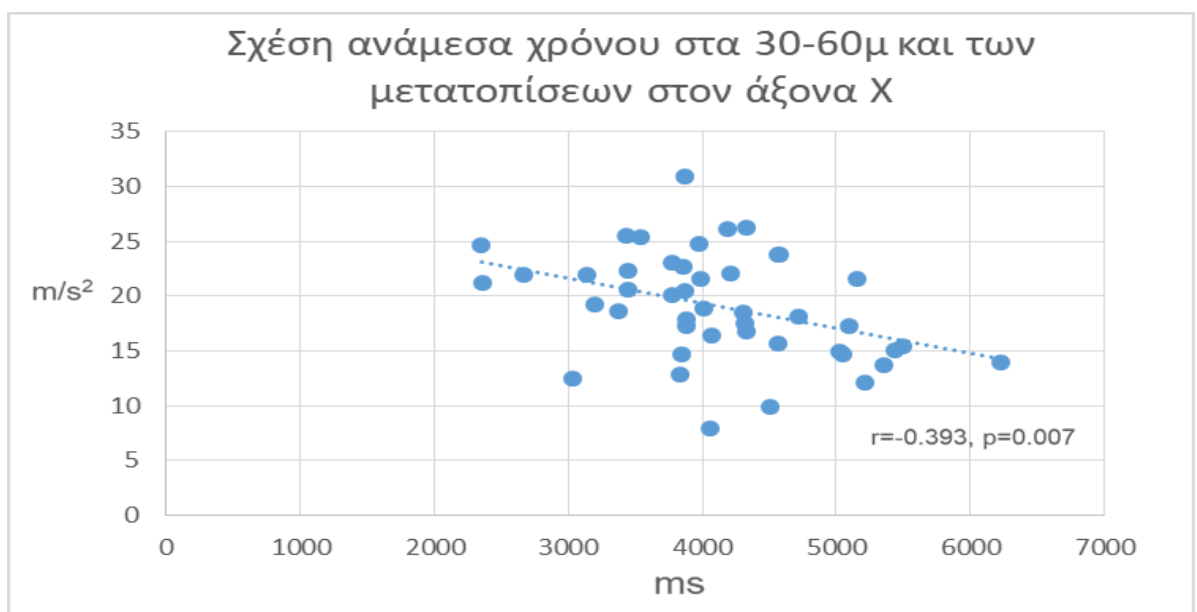
Γράφημα 1. Αυτό το γράφημα δείχνει την συσχέτιση στους χρόνους στα πρώτα 30m και στα 60m σε milliseconds (ms).



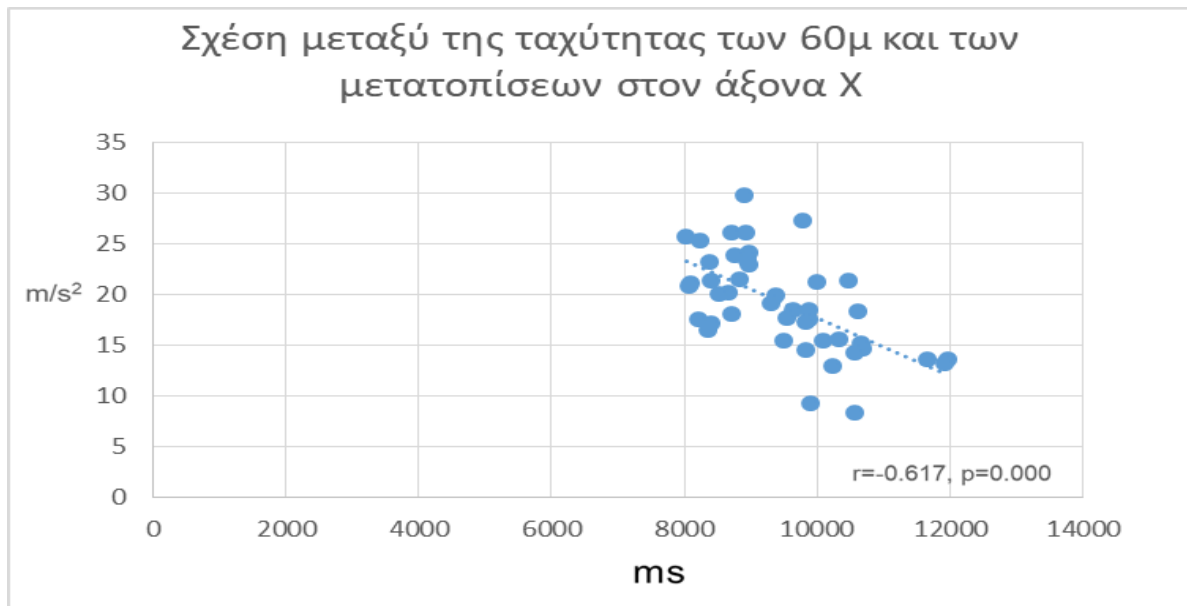
Γράφημα 2. Αυτό το γράφημα δείχνει την συσχέτιση στους χρόνους στα δεύτερα 30m και στα 60m σε milliseconds (ms).



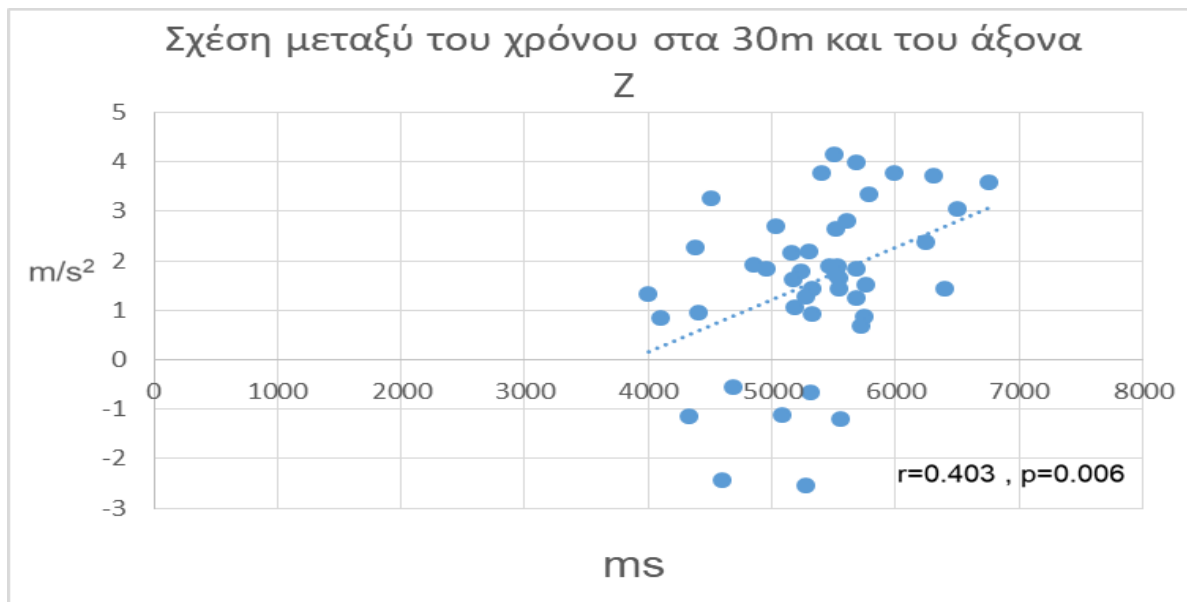
Γράφημα 3. Σε αυτό το γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της διακύμανσης των τιμών (STDEV) της επιτάχυνσης (m/s²) στον εγκάρσιο άξονα (X) των συμμετεχόντων και στους χρόνους (ms) στα πρώτα 30m.



Γράφημα 4. Σε αυτό το γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της διακύμανσης των τιμών (STDEV) της επιτάχυνσης (m/s²) στον εγκάρσιο άξονα (X) των συμμετεχόντων και στους χρόνους (ms) στα δεύτερα 30m.



Γράφημα 7. Σε αυτό το γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της διακύμανσης των τιμών (STDEV) της επιτάχυνσης (m/s^2) στον εγκάρσιο άξονα (X) των συμμετεχόντων και στους χρόνους (ms) στα 60m.



Γράφημα 6. Σε αυτό το γράφημα παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της διακύμανσης των τιμών (STDEV) της επιτάχυνσης (m/s^2) στον προσθιοπίσθιο άξονα (Z) των συμμετεχόντων και στους χρόνους (ms) στα πρώτα 30m.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στατιστικά σημαντικότερη ήταν η θετική συσχέτιση μεταξύ των χρόνων στα δεύτερα 30m και στα 60m. Συμπερασματικά, όσοι συμμετέχοντες είχαν καλό χρόνο στο δεύτερο 30m επέτυχαν και πιο γρήγορο χρόνο στα 60m από ότι οι συμμετέχοντες που είχαν καλό χρόνο στα πρώτα 30m. Γεγονός που δείχνει ότι είναι σημαντικότερη για τους αθλητές που συμμετείχαν στην ερευνά μας η ικανότητα διατήρησης της ταχύτητας παρά της μέγιστης επιτάχυνσης.

Επίσης παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στον χρόνο στα πρώτα 30m και στις τιμές STDEV του εγκάρσιου άξονα. Αυτό δείχνει ότι όσο καλύτερος ο χρόνος στα πρώτα 30m τόσο μεγαλύτερο το εύρος των τιμών της επιτάχυνσης στον εγκάρσιο άξονα, γεγονός που δείχνει ότι για να επιτευχθεί καλύτερος χρόνος χρειάζεται μεγαλύτερες μεταβολές στον εγκάρσιο άξονα και μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας. Περισσότερες μεταβολές της επιτάχυνσης στον εγκάρσιο άξονα είχαμε κατά την διάρκεια των πρώτων 30m παρά στα δεύτερα 30m. Αυτό πιθανόν να οφείλεται λόγω της στάσης του σώματος κατά την επιτάχυνση (γιατί ο κορμός είναι γυρτός προς τα μπροστά), όπου χρειάζεται μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας για τα πρώτα μέτρα μετά από τον βατήρα, εξού και περισσότερες μεταβολές στον εγκάρσιο άξονα λόγω των αμφίπλευρα παραγόμενων δυνάμεων (Baumgart et al., 2018).

Επίσης η θετική συσχέτιση ανάμεσα στους χρόνους και στις τιμές STDEV στον προσθοπίσθιο άξονα στα πρώτα 30m (το οποίο σημαίνει μικρό εύρος τιμών στο προσθοπίσθιο άξονα), οφείλεται στο ότι στον αθλητή, λόγω της στάσης του σώματος του που είναι σκυμμένος μπροστά κατά τη φάση της επιτάχυνσης, δεν επιτρέπονται μεγάλες μετατοπίσεις στον προσθοπίσθιο άξονα.

Πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι οι συμμετέχοντες που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα ήταν αρχάριοι αθλητές και δεν γνώριζαν καλά την τεχνική εκκίνησης από βαθύρα στην οποία χρειάζεται ειδική προπόνηση, όπως και την ικανότητα αντίδρασης (στην προκειμένη, στο ηχητικό ερέθισμα της εκκίνησης) και την ειδική τεχνική της σωστής επιτάχυνσης.

Προτάσεις

Η ικανότητα ανάπτυξης της ταχύτητας είναι η ικανότητα της μέγιστης ταχύτητας σε όσο πιο σύντομο δυνατό χρόνο. Για να επιτευχθεί η βελτίωση της ικανότητας της ανάπτυξης ταχύτητας προτείνονται:

- Ασκήσεις επιτάχυνσης (π.χ. διάφορες θέσεις του σώματος στην αφετηρία και ταχύτητα 10-20 μ.).
- Προπόνηση αλτικότητας (π.χ. ασκήσεις πλειομετρικές, όπως βαθιά καθίσματα, άλματα, αναπηδήσεις).
- Προπονήσεις δύναμης (π.χ. βαθιά καθίσματα, άλματα, ασκήσεις ταχυδύναμης).

Επίσης πολύ σημαντική είναι και η ικανότητα διατήρησης της ταχύτητας, δηλαδή να κρατάει ο αθλητής την ταχύτητα που έχει αναπτύξει σταθερή για όσο περισσότερο χρόνο μπορεί. Μπορεί να βελτιωθεί με :

- Ασκήσεις απόλυτης ταχύτητας π.χ. 30 μ. ταχύτητα με κίνηση.
- Ασκήσεις ταχύτητας 100% μ. και μετά 4-5 γρήγορα βήματα.

- Ταχύτητες με αντίσταση π.χ. πίσω από αυτοκίνητο, λάστιχο, ταχύτητα σε κατηφόρα (Newsholme et al., 1994: Dick, 1989: Dintiman et al., 1988: Harre, 1982).

Συμπεράσματα

- Όσοι συμμετέχοντες είχαν καλό χρόνο στο δεύτερο μισό του δρόμου ταχύτητας 60m είχαν και καλύτερο συνολικό χρόνο. Πιθανότατα αυτό να οφείλεται τόσο στην έλλειψη της γνώσης της τεχνικής της εκκίνησης από βατήρα όσο και της τεχνικής κατά τη φάση της επιτάχυνσης από τους συμμετέχοντες στην έρευνα.
- Οι μεγαλύτερες τιμές της επιτάχυνσης στον εγκάρσιο άξονα κατά την διάρκεια του πρώτου μισού του δρόμου ταχύτητας 60m, παρά στο δεύτερο μισό, μας δείχνει τις απότομες διακυμάνσεις στον εγκάρσιο άξονα που εκτελεί το σώμα στην προσπάθεια του να επιταχυνθεί στο χώρο γρήγορα.
- Υπήρξε μια θετική συσχέτιση ανάμεσα στους χρόνους στα πρώτα 30m και στις τιμές STDEV στον προσθιοπίσθιο άξονα. Πιθανό αυτό να οφείλεται στο ότι κατά την εκκίνηση ο αθλητής φέρνει το σώμα του προς τα μπροστά (λόγω των δυνάμεων που παράγονται κατά την εκκίνηση), αλλά μόλις ο κορμός του ευθυγραμμιστεί οι μεταβολές στην επιτάχυνση στον προσθιοπίσθιο άξονα μειώνονται.
- Θα ήταν χρήσιμο στο μέλλον να διερευνηθούν περαιτέρω τα ευρήματα αυτά, με μια καινούρια έρευνα σε αθλητές δρόμων ταχύτητας, ώστε να διερευνηθούν τα αποτελέσματα.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baumgart, C., Freiwald, J., Hoppe, M.W., (2018). Sprint Mechanical Properties of Female and Different Aged Male Top-Level German Soccer Players, *Sports (Basel)*, 6(4):161.
- Bosch F., Klomp R. (2005). Running techniques. *Running: Biomechanics and Exercise Physiology Applied in Practice* Bosch F, Klomp R, editors. , (translated by D. W. Boer-Stallman), 119–188 Philadelphia, PA: Elsevier, (original work published in 2001).
- Cheung VH, Gray L, Karunanithi M. (2011). Review of accelerometry for determining daily activity among elderly patients. *Arch Phys Med Rehabil.* ;92:998–1014.
- Debaere S., Delecluse C., Aerenhouts D., Hagman F., Jonkers I. (2013b). From block clearance to sprint running: characteristics underlying an effective transition. *J. Sports Sci.* 31, 137–149.
- Dick, F. (1989) *Sports Training Principles*, A&C Black, London.
- Dintiman, g, and Ward, R. (1988). *Sports Speed*, Leisure Press, Champaign, Illinois.
- Gorman E, Hanson HM, Yang PH, Khan KM, Liu-Ambrose T, Ashe MC. Accelerometry analysis of physical activity and sedentary behavior in older adults: a systematic review and data analysis. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2014;11:35–49.
- Harre, D. (1982). *Principles of Sports Training*, Sportvelug, Berlin.

- Hunter J. P., Marshall R. N., McNair P. J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J. Appl. Biomech.* 21, 31–43.
- Johnson M. D., Buckley J. G. (2001). Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting. *J. Sports Sci.* 19, 263–272
- Kawamori N., Nosaka K., Newton R. U. (2013). Relationships between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team-sport athletes. *J. Strength Cond. Res.* 27, 568–573.
- Kugler F., Janshen L. (2010). Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J. Biomech.* 43, 343–348.
- Kunz H., Kaufmann D. A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Br. J. Sports Med.* 15, 177–181.
- Maćkala K. (2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Studies in Athletics* 22, 7–16.
- Morin J.-B., Bourdin M., Edouard P., Peyrot N., Samozino P., Lacour J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112, 3921–3930.
- Morin J.-B., Edouard P., Samozino P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43, 1680–1688.
- Nagahara R., Naito H., Morin J. B., Zushi K. (2014). Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *Int. J. Sports Med* (Epub ahead of print).

- Newsholme, E., Leech, T. and Duetet, G. (1994). *Keep on Running*, John Wiley and Sons, Chichester.
- Otsuka M., Shim J. K., Kurihara T., Yoshioka S., Nokata M., Isaka T. (2014). Effect of expertise on 3D force application during the starting block phase and subsequent steps in sprint running. *J. Appl. Biomech.* 30, 390–400.
- Rabita G., Dorel S., Slawinski J., Sàez De Villarreal E., Couturier A., Samozino P., et al. . (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 25, 583–594.
- van Ingen Schenau G. J., de Koning J. J., de Groot G. (1994). Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Med.* 17, 259–275