



---

**Επαναληπτικότητα των Κυματομορφών της Δύναμης Αντίδρασης του Εδάφους  
κατά την Εκκίνηση Δρόμων Ταχύτητας**

Νικόλαος Αγγελούσης, Σπύρος Μεθενίτης, Βασίλης Γούργουλης, Θεόφιλος Πυλιανίδης, & Ερασμία Γιαννακού  
ΤΕΦΑΑ, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

---

**Περίληψη**

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν μελέτη της επαναληπτικότητας των τιμών των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στις εκκινήσεις δρόμων ταχύτητας. Στην έρευνα συμμετείχαν 10 αθλητές δρόμων ταχύτητας ηλικίας 20-24 ετών, που εκτέλεσαν δέκα (10) διαδοχικές εκκινήσεις σε βατήρα εκκίνησης δρόμων ταχύτητας. Ο βατήρας στερεώθηκε πάνω σε πιεζοηλεκτρικό δυναμοδάπεδο Kistler που κατέγραφε τη δύναμη αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση, με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz. Η καταγραφή των δεδομένων από το δυναμοδάπεδο ενεργοποιούνταν μέσω ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος που λειτουργούσε με το πάτημα του διακόπτη της συσκευής που παρήγαγε το ηχητικό σήμα για την εκκίνηση. Για τον προσδιορισμό της μεταβλητότητας υπολογίστηκε ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of variation-CV) των τιμών των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο σύνολο των προσπαθειών για κάθε εξεταζόμενο. Επίσης, υπολογίστηκε ο συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης (coefficient of multiple correlation - CMC) για τον προσδιορισμό της επαναληπτικότητας του μέσου όρου των δέκα προσπαθειών. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι οι κυματομορφές της προσθιοπίσθιας και κατακόρυφης συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους παρουσιάζουν πολύ μεγάλη επαναληπτικότητα, σε κάθε περίπτωση. Αντίθετα, η εγκάρσια συνιστώσα βρέθηκε να μην χαρακτηρίζεται πάντα από μεγάλη επαναληπτικότητα. Κατά συνέπεια, κατά τη δυναμογράφιση εκκινήσεων δρόμων ταχύτητας προτείνεται να εκτελούνται περισσότερες από μια προσπάθειες και να υπολογίζεται μια μέση κυματομορφή για κάθε συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, ως αντιπροσωπευτικότερη της δυναμικής συμπεριφοράς του κάθε αθλητή στην κάθε μέτρηση.

Λέξεις κλειδιά: αξιοπιστία, δύναμη αντίδρασης εδάφους, εκκίνηση.

---

**Repeatability of Ground Reaction Force Waveforms in Sprint Starts**

Nickos Aggeloussis, Spiros Methenitis, Vassilis Gourgoulis, Theofilos Pilianidis & Erasmia Giannakou  
Department of Physical Education and Sports Sciences, Democritus University of Thrace, Komotini, Hellas

**Abstract**

The purpose of this research was to study the repeatability of ground reaction force in sprint starts. Ten athletes, aged between 20 and 24 years, performed 10 successive sprint starts on a starting block. The starting block was located on a piezoelectric force platform which recorded the ground reaction forces at a sampling frequency of 1000Hz. An electrical circuitry served as a trigger to the force platform and functioned with the press of a contact switch that also produced the starting sound. The coefficient of variation (CV) was used to determine the variability of the ground reaction force components between all the trials for each subject. The coefficient of multiple correlation (CMC) was also computed to examine the repeatability of the mean ground reaction waveform for each of its components. The results revealed that the waveforms of the vertical and anterior-posterior components of the ground reaction force showed excellent repeatability in any case. However, the medio-lateral ground reaction force did not always present high repeatability. In conclusion, during the dynamography of a sprint start it is suggested that more than one trial has to be performed and a mean waveform should be calculated for each ground reaction force component, to represent the athlete's dynamic behavior in each measurement.

Key words: : *reliability, ground reaction force, sprint start*

## Εισαγωγή

Η εκκίνηση στους δρόμους ταχύτητας αποτελεί σημαντικό παράγοντα μεγιστοποίησης της επίδοσης των αθλητών (Harland & Steele, 1997). Ειδικότερα, για το αγώνισμα των 100m ο χρόνος της ώθησης στον βατήρα αποτελεί περίπου το 5% του συνολικού χρόνου του αγωνίσματος (Tellez & Doolittle, 1984). Η δύναμη αντίδρασης του εδάφους (GRF), ως αποτέλεσμα των δυνάμεων που ασκούν τα πόδια του δρομέα στα μπλοκ του βατήρα, αποτελεί το αίτιο της προώθησης του σώματος του αθλητή κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας. Η GRF, ως διάλυμα, αναλύεται συνήθως σε τρεις συνιστώσες: την κατακόρυφη, την προσθιοπίσθια και την εγκάρσια. Οι τιμές των τριών συνιστωσών μπορούν να καταγραφούν από ειδικές πλατφόρμες μέτρησης, γνωστές ως δυναμοδάπεδα, που χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία.

Η αξιοπιστία του οργανού μέτρησης όμως, αποτελεί απλά την αναγκασία κι όχι την ικανή συνθήκη για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας μιας μετρούμενης παραμέτρου, καθώς στη διαδικασία της μέτρησης κάθε παράμετρο υπεισέρχονται κι άλλοι παράγοντες. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται παράγοντες όπως είναι η τοποθέτηση και χρήση του οργανού μέτρησης, οι γνώσεις του εξεταστή και η τυποποίηση των μετρήσεων, αλλά και η ικανότητα του εξεταζόμενου να παράγει τις ίδιες τιμές μιας μετρούμενης παραμέτρου σε δύο ή περισσότερες διαδοχικές προσπάθειες. Έτσι, ακόμη κι αν η επίδραση όλων των υπολοίπων παραγόντων διατηρηθεί σταθερή σε δύο διαδοχικές μετρήσεις της GRF κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας, με δεδομένο ότι κανείς αθλητής δεν μπορεί να επαναλαμβάνει μια κίνηση με τον ίδιο ακριβώς τρόπο περισσότερο από μια φορές, οι τιμές των συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους που θα καταγραφούν στις δύο προσπάθειες δεν θα είναι ακριβώς ίδιες. Σε κάθε περίπτωση όμως δεν αναμένεται να παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές.

Ο βαθμός στον οποίο επαναλαμβάνονται οι τιμές της GRF κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας, σε διαφορετικές προσπάθειες ενός αθλητή, χωρίς να μεσολαβεί κάποιου είδους παρέμβαση, καλείται επαναληπτικότητα. Μεγάλη επαναληπτικότητα σημαίνει ότι οι τιμές της GRF δεν μεταβάλλονται σημαντικά στη διάρκεια των διαδοχικών προσπαθειών εκκίνησης, ενώ αντίθετα χαμηλή επαναληπτικότητα σημαίνει ότι υπάρχουν σημαντικές μεταβολές τους από προσπάθεια σε προσπάθεια. Είναι ευνόητο ότι αν η GRF, αλλά και κάθε εμβιομηχανική παράμετρος, κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας δεν παρουσιάζει μεγάλη επαναληπτικότητα, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τη μελέτη της τεχνικής του αθλητή, ούτε για την

αξιολόγηση προπονητικών προγραμμάτων για τη βελτίωση της τεχνικής του. Ιδιαίτερα στην περίπτωση που μια μη επαναλαμβανόμενη παράμετρος χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση ενός προπονητικού προγράμματος, είναι πολύ πιθανόν οι όποιες διαφοροποιήσεις των τιμών της εν λόγω παραμέτρου πριν και μετά από το προπονητικό πρόγραμμα να μην οφείλονται στο ίδιο το πρόγραμμα, αλλά απλά στο ότι μετρήθηκε σε δύο διαφορετικές προσπάθειες του ίδιου αθλητή. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που προκαλεί η μικρή επαναληπτικότητα μιας παραμέτρου, συνήθως η μέτρηση της γίνεται σε περισσότερες από μια προσπάθειες, σε κάθε μέρα μέτρησης και στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών της παραμέτρου στις διαδοχικές προσπάθειες, ως αντιπροσωπευτική τιμή της παραμέτρου ια τον συγκεκριμένο εξεταζόμενο (Diss, 2001).

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι η επαναληπτικότητα των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την ποιότητα των ερευνών που στοχεύουν στην αξιολόγηση προπονητικών προγραμμάτων για τη βελτίωση της τεχνικής στις εκκινήσεις δρόμων ταχύτητας. Παρόλα αυτά, στη διεθνή βιβλιογραφία δεν κατέστη δυνατός ο εντοπισμός κάποιας μελέτης που να παρέχει δείκτες επαναληπτικότητας των χαρακτηριστικών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας. Αντίθετα, εντοπίστηκαν μελέτες της επαναληπτικότητας της GRF κατά το τρέξιμο. Η Diss (2001) μελέτησε την επαναληπτικότητα διακριτών παραμέτρων της GRF (π.χ. μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους), κατά το τρέξιμο με ταχύτητες μεταξύ 3.5m/s και 4.0m/s. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής επαναληπτικότητας του μέσου όρου των τιμών κάθε παραμέτρου σε 10 διαδοχικές προσπάθειες ήταν μεγαλύτερος από 0.90. Αντίθετα, η επαναληπτικότητα των τιμών των ιδίων παραμέτρων σε μια μόνο προσπάθεια, δηλαδή ο βαθμός στον οποίο εκτιμάται ότι οι τιμές της μιας προσπάθειας μπορούν να επαναληφθούν σε μια άλλη τυχαία προσπάθεια, ήταν μικρότερη και σε κάποιες παραμέτρους μη αποδεκτή.

Οι Karamanidis, Arampatzis και Brüggemann (2004) εξέτασαν την επαναληπτικότητα ορισμένων διακριτών παραμέτρων της κατακόρυφης συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, κατά τη διάρκεια διαφόρων ειδών τρεξίματος. Οι εξεταζόμενοι έτρεξαν σε μηχανικό διάδρομο με συνδυασμό 3 ταχυτήτων (2.5, 3.0 και 3.5m/s) και 3 συχνοτήτων διασκελισμού (προτιμώμενης και  $\pm 10\%$ ). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε υψηλή επαναληπτικότητα (ICC >.80) σχεδόν όλων των πα-

ραμέτρων που εξετάστηκαν σε όλα τα είδη τρέξιματος.

Οι Ferber, McClay-Davis, Williams, και Laugh-ton (2002) συνέκριναν την επαναληπτικότητα των μέγιστων τιμών των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους στο τρέξιμο μεταξύ των μετρήσεων που διεξάγονται την ίδια ημέρα και μεταξύ μετρήσεων σε διαφορετικές ημέρες. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε παρόμοια υψηλή επαναληπτικότητα ( $ICC > .88$ ) τόσο μεταξύ των μετρήσεων της ίδιας ημέρας όσο και μεταξύ των μετρήσεων διαφορετικών ημερών.

Όλες οι παραπάνω μελέτες συμφωνούν ως προς την υψηλή επαναληπτικότητα των διακριτών παραμέτρων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους που μελέτησαν. Καμία όμως από αυτές δεν μελέτησε την επαναληπτικότητα ολόκληρης της κυματομορφής της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, η οποία αποτελεί την πηγή υπολογισμού των τιμών της κάθε διακριτής παραμέτρου. Επισημαίνεται, ότι η επαναληπτικότητα ορισμένων διακριτών τιμών μιας κυματομορφής της δύναμης αντίδρασης του εδάφους δεν εξασφαλίζει την επαναληπτικότητα όλων των τιμών της κυματομορφής (Duhamel et al., 2004). Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε καμία από τις παραπάνω μελέτες δεν μελέτησε την επαναληπτικότητα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση. Σκοπός λοιπόν της παρούσας έρευνας ήταν ο προσδιορισμός της επαναληπτικότητας των κυματομορφών των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας.

## Μέθοδος και διαδικασία

### Δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν εθελοντικά δέκα (10) φοιτητές και φοιτήτριες (5 άντρες και 5 γυναίκες) του Δ.Π.Θ., αθλητές δρόμων ταχύτητας και μέλη διάφορων αθλητικών συλλόγων της Ελλάδος. Οι εξεταζόμενοι είχαν ηλικία από 20 έως 24 ετών ( $M .O.: 21.5 \pm 1.7$  έτη), με μέσο βάρος  $66.35 \pm 12.13$  kg και μέσο ύψος  $170.95 \pm 9.20$ cm. Ο χρόνος ενασχόλησής τους με το αγώνισμά τους ήταν από 5 έως 9 έτη. Η επιλογή των μελών του δείγματος ήταν τυχαία με μόνο κριτήριο την απουσία τραυματισμών στα κάτω άκρα τον τελευταίο χρόνο.

### Όργανα μέτρησης

Για την εκτέλεση των εκκινήσεων χρησιμοποιήθηκε ένας ειδικά τροποποιημένος βατήρας ολυμπιακών προδιαγραφών. Ειδικότερα, σε κάθε μπλοκ του βατήρα ενσωματώθηκε μια διάταξη διακοπών επαφής (πυκνωτές), οι οποίοι πιέζονταν από το πόδι του αθλητή όσο αυτό ήταν σε επαφή με το μπλοκ και απελευθερώνονταν όταν το πόδι έχανε την επαφή του με τον αντίστοιχο μπλοκ. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν δύο επίπεδοι διακό-

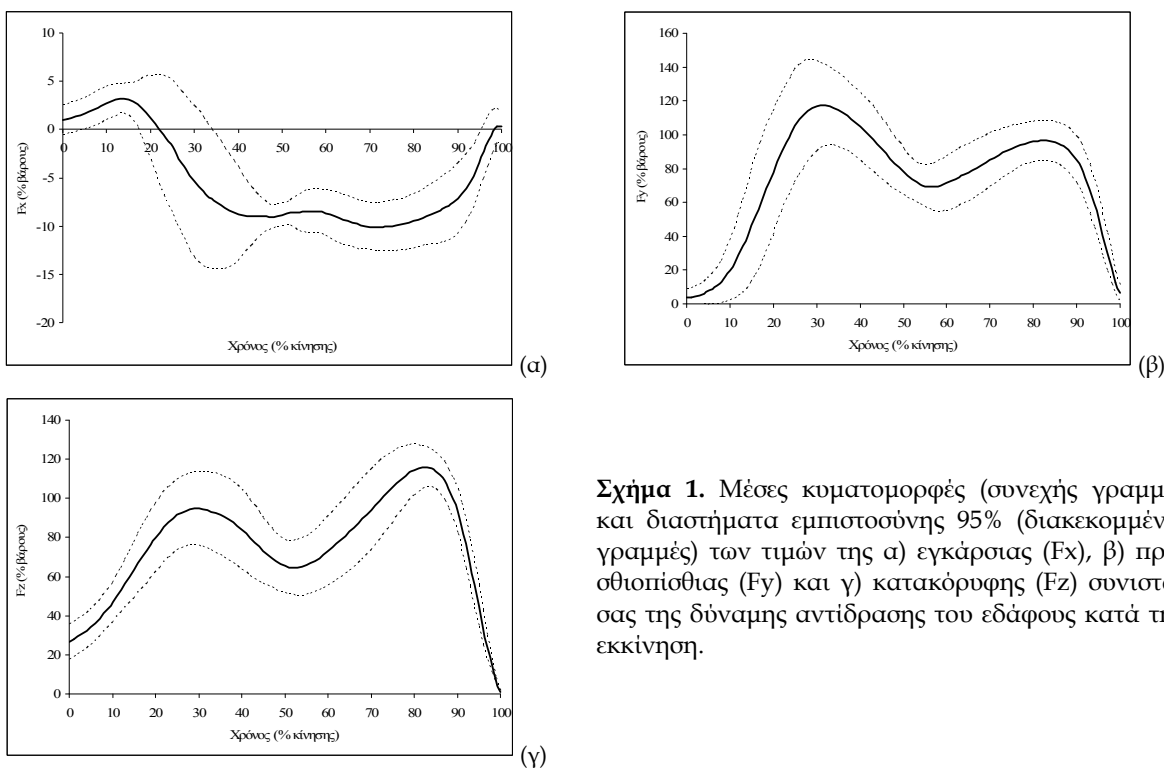
πτες-πυκνωτές (25x25cm) στους οποίους τοποθετούσαν τα χέρια τους οι αθλητές κατά την εκκίνηση. Τόσο οι διακόπτες των χεριών όσο και οι διακόπτες των μπλοκ συνδέθηκαν στο ίδιο ηλεκτρικό κύκλωμα σε παράλληλη σύνδεση. Στο ίδιο κύκλωμα και επίσης παράλληλα, συνδέθηκε ένας διακόπτης που ενεργοποιούσε το ηχητικό σήμα που εξομοίωνε την εκπυροσκόρηση του πιστολιού του αφέτη κατά την εκκίνηση.

Για τη μέτρηση των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (κατακόρυφη, οριζόντια στη διεύθυνση προώθησης ή προσθοπίσθια και οριζόντια κάθετη στη διεύθυνση προώθησης ή εγκάρσια), κατά την εκκίνηση χρησιμοποιήθηκε ένα πιεζοηλεκτρικό δυναμοδάπεδο (Kistler), στην επιφάνεια του οποίου, διαστάσεων 40x60cm, στερεώθηκε ο τροποποιημένος βατήρας εκκίνησης ολυμπιακών προδιαγραφών. Με τον τρόπο αυτό καταγράφονταν κατά τη διάρκεια της εκκίνησης η δύναμη αντίδρασης του εδάφους στα πόδια των δρομέων. Οι έξοδοι του δυναμοδαπέδου και του ηλεκτρικού κυκλώματος των διακοπών του βατήρα συνδέονταν σε κοινό αναλογο-ψηφιακό μετατροπέα (A/D converter) εξασφαλίζοντας τα συγχρονισμό όλων των σημάτων. Οι τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους καταγράφονταν με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz.

### Διαδικασία

Οι εξεταζόμενοι προσέρχονταν μεμονωμένα στο χώρο των μετρήσεων και διαμόρφωναν τον βατήρα σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Η επιλεγμένη διαμόρφωση όμως από τον κάθε εξεταζόμενο παρέμεινε σταθερή για όλη τη διάρκεια των μετρήσεων του. Όλοι οι εξεταζόμενοι επέλεξαν να τοποθετήσουν το αριστερό πόδι τους στο εμπρός μπλοκ του βατήρα. Κοινό στοιχείο επίσης σε όλους τους εξεταζόμενους ήταν η τοποθέτηση των χεριών, στη θέση ετοιμότητας, σε απόσταση ίση με το 60% του μήκους του δεξιού κάτω άκρου τους. Μετά από κοινή για όλους προθέρμανση 10 λεπτών, ο κάθε εξεταζόμενος υιοθετούσε την αρχική στάση πάνω στο βατήρα. Ο εξεταστής ανακοίνωνε τις εντολές «λάβε θέση» και «ετοιμος» και στη συνέχεια πατούσε το διακόπτη του κυκλώματος που παρήγαγε το ηχητικό σήμα της εκκίνησης και ταυτόχρονα ενεργοποιούσε την καταγραφή της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Μετά την απογείωση του από τον βατήρα ο εξεταζόμενος μπορούσε να εκτελέσει περίπου 6 διασκελισμούς, πριν σταματήσει με τη βοήθεια ενός βοηθού εξεταστή ο οποίος βοηθούσε στην επιβράδυνση και τελικά στην ακινητοποίηση του.

Κάθε εξεταζόμενος εκτελούσε 3 δοκιμαστικές εκκινήσεις για την εξοικείωση του με τις συνθήκες της μέτρησης. Στη συνέχεια, εκτελούσε 10 εκκινήσεις από το βατήρα, με διάλειμμα 3 λεπτών μεταξύ των διαδοχικών προσπαθειών. Σε κάθε προσπά-



**Σχήμα 1.** Μέσες κυματομορφές (συνεχής γραμμή) και διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (διακεκομμένες γραμμές) των τιμών της α) εγκάρσιας (Fx), β) προσθιοπίθιας (Fy) και γ) κατακόρυφης (Fz) συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση.

θεια καταγράφηκαν οι τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (GRF) από το πιεζοηλεκτρικό δυναμοδάπεδο με συχνότητα δειγματοληψίας 1000Hz. Οι τιμές της κάθε συνιστώσας καταγράφονταν για όλη τη διάρκεια της επαφής των ποδιών του αθλητή με το βατήρα. Ακολουθώς σημειώνονταν οι χρόνοι αντίδρασης, οι χρόνοι απώλειας επαφής με το έδαφος του δεξιού και του αριστερού χεριού, καθώς και ο χρόνος αποδέσμευσης των ποδιών του αθλητή από το πίσω και το εμπρός μπλοκ του βατήρα. Στη συνέχεια, οι τιμές της κάθε συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους υπολογίστηκαν για κάθε 1% της διάρκειας της επαφής με το βατήρα, με τη μέθοδο της παρεμβολής (interpolation) με τμηματικά πολυώνυμα τρίτου βαθμού (cubic splines), μέσω κατάλληλου αλγόριθμου που δημιουργήθηκε στο λογισμικό μαθηματικής επεξεργασίας δεδομένων MatLab v.13.1. Επιπλέον, οι τιμές της κάθε συνιστώσας σχετικοποιήθηκαν ως προς το βάρος του κάθε εξεταζόμενου και εκφράστηκαν ως ποσοστό % του βάρους του. Για κάθε εκκίνηση των εξεταζόμενων επιλέχθηκαν τα δεδομένα μεταξύ των χρονικών στιγμών της αντίδρασης και της αποδέσμευσης του αθλητή από το βατήρα.

*Στατιστική επεξεργασία*

Κατά τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, προκειμένου να προσδιοριστεί η επαναληπτικότητα των εκκινήσεων, υπολογίστηκαν δύο στατιστικοί δείκτες: ο συντελεστής μεταβλητότητας (coefficient of

variation - CV) (Winter, 1991) και ο συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης (coefficient of multiple correlation - CMC) (Gronney, Meglan, Johnson, Cahalan, & Kai-Nan, 1997). Σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις, ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε το  $p < .05$ .

**Αποτελέσματα**

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι κυματομορφές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας (CV) ήταν αντίστοιχα: α) για την κατακόρυφη δύναμη: 14.91 και 7.22 ( $MO=10.18$ ), β) για την προσθιοπίθια δύναμη: 17.21 και 6.47 ( $MO=11.88$ ) και γ) για την εγκάρσια δύναμη: 45.55 και 21.86 ( $MO=34.02$ ). Επίσης, οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των συντελεστών πολλαπλής συσχέτισης (CMC) ήταν: α) για την κατακόρυφη δύναμη: .985 και .927 ( $MO=0.964$ ), β) για την προσθιοπίθια δύναμη: .991 και .916 ( $MO=.964$ ) και γ) για την εγκάρσια δύναμη: .969 και .841 ( $MO=.915$ ), αντίστοιχα.

**Συζήτηση**

Στην παρούσα μελέτη προσδιορίστηκε η επαναληπτικότητα των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (προσθιοπίθια, κατακόρυφη και εγκάρσια) κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας. Για τον προσδιορισμό της επανα-

ληπτικότητας των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους υπολογίστηκαν ο συντελεστής μεταβλητότητας (*CV*) και ο συντελεστής πολλαπλής συσχέτισης (*CMC*) για ένα σύνολο 10 προσπαθειών που εκτέλεσε ο κάθε εξεταζόμενος. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάμποιοι ερευνητές αμφισβητούν τη χρήση του συντελεστή μεταβλητότητας για τον έλεγχο της επαναληπτικότητας των δεδομένων κυματομορφών και προτείνουν ως πλέον έγκυρο δείκτη το συντελεστή πολλαπλής συσχέτισης (Kadaba et al., 1989). Επίσης σύμφωνα με τους Duhamel et al. (2004) οι τιμές του *CMC* θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες από τουλάχιστον 0.90 για να τεκμηριωθεί η υπόθεση της επαναληπτικότητας των κυματομορφών μιας παραμέτρου. Όσον αφορά στο συντελεστή μεταβλητότητας, αποδεκτές θεωρούνται στη βιβλιογραφία οι τιμές του όταν περιορίζονται κοντά στο 10% (Winter, 1984).

Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαπιστώθηκε ότι η κατακόρυφη συνιστώσα (*Fz*) της δύναμης αντίδρασης του εδάφους παρουσίασε τη μικρότερη μεταβλητότητα, ακολουθούμενη από την προσθιοπίσθια συνιστώσα (*Fy*). Η μικρή μεταβλητότητα των δύο παραπάνω συνιστωσών πιστοποιείται και από τη μικρή διακύμανση που παρουσιάζουν οι κυματομορφές τους γύρω από τη μέση κυματομορφή της κάθε συνιστώσας για το σύνολο των προσπαθειών όλων των εξεταζόμενων αθλητών (Σχήμα 1). Αντίθετα, οι κυματομορφές της εγκάρσιας συνιστώσας (*Fx*) παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερη μεταβλητότητα, σε βαθμό που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν από μεγάλη επαναληπτικότητα. Παρότι τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δεν μπορούν άμεσα να συγκριθούν με κάποια προγενέστερη έρευνα, σε μελέτες της επαναληπτικότητας διακριτών παραμέτρων κι όχι κυματομορφών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά το τρέξιμο, παρατηρείται αντίθετα μικρότερη μεταβλητότητα των παραμέτρων της *Fx* σε σχέση με τις άλλες δύο συνιστώσες (Diss, 2001; Ferber et al., 2002). Στο τρέξιμο όμως, η *Fx* είναι η συνιστώσα που επηρεάζεται πολύ λιγότερο από την ταχύτητα της κίνησης του αθλητή, σε σχέση με τις άλλες δύο, και κατά συνέπεια οι πάντοτε παρούσες διακυμάνσεις της ταχύτητας των αθλητών σε κάθε προσπάθεια ίσως ευθύνονται για τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα της κατακόρυφης και προσθιοπίσθιας συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, που παρατηρήθηκε στις παραπάνω μελέτες.

Από τα αποτελέσματα, σχετικά με τις τιμές του συντελεστή πολλαπλής συσχέτισης, διαπιστώθηκε ότι οι κυματομορφές της κατακόρυφης και προσθιοπίσθιας συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση χαρακτηρίζονται από

πολύ μεγάλη επαναληπτικότητα, αφού σε κάθε περίπτωση οι τιμές των *CMC* υπερβαίνουν την ιδιαίτερα αυστηρή τιμή-κριτήριο του 0.90. Αντίθετα, οι κυματομορφές της εγκάρσιας συνιστώσας δεν χαρακτηρίζονται από την ίδια επαναληπτικότητα σε όλους τους αθλητές, καθώς σε 4 αθλητές οι τιμές των *CMC* ήταν μικρότερες από 0.90. Η μικρότερη επαναληπτικότητα της *Fx* απεικονίζεται στο Σχήμα 1, όπου το εύρος της ζώνης των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% είναι πολύ μεγάλο για την κλίμακα του γραφήματος.

Ερμηνεύοντας τα παραπάνω ευρήματα, διαπιστώθηκε ότι όσον αφορά στην κατακόρυφη και προσθιοπίσθια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους τα σχετικά συμπεράσματα μπορούν να θεωρούνται αξιόπιστα, ακόμη κι αν προέρχονται από δεδομένα που καταγράφηκαν σε μία μόνο προσπάθεια εκκίνησης. Αντίθετα, αυτό δεν ισχύει ανεπιφύλακτα για την εγκάρσια συνιστώσα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση. Κατά τη δυναμογραφία, όμως, μιας εκκίνησης δρόμων ταχύτητας, το δυναμοδιάπεδο καταγράφει ταυτόχρονα τις τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Επίσης, ταυτόχρονα για όλες τις συνιστώσες πρέπει να γίνεται και η επεξεργασία των δεδομένων τους και ο υπολογισμός των διαφόρων παραμέτρων της αξιολόγησης. Επομένως, η συνιστώσα με την μικρότερη επαναληπτικότητα, θα καθορίσει την γενικότερη αντιμετώπιση και των άλλων δύο συνιστωσών. Η μικρότερη επαναληπτικότητα της εγκάρσιας συνιστώσας της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, που διαπιστώθηκε για τις μεμονωμένες προσπάθειες στην παρούσα έρευνα, συνηγορεί στην άποψη ότι κατά τη δυναμογράφηση της εκκίνησης δρόμων ταχύτητας θα πρέπει να καταγράφονται οι κυματομορφές των τριών συνιστωσών σε περισσότερες από μια προσπάθειες και στη συνέχεια να υπολογίζεται για κάθε αθλητή μια μέση κυματομορφή, ως αντιπροσωπευτικότερη της δυναμικής συμπεριφοράς του, στη συγκεκριμένη μέτρηση. Επισημαίνεται βέβαια ότι τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας αφορούν μόνο στις εκκινήσεις δρόμων ταχύτητας και δεν θα πρέπει να γενικεύονται ανεπιφύλακτα σε άλλες κινήσεις, αφού η επαναληπτικότητα των εμβιομηχανικών παραμέτρων επηρεάζεται σημαντικά από το είδος της κίνησης και προτείνεται να αξιολογείται για κάθε κίνηση πριν την εξαγωγή οποιωνδήποτε συμπερασμάτων (Duhamel et al., 2004).

### Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Η παρούσα μελέτη συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας και αξιοπιστίας των δεδομένων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους κατά την εκκίνηση δρόμων ταχύτητας. Λειτουργεί έτσι στην κατεύθυνση της βελτίωσης της εγκυρότητας και αξιοπιστίας των πληροφοριών για τη συμπεριφορά των δρομέων κατά την εκκίνηση και επιπλέον για την αξιολόγηση των προγραμμάτων βελτίωσης της τεχνικής των εκκινήσεων. Η αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών θα συμβάλει στην πρόληψη των τραυματισμών των αθλητών στην προπόνηση, αλλά και στη μείωση της καταπόνησής τους στις διάφορες μετρήσεις των χαρακτηριστικών της ώθησής τους στο βατήρα κατά την εκκίνηση.

### Βιβλιογραφία

- Diss, C.E. (2001). The reliability of kinetic and kinematic variables used to analyze normal running gait. *Gait and Posture*, 14, 98-103.
- Duhamel, A., Bourriez, J.L., Devos, P., Krystkowiak, P., Destee, A., Derambure, P., et al. (2004). Statistical tools for gait analysis. *Gait and Posture*, 20(2), 204-212.
- Ferber, R., McClay-Davis, I., Williams, D.S. & Laughton, C. (2002). A comparison of within- and between-day reliability of discrete 3D lower extremity variables in runners. *Journal of Orthopaedics Research*, 20, 1139-1145.
- Growney, E., Meglan, D., Johnson, M., Cahalan, T., & Kai-Nan, A. (1997). Repeated measures of adult normal walking using a video tracking system. *Gait and Posture*, 6, 147-162.
- Harland, M.J., & Steele, J.R. (1997). Biomechanics of the sprint start. *Sports Medicine*, 23(1), 11-20.
- Kadaba, M.P., Ramakrishnan, H.K., Wootten, M.E., Gainey, J., Gorton, G., & Cochran, G.V.B. (1989). Repeatability of kinematic, kinetic and electromyographic data in normal adult gait. *Journal of Orthopaedic Research*, 7(6), 849-860.
- Karamanidis, K., Arampatzis, A., & Bruggemann, G.P. (2004) Reproducibility of electromyography and ground reaction force during various running techniques. *Gait and Posture*, 19(2), 115-123.
- Tellez, T. & Doolittle, D. (1984). Sprinting from start to finish. *Track Technique*, 88, 2802-2805.
- Winter, D.A. (1991). *The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological*. 2<sup>nd</sup> edition. Waterloo, CA: Waterloo Biomechanics.
- Winter, D.A. (1984). Kinematic and kinetic patterns in human gait: variability and compensating effects. *Human Movement Science*, 3, 51-76.

