



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΕΡΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ & ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μοτίβα ηχοποίησης της κινητικής δεξιότητας του δρόμου με εμπόδια

Κυριάκος Χατζηαποστόλου [Α. Ε. Μ. 13108]

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε στο Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος στη «Φυσιολογία της Άσκησης & Προπονητική» στην ειδίκευση "Προπονητική"

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Ζέτου-Μουντάκη Ελένη, τ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Φ.Α.Α -ΔΠΘ

2^ο μέλος: Θεοδώρου Απόστολος, Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α - Ε.Κ.Π.Α

3^ο μέλος: Μπερμπερίδου Φανή, ΕΕΠ Τ.Ε.Φ.Α.Α – ΔΠΘ

Κομοτηνή, 2025



DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

**SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION, SPORTS SCIENCE AND
OCCUPATIONAL THERAPY**

DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

**POSTGRADUATE PROGRAM
“EXERCISE PHYSIOLOGY & SPORTS TRAINING SCIENCE”**

MASTER DISSERTATION

Sonification Patterns of the Hurdle Racing Motor Skill

Kyriakos Chatziapostolou [R.N 13108]

A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Master's Degree in
«Exercise Physiology & Sports Training Science» of the Department of Physical Education and
Sport Science, Democritus University of Thrace, specialized in Sports Training Science

COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervisor: Eleni Zetou-Mountaki, former Professor, D.P.E.S.S. – DUTh

Member 2: Apostolos Theodorou, Associate Professor, D.P.E.S.S. – N.K.U.A.

Member 3: Fani Berberidou, Specialized Teaching Staff, D.P.E.S.S. – DUTh

Komotini, 2025

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κυριάκος Χατζηαποστόλου: Μοτίβα ηχοποίησης της κινητικής δεξιότητας του δρόμου με εμπόδια

(Με την επίβλεψη της τ. Καθηγήτρια Ελένης Ζέτου-Μουντάκη)

Η ηχοποίηση, ως μέθοδος μετατροπής αριθμητικών δεδομένων σε ηχητικά σήματα, αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση για την παροχή ακουστικής ανατροφοδότησης σε περιβάλλοντα με περιορισμένη οπτική ή μη λειτουργική πληροφόρηση. Ιδιαίτερα στον αθλητισμό, η ακουστική ανατροφοδότηση έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον ως εργαλείο ενίσχυσης της μάθησης αθλητικών δεξιοτήτων. Η παρούσα πιλοτική μελέτη εξέτασε τη δυνατότητα αξιοποίησης της ηχοποίησης ως εργαλείο ρυθμικής αναπαράστασης της αθλητικής δεξιότητας στον δρόμο με εμπόδια. Σκοπός ήταν η δημιουργία ηχητικών μοτίβων που θα αντικατοπτρίζουν τα κινηματικά χαρακτηριστικά του αγωνίσματος. Στην μελέτη συμμετείχαν 13 κορίτσια ηλικίας 14 και 15 ετών, που είχαν επιτύχει τα όρια συμμετοχής για το αγώνισμα των 80μ. με εμπόδια στο Πανελλήνιο Πρωτάθλημα Στίβου της ηλικιακής κατηγορίας Κ16. Στο δείγμα περιλήφθηκαν 19 καταγεγραμμένες προσπάθειες σε αγωνιστικό περιβάλλον με μέγιστη ένταση. Πραγματοποιήθηκαν καταγραφές στα 100 Hz, μέσω βιντεοκάμερας υψηλής συχνότητας, κατά τις προσπάθειες περάσματος οκτώ εμποδίων από εκκίνηση με βαθύ βήμα, με επιδόσεις που κυμάνθηκαν από 11,64 έως 13,27 s. Το ύψος των εμποδίων ήταν 0,76 m, με αποστάσεις 13 m από την εκκίνηση έως το πρώτο εμπόδιο, 8 m μεταξύ των εμποδίων και 11 m από το τελευταίο εμπόδιο έως τη γραμμή τερματισμού. Τα κινηματικά δεδομένα (χρόνοι πτήσης, χρόνοι επαφής με το έδαφος και χρόνοι περάσματος στα εμπόδια) εξήχθησαν μέσω ανάλυσης με το λογισμικό Kinovea, από το οποίο προσδιορίστηκαν με ακρίβεια τα χρονικά διαστήματα κάθε επιμέρους φάσης. Η διαδικασία ηχοποίησης πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγραμματιστικού εργαλείου «Python», για τη δημιουργία σύνθετων ηχητικών ακολουθιών. Για την εισαγωγή αυθεντικών ήχων από φυσικές συνθήκες πατήματος στα ηχητικά κομμάτια που δημιουργήθηκαν, χρησιμοποιήθηκε το μικρόφωνο «Soundman OKM II Solo». Κάθε ηχητικό κομμάτι αποτύπωνε το ρυθμικό προφίλ της εκτέλεσης, επιτρέποντας το σαφή

ακουστικό διαχωρισμό των φάσεων και την αναγνώριση παραλλαγών στον ρυθμό, χωρίς την ανάγκη εικόνας — λειτουργώντας έτσι ως πρότυπο ιδανικού ρυθμού για συγκεκριμένες ταχύτητες εκτέλεσης. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδηλώνουν ότι η ηχοποίηση των κινηματικών χαρακτηριστικών μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την αναπαράσταση του ρυθμού στον δρόμο με εμπόδια, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την προπονητική καθοδήγηση της κινητικής εκτέλεσης μέσω ακουστικής ανατροφοδότησης.

Λέξεις κλειδιά: ηχοποίηση, μάθηση αθλητικών δεξιοτήτων, δρόμοι με εμπόδια, κινηματική ανάλυση, ακουστική ανατροφοδότηση

ABSTRACT

Kyriakos Chatziapostolou: Sonification Patterns of the Hurdle Racing Motor Skill

(Under the supervision of former Professor Eleni Zetou-Mountaki)

Sonification—the transformation of numerical data into non-verbal sound—offers an innovative approach for delivering auditory feedback in contexts where visual information is limited or unavailable. In sports, sonification has garnered research interest as a tool for enhancing motor learning. This pilot study explores the potential of using sonification to represent motor skill execution in the context of hurdling. The aim was to develop sound patterns that reflect the kinematic features of the event. Thirteen female athletes (ages 14–15), all qualifying for the 80 m hurdles at the Greek National U16 Track & Field Championships, participated in the study. Nineteen high-intensity race attempts were recorded under competitive conditions. Each trial involved clearing eight hurdles from starting blocks (hurdle height: 0.76 m; spacings: 13 m start, 8 m between hurdles, 11 m to finish) with performance times ranging from 11.64 to 13.27 s. Trials were captured with a high-speed camera at 100 Hz. Kinematic variables—including flight time, ground contact time, and hurdle clearance time—were extracted using frame-by-frame video analysis in Kinovea, enabling precise phase segmentation. Sonification was performed using a custom Python-based tool to generate layered audio sequences. Authentic footstep sounds recorded with a Soundman OKM II Solo in-ear microphone were incorporated into the audio. Each resulting soundtrack captured the unique rhythmic profile of the performance, making stride phases audibly distinguishable and rhythm variations perceptible without visual input—thereby functioning as auditory models of optimal rhythm for target running speeds. The findings suggest that sonification of kinematic characteristics may serve as a valuable tool for representing running rhythm in hurdling, offering new opportunities for motor execution guidance through auditory feedback in coaching contexts.

Key words: sonification, motor learning, hurdling, kinematic analysis, auditory feedback

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Κινητική μάθηση και ανατροφοδότηση στην προπονητική διαδικασία	12
1.2 Η ηχοποίηση ως μέσο ακουστικής ανατροφοδότησης	14
1.3 Η ηχοποίηση στην μάθηση των δρόμων με εμπόδια	16
1.4 Σκοπός.....	18
1.5 Ερευνητικές υποθέσεις	18
1.6 Μηδενικές υποθέσεις	19
1.7 Οριοθετήσεις και Περιορισμοί.....	19
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	20
2.1 Δείγμα	20
2.2 Πειραματικός σχεδιασμός.....	20
2.3 Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης.....	20
2.4 Στατιστική ανάλυση	24
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	25
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	28

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	32
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	34
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	39
7.1 Συγκατάθεση Γονέα ή Νόμιμου Εκπροσώπου	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.	Μέσοι χρόνοι κινηματικών παραμέτρων 19 προσπάθειών στα 80μ. με εμπόδια	26
-------------------	---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.	Καρέ κινηματικής ανάλυσης μέσω του λογισμικού Kínohea.....	21
Εικόνα 2.	Εξοπλισμός καταγραφής ήχων πατήματος	22
Εικόνα 3.	Δημιουργία ήχου περάσματος μέσω Logic Pro	23
Εικόνα 4.	Απόσπασμα κώδικα δημιουργίας ηχητικών προτύπων	24
Εικόνα 5.	Κυματομορφή (waveform) ηχοποιημένης εκτέλεσης (11,82 s) στον δρόμο με εμπόδια	27
Εικόνα 6.	Κυματομορφή (waveform) ηχοποιημένης εκτέλεσης (12,78 s) στον δρόμο με εμπόδια	27
Εικόνα 7.	Κυματομορφή (waveform) ηχοποιημένης εκτέλεσης (13,27 s) στον δρόμο με εμπόδια	27

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηχοποίηση (sonification) αποτελεί τη διαδικασία μετατροπής δεδομένων σε ήχους, με σκοπό την ενίσχυση της αντίληψης και της κατανόησης της πληροφορίας. Πρόκειται για μια τεχνική η οποία, σε αντίθεση με την οπτικοποίηση, αξιοποιεί το ακουστικό κανάλι για την αναπαράσταση πολύπλοκων ή χρονικά μεταβαλλόμενων φαινομένων. Ο όρος αναφέρεται στη χρήση μη λεκτικών ήχων για την παρουσίαση πληροφορίας, αποτελώντας μια μορφή ακουστικού ερεθίσματος που δεν βασίζεται στην ομιλία. Σύμφωνα με τον ορισμό των Kramer et al. (1999), η ηχοποίηση περιγράφεται ως η διαδικασία μετατροπής δεδομένων σε ακουστικά σήματα, με σκοπό τη διευκόλυνση της κατανόησης ή της ερμηνείας τους από τον χρήστη. Ο ήχος δεν λειτουργεί απλώς ως αισθητικό στοιχείο, αλλά φέρει πληροφορία και μπορεί να αποκαλύψει ρυθμούς, μοτίβα ή ανωμαλίες που δεν γίνονται αντιληπτές μέσω της οπτικής παρατήρησης.

Αν και η ηχοποίηση έχει τις ρίζες της στη μουσική τεχνολογία και την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, η εφαρμογή της έχει πλέον επεκταθεί σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και πρακτικών πεδίων. Χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση σεισμολογικών δεδομένων, την παρακολούθηση βιολογικών ή φυσιολογικών παραμέτρων (όπως καρδιακοί παλμοί ή εγκεφαλικά κύματα), τη μεταφορά οικονομικών μεταβλητών, αλλά και για την υποστήριξη ατόμων με οπτικές αναπηρίες μέσω ηχητικής πλοήγησης.

Η βασική αρχή πίσω από την ηχοποίηση έγκειται στη μετατροπή αριθμητικών ή χρονικών δεδομένων σε ακουστικά χαρακτηριστικά — όπως το ύψος (pitch), η ένταση (loudness), η διάρκεια, ή το ηχόχρωμα (timbre). Μέσω της κατάλληλης αντιστοίχισης (data-to-sound mapping), η πληροφορία κωδικοποιείται ηχητικά με τρόπο που μπορεί να γίνει αντιληπτός και νοηματικά χρήσιμος για τον ακροατή. Αυτή η μετατροπή επιτρέπει την ανάδυση δυναμικών μοτίβων, χρονικών σχέσεων ή ακόμη και αποκλίσεων, καθιστώντας την ηχοποίηση ένα εργαλείο που μπορεί να προσφέρει άμεση, συνεχόμενη και συχνά συναισθηματικά φορτισμένη ανατροφοδότηση.

Η ηχοποίηση βρίσκει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα τομέων όπου απαιτείται δυναμική απεικόνιση πληροφορίας, όπως η ιατρική, η αστρονομία ή η μηχανική ανάλυση δεδομένων. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζεται και στον χώρο του

αθλητισμού, ως μια εναλλακτική και συμπληρωματική μορφή ανατροφοδότησης.

Στο πεδίο της προπονητικής πράξης, η ακουστική ανατροφοδότηση μπορεί να προσφέρει στον ασκούμενο πληροφορίες για την κίνηση, τον ρυθμό ή την απόδοση, μετατρέποντας δεδομένα σε ήχους που αντανακλούν άμεσα και λειτουργικά τα χαρακτηριστικά της εκτέλεσης. Αυτή η μορφή πληροφόρησης μπορεί να αξιοποιηθεί είτε σε πραγματικό χρόνο είτε μετά την προσπάθεια, ενισχύοντας την κατανόηση τεχνικών λεπτομερειών χωρίς την ανάγκη λεκτικών οδηγιών ή οπτικών ερεθισμάτων (Eriksson & Bresin, 2010).

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της ηχοποίησης είναι ότι επιτρέπει την καθοδήγηση χωρίς την εξάρτηση από την οπτική αντίληψη. Σε αγωνίσματα υψηλής έντασης και ρυθμικών απαιτήσεων, όπως οι δρόμοι με εμπόδια, ο αθλητής δεν είναι σε θέση να στρέψει την προσοχή του σε οπτικά βοηθήματα. Ο ήχος, ως αντιληπτικό μέσο που επεξεργάζεται πιο άμεσα ο εγκέφαλος, μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικά τον συγχρονισμό, την ανίχνευση ρυθμικών αποκλίσεων και τη διατήρηση του τεχνικού προτύπου, ακόμη και υπό πίεση.

Η ηχοποίηση, ως μέσο ρυθμικής καθοδήγησης, αποκτά ιδιαίτερη αξία όταν χρησιμοποιείται για τη μάθηση και τη σταθεροποίηση κινητικών δεξιοτήτων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αντίληψης και εκτέλεσης αποτελεί βασικό μηχανισμό στην κινητική μάθηση: ο ασκούμενος προσαρμόζει την κίνησή του βάσει της πληροφορίας που προσλαμβάνει. Όταν αυτή η πληροφορία είναι ρυθμικά δομημένη και επαναλαμβανόμενη —όπως στην περίπτωση των ηχητικών μοτίβων— διευκολύνεται η δημιουργία εσωτερικών αναπαραστάσεων της κίνησης (MacPherson et al., 2009). Αυτό σημαίνει ότι ο αθλητής «ακούει» τον ρυθμό της σωστής εκτέλεσης και τον ενσωματώνει ως οδηγό για μελλοντικές προσπάθειες.

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η δυνατότητα δημιουργίας προσωποποιημένων ηχητικών μοντέλων, τα οποία βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα του ίδιου του ασκούμενου ή ενός αθλητή-προτύπου. Με αυτόν τον τρόπο, η ηχοποίηση δεν παρέχει γενική πληροφόρηση, αλλά μια στοχευμένη και αντιπροσωπευτική ακουστική καθοδήγηση, η οποία μπορεί να ενισχύσει την αυτορρύθμιση, την τεχνική προσαρμογή και τη συνειδητή ή ασυνείδητη επανάληψη των επιθυμητών μοτίβων.

Παρά τις ελπιδοφόρες ενδείξεις για τη συμβολή της ακουστικής ανατροφοδότησης

στη βελτίωση της τεχνικής εκτέλεσης, οι υπάρχουσες ερευνητικές προσπάθειες στον στίβο και ειδικότερα στους δρόμους με εμπόδια παραμένουν περιορισμένες. Ορισμένες μελέτες (Kennel et al., 2014a, 2014b, 2015; Pizzera et al., 2015, 2017) έχουν εξετάσει τις επιδράσεις της ηχοποίησης στη ρύθμιση της κίνησης και την ενίσχυση της αντίληψης ρυθμού μέσω φυσικών ή τροποποιημένων ηχητικών πληροφοριών. Ωστόσο, η χρήση πλήρως συνθετικών ήχων που βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα από επιδόσεις υψηλού επιπέδου και η αξιοποίησή τους ως εκπαιδευτικά πρότυπα παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη.

Ανταποκρινόμενη σε αυτό το κενό, η παρούσα μελέτη στρέφεται στη διερεύνηση των δυνατοτήτων της ηχοποίησης ως εργαλείου υποστήριξης της τεχνικής καθοδήγησης στους δρόμους με εμπόδια. Εστιάζοντας σε αυθεντικά κινηματικά δεδομένα από αγωνιστικές εκτελέσεις, επιχειρεί να αναδείξει πώς η ακουστική απόδοση της χωρο-χρονικής δομής του αγωνίσματος μπορεί να ενισχύσει την προπονητική διαδικασία και την κατανόηση του ρυθμικού προτύπου.

1.1 Κινητική μάθηση και ανατροφοδότηση στην προπονητική διαδικασία

Στην κινητική μάθηση μελετώνται οι πολύπλοκες διαδικασίες απόκτησης και σταθεροποίησης δεξιοτήτων, όπου καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει το περιβάλλον της προπόνησης και η ποιότητα της νοητικής και αντιληπτικής εμπλοκής του ασκούμενου. Πλήθος ερευνών στον τομέα της κινητικής μάθησης έχουν υποδείξει ότι η αποτελεσματικότητα της εκτέλεσης δεξιοτήτων τεχνικής βελτιώνεται όταν η προπόνηση προσομοιάζει τις αγωνιστικές συνθήκες, ενισχύοντας τη λειτουργική μεταφορά και την αυτορρύθμιση (Holmes & Collins, 2001). Η συντονισμένη ενεργοποίηση αισθητηριακών, αντιληπτικών και γνωστικών μηχανισμών καθιστά τη μάθηση πιο σταθερή και προσαρμοστική σε πραγματικές συνθήκες (MacPherson, Collins, & Morriss, 2008).

Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι η ανάπτυξη αντιληπτικών στρατηγικών, όπως η πρόβλεψη ερεθισμάτων και η επεξεργασία χωρο-χρονικών πληροφοριών, ενισχύει την απόδοση μέσω της βελτίωσης της ακρίβειας και του συγχρονισμού της εκτέλεσης (Jackson & Farrow, 2005). Η ικανότητα του αθλητή να ρυθμίζει τον ρυθμό εκτέλεσης βάσει εσωτερικών πληροφοριών (όπως η αντιλαμβανόμενη κόπωση ή η αναμενόμενη διάρκεια της προσπάθειας) αποτελεί επίσης κρίσιμο παράγοντα στην προσαρμογή της απόδοσης,

σύμφωνα με μοντέλα αυτορρύθμισης της έντασης (Tucker, 2009). Επίσης, η ύπαρξη ενός εσωτερικού μοντέλου κίνησης, που ενισχύεται με την εμπειρία και την εξάσκηση, έχει συνδεθεί με πιο αποτελεσματική εκτέλεση και μικρότερη μυϊκή κόπωση (Hamilton & Behm, 2017).

Η αποτελεσματική ανατροφοδότηση ενισχύει τη μάθηση δεξιοτήτων όχι μόνο διορθώνοντας την απόδοση, αλλά και ενδυναμώνοντας τη νοητική εξάσκηση και την εμπέδωση της τεχνικής, ιδιαίτερα όταν βασίζεται σε αισθητηριακά ερεθίσματα που αντανακλούν τη φυσική εμπειρία της κίνησης. Η ακουστική ανατροφοδότηση, όταν συνδυάζεται με παρακινητικά ή οπτικά ερεθίσματα, μπορεί να ενισχύσει την ενεργοποίηση του ασκούμενου και να παρατείνει τη διάρκεια μιας έντονης προσπάθειας (Maddigan et al., 2019; Barwood et al., 2009). Παράλληλα, η χρήση του ήχου έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη ρύθμιση του ρυθμού εκτέλεσης, ο οποίος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη βέλτιστη απόδοση, λειτουργώντας έτσι ως μέσο αυτορρύθμισης και διαχείρισης της κόπωσης (Abbiss & Laursen, 2008).

Η χρήση ακουστικών ερεθισμάτων, όπως η μουσική ή άλλες μορφές ηχητικής ανατροφοδότησης, έχει εξελιχθεί σε σημαντικό παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει θετικά την αθλητική απόδοση. Πειραματικά ευρήματα δείχνουν ότι η μουσική μπορεί, εκτός από το να παρατείνει τη διάρκεια έντονης άσκησης, να αυξήσει τη συχνότητα αναπνοής και τον καρδιακό ρυθμό, ενώ παράλληλα να διατηρήσει σταθερό το υποκειμενικό αίσθημα κόπωσης, υποδεικνύοντας μια παρέμβαση στο επίπεδο του κεντρικού νευρικού ελέγχου (Maddigan et al., 2019). Επιπλέον, η ικανότητα ρύθμισης του ρυθμού και της έντασης μέσα από εσωτερικούς μηχανισμούς ή εξωτερικά ερεθίσματα αποτελεί κρίσιμη δεξιότητα, ιδιαίτερα σε δομημένες προσπάθειες πολλαπλών επαναλήψεων ή αγωνιστικές καταστάσεις (Halperin et al., 2014; Tomazini et al., 2015). Η σημασία της ανατροφοδότησης και η αλληλεπίδρασή της με τις ψυχολογικές και φυσιολογικές μεταβλητές καθιστούν σαφές ότι η ακουστική πληροφορία αποτελεί εργαλείο ρύθμισης της απόδοσης. Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση ήχων προκύπτει ως σύγχρονη προσέγγιση για την παροχή στοχευμένης, διαδραστικής ακουστικής ανατροφοδότησης, ειδικά όταν οι οπτικοί πόροι είναι περιορισμένοι ή ήδη υπερφορτωμένοι.

1.2 Η ηχοποίηση ως μέσο ακουστικής ανατροφοδότησης

Για την βελτίωση των εκπαιδευτικών μεθόδων στον αθλητισμό, η παροχή κατάλληλης ανατροφοδότησης έχει καθοριστική σημασία στη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η πληροφορία που προέρχεται από κινηματικά δεδομένα χρησιμοποιείται συχνά για να αξιολογηθεί η τεχνική και να σχεδιαστεί η προπόνηση. Η ηχοποίηση (sonification), δηλαδή η μετατροπή τέτοιων δεδομένων σε ήχους, έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνική παροχής ακουστικής ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν η οπτική παρατήρηση είναι περιορισμένη, όπως συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις στον αθλητισμό (Hermann & Hunt, 2005).

Η ακουστική πληροφορία μπορεί να προσφέρει καθαρή και άμεση αναπαράσταση των κινήσεων, συμβάλλοντας στην καλύτερη αντίληψη και ρύθμιση της απόδοσης. Η ηχοποίηση, ως τεχνητά παραγόμενος ήχος βασισμένος σε πραγματικά δεδομένα, έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για να απεικονίσει τον ρυθμό ή άλλες χρονικές σχέσεις στην ανθρώπινη κίνηση, ενισχύοντας τη μάθηση και την ακρίβεια στην εκτέλεση (Dubus & Bresin, 2013). Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει πως ο εγκέφαλος μπορεί να αντιληφθεί και να επεξεργαστεί τέτοιους ήχους με τρόπο παρόμοιο με την οπτική πληροφορία, διευρύνοντας έτσι τις δυνατότητες της ακουστικής καθοδήγησης (Dombois, 2002). Με αυτόν τον τρόπο, η ηχοποίηση προσφέρει έναν δημιουργικό και λειτουργικό τρόπο αναπαράστασης φυσικών και τεχνικών χαρακτηριστικών της κίνησης, καθιστώντας την ένα χρήσιμο εργαλείο σε εκπαιδευτικά και προπονητικά πλαίσια.

Η ηχοποίηση δεν αφορά μόνο στην παραγωγή ήχων από δεδομένα, αλλά και στο σωστό σχεδιασμό τους ώστε να γίνονται κατανοητοί και χρήσιμοι. Οι Brown et al. (2003) τονίζουν ότι ο ήχος πρέπει να παρουσιάζει καθαρά τις βασικές αλλαγές στα δεδομένα, όπως αυξομειώσεις ή χρονικές διακυμάνσεις. Σύμφωνα με τους Neuhoﬀ & Heller (2005), βασικά χαρακτηριστικά του ήχου, όπως το ύψος (pitch) ή η ένταση (loudness), μπορούν να δείχνουν με απλό τρόπο την κατεύθυνση ή την ένταση μιας αλλαγής. Ο Gardner et al. (1996) έδειξαν ότι οι άνθρωποι μπορούν να εκπαιδευτούν να «διαβάζουν» αυτούς τους ήχους, ακόμα και όταν δεν περιλαμβάνουν λόγο. Οι Rocchesso et al. (2009) εξηγούν πως όταν οι ήχοι ανταποκρίνονται άμεσα στις κινήσεις ή στις αλλαγές της απόδοσης, τότε

βοηθούν τον ασκούμενο να κατανοεί καλύτερα τι κάνει και να ρυθμίζει τη συμπεριφορά του σε πραγματικό χρόνο.

Η ακουστική ανατροφοδότηση μέσω της ηχοποίησης εμφανίζει πλεονεκτήματα σε σχέση με την οπτική, ειδικά σε συνθήκες όπου οπτικά ερεθίσματα είναι περιορισμένα ή όπου απαιτείται συνεχής σωματική δραστηριότητα χωρίς οπτική παρεμβολή. Ερευνητές όπως οι Flowers, et al. (1997) έχουν δείξει ότι οι ακουστικές μορφές παρουσίασης δεδομένων μπορούν να είναι ισοδύναμες με τις οπτικές ως προς την κατανόηση χρονικών και στατιστικών μοτίβων. Επιπλέον, η χρήση ήχου ενισχύει την οπτική αντίληψη μέσα από μηχανισμούς πολυαισθητηριακής επεξεργασίας, διευκολύνοντας την ακριβέστερη και ταχύτερη λήψη πληροφορίας (Vroomen & de Gelder, 2000).

Η αποτελεσματικότητα της ακουστικής πληροφορίας γίνεται ακόμη πιο εμφανής όταν εφαρμόζεται σε περιβάλλοντα που απαιτούν χωρική ή ρυθμική ακρίβεια, όπως δείχνει η περίπτωση του ηχητικού συστήματος καθοδήγησης στο ποδόσφαιρο για τυφλούς, όπου οι συμμετέχοντες βασίζονται αποκλειστικά στον ήχο για να αντιληφθούν το περιβάλλον και να δράσουν (Stockman et al., 2007). Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την άποψη ότι η ακουστική ανατροφοδότηση μέσω ηχοποίησης, είτε ως κύριο είτε ως συμπληρωματικό εργαλείο, μπορεί να βελτιώσει την επίδοση και την κατανόηση της κίνησης, αξιοποιώντας την ευαισθησία του ανθρώπινου συστήματος αντίληψης σε ρυθμικές και χρονικές διαφοροποιήσεις.

Σε μελέτες με έμπειρους δρομείς, η παροχή απλής ηχητικής ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο για παραμέτρους όπως το ύψος κατακόρυφης μετατόπισης και η συχνότητα βήματος, οδήγησε σε ελεγχόμενες τροποποιήσεις της τεχνικής (Eriksson & Bresin, 2010; Eriksson et al., 2011). Το γεγονός ότι οι αθλητές μπορούσαν να προσαρμόσουν άμεσα την τεχνική τους με βάση τα ηχητικά ερεθίσματα, χωρίς την ανάγκη οπτικής παρατήρησης, ενισχύει τη χρησιμότητα της μεθόδου σε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες.

Επιπλέον, μελέτη των Pizzera & Hohmann (2015) ανέδειξε ότι η ακουστική πληροφορία μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο τόσο κατά τον έλεγχο της κίνησης, όσο και κατά την παρατήρηση κινήσεων άλλων αθλητών, προσφέροντας δυνατότητες για ενίσχυση της αντίληψης μέσω ακουστικών σημάτων. Η ηχητική ανατροφοδότηση μέσω της ηχοποίησης μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για αυτορρύθμιση, αλλά

και για καλύτερη κατανόηση και αξιολόγηση της κίνησης από εξωτερικούς παρατηρητές ή προπονητές.

Άλλη μελέτη των Agostini et al. (2004) που αφορούσε τις αθλητικές ρίψεις, έδειξε ότι η προσθήκη ακουστικών πληροφοριών συνέβαλε στην κατανόηση της χρονικής ακολουθίας και στον συγχρονισμό των φάσεων της ρίψης, ενισχύοντας την απόδοση. Στην ίδια κατεύθυνση, η μελέτη των Bood et al. (2013) ανέδειξε τη θετική επίδραση της ακουστικής ανατροφοδότησης στην απόδοση στο τρέξιμο. Οι ερευνητές έδειξαν ότι ο συγχρονισμός της κίνησης με ρυθμικά ακουστικά ερεθίσματα μπορεί να αυξήσει τον χρόνο άσκησης μέχρι την εξάντληση και να βελτιώσει τη σταθερότητα του ρυθμού διασκελισμού. Παράλληλα, μελέτες σε περιβάλλοντα προπόνησης όπως αυτή των Πορφύρη & Πετρούλια (2021), έχουν αναδείξει τις δυνατότητες της ακουστικής ανατροφοδότησης μέσω της ηχοποίησης κατά την εκμάθηση τεχνικών δεξιοτήτων, όπως τα αγωνίσματα των αθλητικών αλμάτων.

Συνολικά, οι εφαρμογές της ηχοποίησης στον αθλητισμό δείχνουν ότι η ακουστική ανατροφοδότηση είναι όχι μόνο εφικτή αλλά και λειτουργικά ωφέλιμη, ιδιαίτερα όταν ο σχεδιασμός της λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες της κινητικής δεξιότητας, το προπονητικό επίπεδο, την ηλικία των αθλητών και το πλαίσιο της φυσικής δραστηριότητας.

1.3 Η ηχοποίηση στην μάθηση των δρόμων με εμπόδια

Οι MacPherson et al. (2009) προτείνουν ότι χρονικά δομημένες ή ρυθμικές παρεμβάσεις μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στη διευκόλυνση της εκτέλεσης των μοτίβων κίνησης σε περιβάλλοντα υψηλής πίεσης απόδοσης. Η χρήση της ηχοποίησης για τη μεταφορά πληροφοριών έχει χρησιμοποιηθεί για την παροχή πραγματικού χρόνου ανατροφοδότησης σε διάφορες πτυχές της κίνησης, όπως το ρυθμό και τη συχνότητα. Ένα τέτοιο περιβάλλον είναι οι δρόμοι με εμπόδια, ένα αγώνισμα που απαιτεί πολύπλοκες διαδοχικές κινήσεις, οι οποίες δημιουργούν ένα χωρο-χρονικό μοτίβο τρεξίματος. Αυτό το μοτίβο παραμένει σταθερό ακόμη και όταν εφαρμόζονται διαφορές στον τρόπο εκτέλεσης της δραστηριότητας (αυξομείωση της ταχύτητας ή των διαστημάτων μεταξύ των εμποδίων), καθιστώντας το ρυθμό ένα αμετάβλητο συστατικό (Hay & Schoebel, 1990). Επιπλέον, έχει αποδειχθεί ότι η στοχευμένη παρέμβαση στην τεχνική των εμποδίων

μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση μέσω αναδιοργάνωσης των κινηματικών προτύπων, όταν αυτή δομηθεί με βάση ρυθμικά και χωρο-χρονικά χαρακτηριστικά (Panteli et al., 2023).

Οι Kennel et al. (2014a) θέλοντας να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ δράσης και αντίληψης, έδειξαν ότι οι αθλητές των δρόμων εμποδίων έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν τους δικούς τους ήχους κίνησης καλύτερα από τους ήχους άλλων δοκιμαζομένων. Άλλη μελέτη (Kennel et al., 2014b) επιβεβαιώνει τα παραπάνω και προσθέτει ότι ακόμη και σε συνθήκες αλλαγής της ρυθμικής δομής των διασκελισμών, η ικανότητα διάκρισης στην αναγνώριση μεταξύ των ίδιων των δοκιμαζομένων και των άλλων διατηρήθηκε. Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την ιδέα ότι ο ρυθμός αποτελεί ένα προσωπικό και σταθερό χαρακτηριστικό στο κινητικό πρότυπο κάθε αθλητή (MacPherson et al., 2007).

Μεταγενέστερη έρευνα (Kennel et al., 2015) εξέτασε εάν οι ήχοι των διασκελισμών, που παράγονται κατά το τρέξιμο, επηρεάζουν την απόδοση στον δρόμο με εμπόδια. Η μελέτη έδειξε ότι κατά τη χρήση ενός συστήματος ζωντανής ανατροφοδότησης, η ακουστική ανατροφοδότηση με μικρή καθυστέρηση (180 ms) έναντι της κανονικής, οδήγησε σε σημαντικά πιο αργούς συνολικούς χρόνους των δοκιμαζομένων και σε αλλαγές στις κινηματικές παραμέτρους. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι μηχανισμοί αντίληψης και δράσης φαίνεται να είναι αλληλένδετοι και ότι η εξωτερική ακουστική ανατροφοδότηση μπορεί να επηρεάσει τον κινητικό έλεγχο. Προτείνουν ότι η χρήση φυσικών ήχων στο πλαίσιο της προπόνησης για τους δρόμους με εμπόδια θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για να παρέχει ακουστικές οδηγίες ή ανατροφοδότηση σχετικά με το μήκος του διασκελισμού, τη συχνότητα ή άλλες εμβιομηχανικές παραμέτρους. Η παραπάνω διαπίστωση υποστηρίζει την άποψη ότι η ακουστική πληροφορία ενσωματώνεται ενεργά στην αντιληπτική διαδικασία του κινητικού ελέγχου (Pizzera & Hohmann, 2015).

Οι Pizzera et al. (2017), θέλοντας να εξετάσουν τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις μιας προπονητικής παρέμβασης στα εμπόδια χρησιμοποιώντας ακουστικές ανατροφοδοτήσεις, ζήτησαν από τους δοκιμαζόμενους να εκτελέσουν πέρασμα τεσσάρων εμποδίων, αμέσως αφού δεχθούν ανατροφοδότηση ακούγοντας είτε τον φυσικό ήχο των ατομικών διασκελισμών τους (ομάδα ελέγχου), είτε τεχνητά τροποποιημένες μορφές αυτών (με μικρή επιτάχυνση ή επιβράδυνση του ρυθμού

τους). Παρά το γεγονός ότι δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ειδών της ακουστικής ανατροφοδότησης, οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η επαναλαμβανόμενη εμπειρία με ακουστικές πληροφορίες που σχετίζονται με το ρυθμικό πρότυπο του τρεξίματος με εμπόδια μπορεί να έχει συμβάλει στη δημιουργία μιας γνωστικής αναπαράστασης αυτής της κίνησης, καθώς όλοι οι δοκιμαζόμενοι εκτός της ομάδας ελέγχου – τόσο η ομάδα με επιτάχυνση όσο και, απρόσμενα, η ομάδα με επιβράδυνση του ρυθμού – είχαν σημαντικές βελτιώσεις στην επίδοση μετά από 10 εβδομάδες αποχής, οι οποίες ακολούθησαν της προπονητικής παρέμβασης.

Συνοψίζοντας, γίνεται κατανοητό ότι η προπόνηση για την βελτίωση του κινητικού ελέγχου θα πρέπει να βασιστεί συνδυαστικά και σε ακουστικά ερεθίσματα, τα οποία ενδέχεται να συμβάλλουν στην αξιοποίηση επιπλέον πληροφοριών σχετικά με τον ρυθμό της κίνησης. Η ηχοποίηση μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο στον αθλητισμό και τη κινητική μάθηση, μέσω της παροχής λεπτομερούς ανατροφοδότησης για την τελειοποίηση της τεχνικής και τη βελτίωση της απόδοσης.

1.4 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η δημιουργία ενός ηχητικού μοντέλου που να λειτουργεί ως πρότυπο ρυθμού για το αγώνισμα των 80 m με εμπόδια, μέσω της ηχοποίησης πραγματικών κινηματικών δεδομένων από διασκελισμούς και περάσματα εμποδίων αθλητριών υψηλού επιπέδου. Τα παραγόμενα ακουστικά μοτίβα αποσκοπούν στη χρήση τους ως εργαλεία καθοδήγησης και υποστήριξης της προπονητικής διαδικασίας. Η μελέτη εστίασε στην αναπαράσταση των ρυθμικών χαρακτηριστικών της αγωνιστικής εκτέλεσης, ώστε τα ηχητικά μοντέλα να μπορούν να αξιοποιηθούν είτε από τις ίδιες τις αθλήτριες για σκοπούς αυτορρύθμισης, είτε ως παραδείγματα προς μίμηση και ρυθμική καθοδήγηση σε προπονητικά προγράμματα νεαρών ή λιγότερο έμπειρων αθλητών που επιδιώκουν αντίστοιχες επιδόσεις.

1.5 Ερευνητικές υποθέσεις

Η βασική ερευνητική υπόθεση της παρούσας μελέτης ήταν ότι τα κινηματικά δεδομένα των περασμάτων εμποδίων από αθλήτριες υψηλού επιπέδου θα παρουσιάζουν σταθερά ρυθμικά μοτίβα, τα οποία μπορούν να αποδοθούν ακουστικά μέσω ηχοποίησης

για να αξιοποιηθούν ως εργαλεία καθοδήγησης, για τη βελτίωση της προπονητικής διαδικασίας μέσω της ακουστικής προσέγγισης του ρυθμού.

1.6 Μηδενικές υποθέσεις

Οι μηδενικές υποθέσεις της παρούσας έρευνας αναφέρονται παρακάτω:

- Τα κινηματικά δεδομένα των περασμάτων εμποδίων από αθλήτριες υψηλού επιπέδου δεν θα παρουσιάσουν σταθερά ρυθμικά μοτίβα.
- Τα ηχητικά αποτελέσματα που θα προκύψουν μέσω ηχοποίησης δεν θα αποτυπώνουν σαφή ρυθμική διάρθρωση.

1.7 Οριοθετήσεις και Περιορισμοί

Οι οριοθετήσεις της παρούσας έρευνας αναφέρονται παρακάτω:

- Η έρευνα περιορίζεται στη δημιουργία των ακουστικών μοντέλων και δεν περιλαμβάνει πειραματική παρέμβαση σε προπονητικές συνθήκες.
- Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ηχοποίηση προέρχονται από αθλήτριες υψηλού επιπέδου και περιορίζονται στη συγκεκριμένη ηλικιακή κατηγορία και φύλο.
- Ο μικρός αριθμός δείγματος.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δείγμα

Στη μελέτη συμμετείχαν συνολικά 13 κορίτσια ηλικίας 14 και 15 ετών (ΜΟ= 14,5), οι οποίες είχαν επιτύχει τα όρια πρόκρισης για το αγώνισμα των 80 m με εμπόδια στο Πανελλήνιο Πρωτάθλημα Στίβου της κατηγορίας K16. Όλες οι συμμετέχουσες ήταν ενεργές αθλήτριες στίβου, με συστηματική προπονητική εμπειρία τουλάχιστον 2 ετών και εξοικείωση με τις τεχνικές απαιτήσεις του αγωνίσματος. Πριν τη διεξαγωγή της μελέτης οι αθλήτριες και οι γονείς/κηδεμόνες τους ενημερώθηκαν προφορικά και γραπτά για το σκοπό της μελέτης και τη διαδικασία μετρήσεων και στη συνέχεια δήλωσαν ενυπόγραφα τη συγκατάθεση για τη συμμετοχή τους (βλ. Παράρτημα).

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε πειραματικό σχεδιασμό που περιλάμβανε την ανάλυση πραγματικών αγωνιστικών προσπαθειών στο αγώνισμα των 80 m με εμπόδια. Συνολικά εξετάστηκαν 19 προσπάθειες από 13 αθλήτριες, σε συνθήκες που πληρούσαν τις προβλεπόμενες προδιαγραφές του αγωνίσματος (εκκίνηση με βατήρα, 8 εμπόδια, ύψους 076 m, με αποστάσεις 13 m από την εκκίνηση έως το πρώτο εμπόδιο, 8 m μεταξύ των εμποδίων και 11 m από το τελευταίο εμπόδιο έως τη γραμμή τερματισμού), με τους χρόνους επίδοσης να κυμαίνονται από 11,64 έως 13,27 s. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην καταγραφή της κινηματικής δομής των προσπαθειών και τη μετατροπή αυτής σε ακουστικά πρότυπα μέσω ηχοποίησης, με στόχο την αποτύπωση του αγωνιστικού ρυθμού.

2.3 Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης

Η κινηματική καταγραφή πραγματοποιήθηκε με κάμερα υψηλής συχνότητας (100 Hz) με τεχνική ranning, όπου η κάμερα παρακολουθεί την κίνηση ενός αντικειμένου με οριζόντια περιστροφή (pan) κατά τη διάρκεια της λήψης. Η ανάλυση των κινήσεων έγινε καρέ-καρέ με τη χρήση του λογισμικού Kinovea, εξάγοντας κινηματικά χρονικά δεδομένα. Για την επεξεργασία των βιντεοσκοπημένων προσπαθειών μέσω του λογισμικού Kinovea, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής εντοπισμός και καταγραφή των βασικών φάσεων κάθε

διασκελισμού. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται η χρονική απομόνωση των φάσεων του αγωνίσματος.



Εικόνα 1. Καρέ κινηματικής ανάλυσης μέσω του λογισμικού Kinevea.

Μέσω της λειτουργίας καρέ-καρέ προβολής, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητη χρονοσήμανση κρίσιμων κινηματικών γεγονότων, όπως η έναρξη και η λήξη των φάσεων επαφής με το έδαφος, της πτήσης και του περάσματος των εμποδίων. Τα χρονικά δεδομένα εξήχθησαν σε μορφή αρχείου CSV για περαιτέρω επεξεργασία, αποτελώντας τη βάση για τη δημιουργία των αντίστοιχων ηχητικών αναπαραστάσεων.

Για τη δημιουργία των ηχητικών μοτίβων, πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή συνεδρία ηχογράφησης πραγματικών ήχων πατήματος, με στόχο την παραγωγή φυσικών ακουστικών ερεθισμάτων που θα χρησιμοποιούνταν για την ηχοποίηση των κινηματικών δεδομένων. Η συνεδρία διεξήχθη σε εγκατάσταση κλειστού στίβου (ταρτάν), υπό ελεγχόμενες συνθήκες για την ελαχιστοποίηση του θορύβου περιβάλλοντος και την εξασφάλιση σταθερής ποιότητας ήχου.

Για την ηχογράφηση χρησιμοποιήθηκε το μικρόφωνο Soundman OKM Classic (binaural, in-ear, Soundman e.K., Γερμανία), με ευαισθησία 5 mV/Pa $\pm$ 3 dB και προστασία από εξωτερικό θόρυβο μέσω ακρυλικού ανεμοθώρακα, συνδεδεμένο με συσκευή καταγραφής Zoom H1 Handy Recorder, ρυθμισμένη στα 24-bit/96 kHz και 320 kbps (Εικόνα 2), διασφαλίζοντας υψηλή ευαισθησία και χαμηλό θόρυβο βάσης, ακολουθώντας τις τεχνικές προδιαγραφές που περιγράφονται από τους Pizzera et al. (2017). Για τη σύνδεση του εξοπλισμού χρησιμοποιήθηκε αντάπτορας τύπου A3 (input impedance: 1 k Ω , output: 47 k Ω), συμβάλλοντας στη σταθερή μεταφορά σήματος και στην αποφυγή

παραμορφώσεων. Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο καταγράφει τον ήχο ακριβώς όπως τον ακούει ο αθλητής, καθώς το μικρόφωνο τοποθετείται μέσα στα αυτιά του.

Τα ακουστικά δεδομένα περιλάμβαναν ηχογραφήσεις πλήρων διασκελισμών και περασμάτων εμποδίων, ώστε να αποδοθεί η φυσική ροή της κίνησης. Το υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε ως βασική πηγή στη διαδικασία σύνθεσης των ηχητικών μοτίβων.



Εικόνα 2. Εξοπλισμός καταγραφής ήχων πατήματος

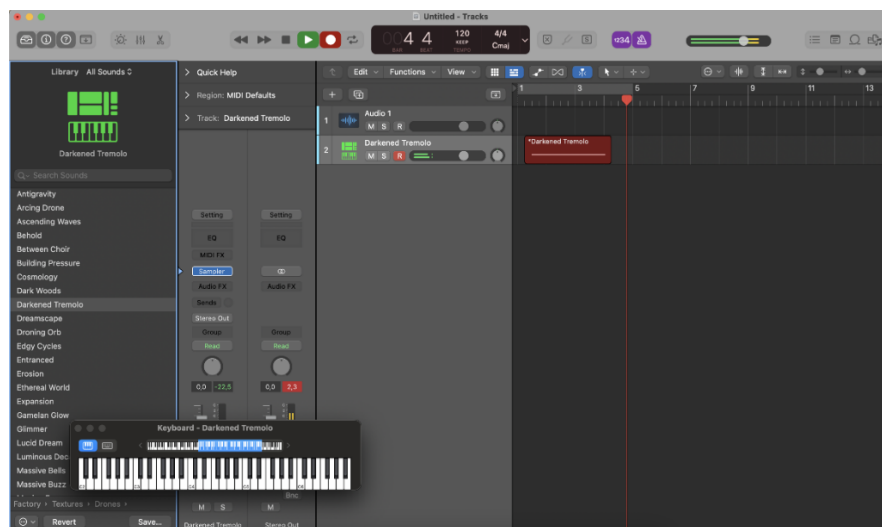
Η φάση του περάσματος του εμποδίου κατασκευάστηκε τεχνητά, με τη χρήση συνθετικού, synth-based ήχου, σχεδιασμένου να αποδίδει ηχητικά την αισθητική της «αιώρησης» που χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη φάση του τρεξίματος με εμπόδια. Ο ήχος δημιουργήθηκε στο λογισμικό Logic Pro (Εικόνα 3), μέσω του δωρεάν ηχητικού οργάνου “Darkened Tremolo”, και επιλέχθηκε η νότα A4 (La4) λόγω της ουδετερότητας και της καθαρότητάς της, προκειμένου να διατηρηθεί η σαφήνεια του ακουστικού σήματος.

Κατά την επεξεργασία του ήχου εφαρμόστηκαν ισοσταθμιστικές παρεμβάσεις (EQ) με αποκοπή των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων και ενίσχυση των μεσαίων, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ευκρίνεια. Επιπλέον, τροποποιήθηκε η παράμετρος attack, με στόχο τη συντόμευση του αρχικού χρόνου εισόδου του ήχου, έτσι ώστε ο ήχος να ενεργοποιείται άμεσα και να εναρμονίζεται χρονικά με το κινηματικό συμβάν. Ο τελικός ήχος χρησιμοποιήθηκε για να συμβολίσει ακουστικά τη φάση περάσματος εμποδίου, προσφέροντας διακριτή ακουστική αναπαράσταση σε σχέση με τις υπόλοιπες φάσεις του διασκελισμού.

Το σύνολο των δεδομένων και των παραγόμενων ήχων αξιοποιήθηκε στη διαδικασία ηχοποίησης, η οποία υλοποιήθηκε με τη χρήση του προγραμματιστικού

εργαλείου Python (Python Software Foundation). Οι χρονικές διάρκειες των επιμέρους φάσεων της κίνησης (επαφής, πτήσης, περάσματος), εξαγόμενες από την κινηματική ανάλυση μέσω του λογισμικού Kinson, εισήχθησαν σε μορφή αρχείου CSV. Κάθε φάση αντιστοιχίστηκε σε ένα ακουστικό συμβάν, σχηματίζοντας μια χρονικά συγχρονισμένη ακολουθία.

Πιο συγκεκριμένα, η φάση της πτήσης αποδόθηκε με σιγή (χωρίς ήχο), η φάση της επαφής του ποδιού με το έδαφος αποδόθηκε με τον πραγματικό καταγεγραμμένο ήχο πατήματος από τη συνεδρία ηχογράφησης), ενώ η φάση περάσματος του εμποδίου αναπαραστάθηκε με τον συνθετικό ήχο από το ηχητικό όργανο “Darkened Tremolo” του λογισμικού Logic Pro.



Εικόνα 3. Δημιουργία ήχου περάσματος μέσω Logic Pro

Η υλοποίηση της ηχοποίησης πραγματοποιήθηκε μέσω Python (Εικόνα 4) με χρήση των βιβλιοθηκών NumPy, Wave και MIDIUtil. Το τελικό αποτέλεσμα εξήχθη σε αρχεία ήχου τύπου .wav

Τα παραγόμενα ηχητικά κομμάτια προορίζονταν να αναπαραστήσουν το ατομικό ρυθμικό προφίλ κάθε αθλήτριας, συγκροτώντας ένα σύνολο ρεαλιστικών ακουστικών προτύπων αγωνιστικής εκτέλεσης, με δυνατότητα αξιοποίησης ως εργαλεία προπονητικής καθοδήγησης

```

def read_duration_data(file_path):
    try:
        with open(file_path, mode='r', newline='', encoding='utf-8-sig') as csvfile:
            reader = csv.reader(csvfile, delimiter=';')
            for i, row in enumerate(reader):
                if i == 0:
                    continue
                if "Duration" in row[0]:
                    durations = [float(value.replace(',', '.')) for value in row[1:]]
                    return durations
            raise ValueError("Duration data not found in CSV file")
    except Exception as e:
        print(f"Error reading CSV file: {e}")
        return None

```

Εικόνα 4. Απόσπασμα κώδικα δημιουργίας ηχητικών προτύπων

2.4 Στατιστική ανάλυση

Χρησιμοποιήθηκε περιγραφική στατιστική για την ανάλυση των κινηματικών παραμέτρων. Υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές (M) και οι τυπικές αποκλίσεις (SD) για δείκτες όπως: χρόνος μεταξύ εμποδίων, χρόνος πτήσης, χρόνος επαφής, χρόνος έως το πρώτο εμπόδιο, και χρόνος από το τελευταίο εμπόδιο έως τον τερματισμό.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ηχοποίηση των κινηματικών δεδομένων απέδωσε μια σειρά από επιμέρους ακουστικά γεγονότα, τα οποία καταγράφηκαν και αναλύθηκαν ποσοτικά. Σε κάθε ηχητικό κομμάτι, το πλήθος των ηχητικών γεγονότων αντανakλούσε τον συνολικό αριθμό φάσεων της κίνησης που καταγράφηκαν από την κινηματική ανάλυση, συμπεριλαμβανομένων των πατημάτων, των φάσεων πτήσης διασκελισμού και των περασμάτων εμποδίων. Κατά μέσο όρο, κάθε ακουστική ακολουθία περιλάμβανε περίπου 86 ξεχωριστά ηχητικά γεγονότα, ανάλογα με την ατομική διάρκεια εκτέλεσης, τον ρυθμό και το κινηματικό μοτίβο κάθε αθλήτριας. Η διάρκεια των παραγόμενων κομματιών κυμαινόταν μεταξύ 11,64 και 13,27 s, αποτυπώνοντας με ακρίβεια την αγωνιστική διάρκεια κάθε προσπάθειας.

Τα αποτελέσματα των βασικών κινηματικών παραμέτρων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και αποτυπώνουν το ρυθμικό πρότυπο των συμμετεχουσών. Οι παραπάνω κινηματικές παράμετροι επιλέχθηκαν καθώς αποτελούν βασικά στοιχεία της τεχνικής του αγωνίσματος των δρόμων μετ' εμποδίων, αποτυπώνοντας τη ροή και τη δομή της εκτέλεσης μέσα από τις φάσεις επαφής, πτήσης και περάσματος. Η μέση τιμή της τελικής επίδοσης ήταν 12,29 s (SD = 0,44), με τον κύριο κορμό του αγωνίσματος (μεταξύ 1ου και 8ου εμποδίου) να διαρκεί κατά μέσο όρο 8,03 s. Οι φάσεις επαφής και πτήσης εναλλάσσονταν σε σταθερά επαναλαμβανόμενα μοτίβα με μικρές αποκλίσεις. Τα αποτελέσματα του μέσου χρόνου επαφής με το έδαφος και του μέσου χρόνου πτήσης υποδεικνύουν τη μικρή διάρκεια εναλλαγής μεταξύ φάσεων και την υψηλή συχνότητα ρυθμικών ερεθισμάτων ανά δευτερόλεπτο.

Οι φάσεις περάσματος εμποδίου, που συνήθως επιμηκύνονται χρονικά, αποδόθηκαν μέσω διακριτών ηχητικών γεγονότων με μέση διάρκεια 0,32 s (SD = 0,02), προσφέροντας ακουστική διαφοροποίηση σε σχέση με τις υπόλοιπες φάσεις. Οι χρονικές αποστάσεις ανάμεσα στα εμπόδια ήταν σταθερές (M = 0,94 δευτερόλεπτα, SD = 0,04), στοιχείο που συνέβαλε στην καταγραφή ενός επαναλαμβανόμενου ρυθμικού μοτίβου σε όλες τις προσπάθειες. Η ακρίβεια στην αποτύπωση των επιμέρους φάσεων και η συνέπεια στη ροή των ακουστικών γεγονότων δημιούργησαν πλήρη και ρεαλιστικά ηχητικά προφίλ, που επιτρέπουν την αξιολόγηση και σύγκριση του αγωνιστικού ρυθμού με ακρίβεια.

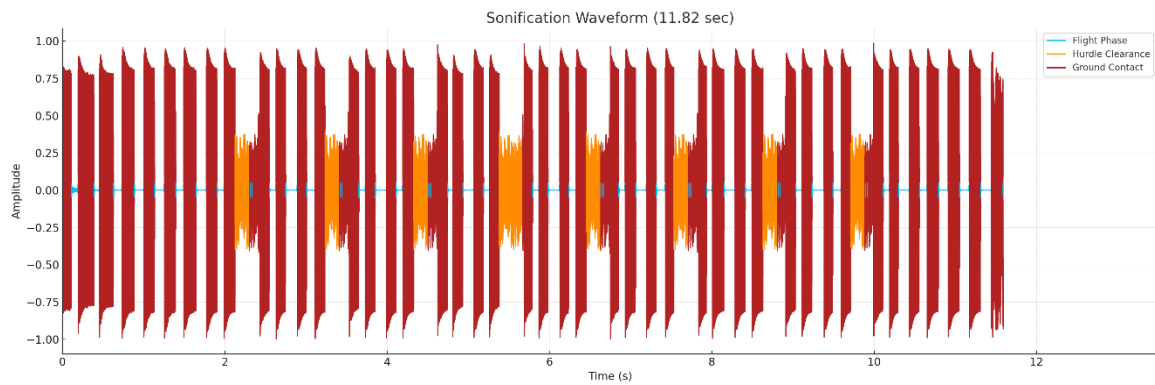
Πίνακας 1. Μέσοι χρόνοι κινηματικών παραμέτρων 19 προσπαθειών στα 80μ. με εμπόδια.

Παράμετρος	Μέση τιμή (M)	Τυπική απόκλιση (SD)
Τελική Επίδοση	12,29	0,44
Απόσταση εκκίνησης–1ο εμπόδιο	2,58	0,05
Χρόνος μεταξύ 1ου–8ου εμποδίου	8,03	0,36
8ο εμπόδιο–τερματισμός	1,84	0,10
Μέσος ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ εμποδίων	0,94	0,04
Μέσος χρόνος πτήσης διασκελισμού	0,12	<0,01
Μέσος χρόνος επαφής	0,13	<0,01
Μέσος χρόνος πτήσης κατά το πέρασμα του εμποδίου	0,32	0,02

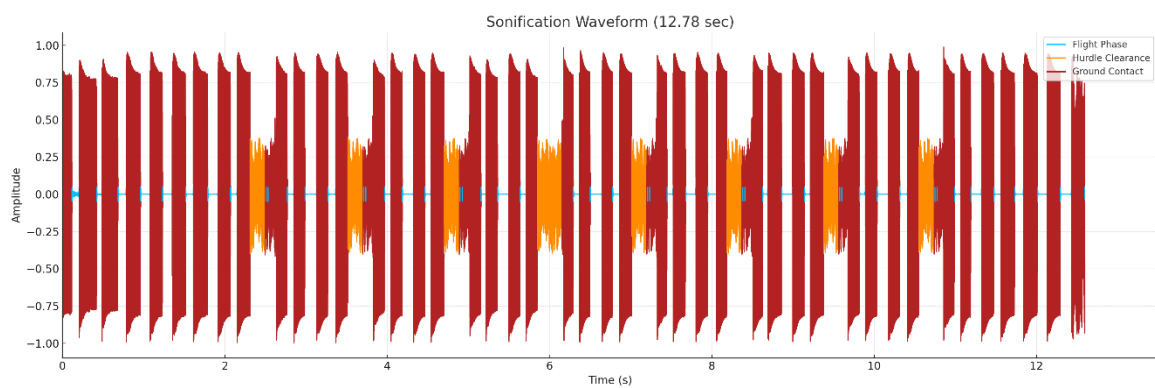
Στην πλειονότητα των εκτελέσεων, καταγράφηκαν παρόμοια μοτίβα εναλλαγής φάσεων, με σταθερά χρονικά διαστήματα μεταξύ πατημάτων, πτήσεων και περασμάτων. Οι φάσεις περάσματος εμποδίου εμφανίζονταν περιοδικά και ευδιάκριτα, διατηρώντας σταθερή θέση εντός της ηχητικής ακολουθίας. Η σχετική συνέπεια στη χρονική δομή των επιμέρους φάσεων μεταξύ των συμμετεχουσών αναδεικνύει την ύπαρξη κοινού ρυθμικού πλαισίου στο συγκεκριμένο αγώνισμα.

Η ηχοποίηση των κινηματικών δεδομένων απέδωσε πλήρως τον ρυθμικό χαρακτήρα κάθε προσπάθειας. Τα ηχητικά μοτίβα επέτρεψαν τη σαφή διάκριση των φάσεων του διασκελισμού, καθώς οι ακουστικές μεταβολές αποτύπωναν με ακρίβεια τις εναλλαγές μεταξύ επαφής, αιώρησης και υπερπήδησης, κάτι που γίνεται ευδιάκριτο στα χαρακτηριστικά παραδείγματα κυματομορφής (Εικόνες 5, 6, & 7).

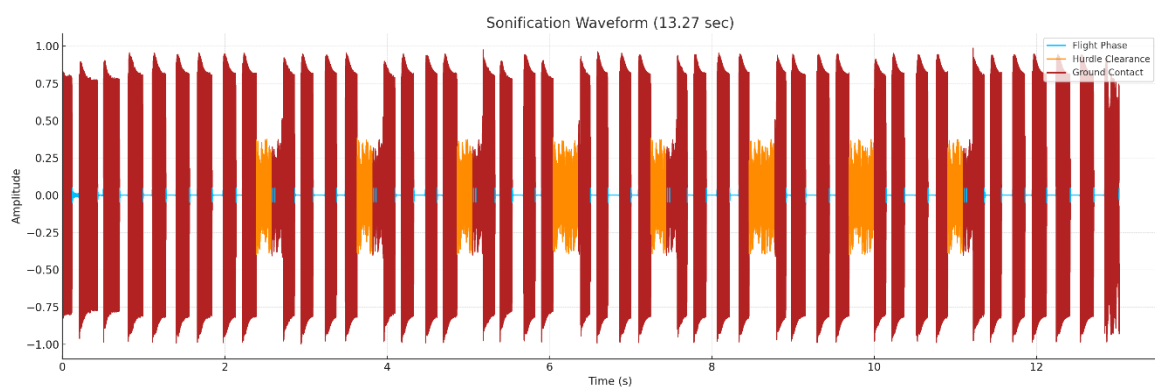
Παρατηρήθηκε ότι οι διαφοροποιήσεις στον ρυθμό μεταξύ των αθλητριών — κυρίως ως προς τη συνολική διάρκεια της προσπάθειας και την ταχύτητα εναλλαγής των ηχητικών γεγονότων— γίνονταν αντιληπτές μέσω του ήχου, χωρίς την ανάγκη οπτικής αναπαράστασης. Το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα ανέδειξε πρότυπα εκτέλεσης που μπορούν να λειτουργήσουν ως ακουστικά μοντέλα ρυθμικής καθοδήγησης, με εφαρμογή σε διαφορετικά επίπεδα απόδοσης.



Εικόνα 5. Κυματομορφή (waveform) ηχοποιημένης εκτέλεσης (11,82 s) στον δρόμο με εμπόδια.



Εικόνα 6. Κυματομορφή (waveform) ηχοποιημένης εκτέλεσης (12,78 s) στον δρόμο με εμπόδια.



Εικόνα 7. Κυματομορφή (waveform) ηχοποιημένης εκτέλεσης (13,27 s) στον δρόμο με εμπόδια.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι η ηχοποίηση κινηματικών δεδομένων μπορεί να προσφέρει μια πλούσια και διακριτή ακουστική αναπαράσταση των φάσεων της τεχνικής εκτέλεσης στον δρόμο με εμπόδια. Οι φάσεις πατήματος, πτήσης και περάσματος εμποδίου μεταφράστηκαν σε ηχητικά γεγονότα, τα οποία επιτρέπουν την ακουστική παρακολούθηση της ροής της προσπάθειας με σαφήνεια και ακρίβεια. Ο ήχος, ως μέσο ενσώματης πληροφόρησης, αποδίδει με αμεσότητα τις ρυθμικές και χρονικές μεταβολές της κίνησης, δημιουργώντας ένα αντιληπτικά προσβάσιμο "ηχητικό αποτύπωμα" κάθε εκτέλεσης.

Στο πλαίσιο αυτό, η ηχοποίηση λειτουργεί ως εργαλείο ανάλυσης και ενίσχυσης της αντιληπτικής κατανόησης της τεχνικής, καθώς επιτρέπει στους αθλητές και τους προπονητές να εντοπίσουν ρυθμικές αποκλίσεις και μοτίβα χωρίς την οπτική επιβάρυνση που συχνά συνοδεύει την παραδοσιακή βιντεοανάλυση (Πορφύρη & Πετρούλια, 2021). Όπως επισημαίνουν οι Flach et al. (2004), ακόμη και απλοί χρονικοί ήχοι —όπως το χειροκρότημα— μπορούν να καταστήσουν σαφείς τις διαφορές σε συχνότητα ή συγχρονισμό. Η ακουστική πληροφόρηση έχει τη δυνατότητα να αποκαλύπτει απρόσκοπτα τη δομή της εκτέλεσης, ενεργοποιώντας μηχανισμούς άμεσης, ενσώματης αντίληψης του ρυθμού.

Η ακρίβεια στην αναγνώριση κινηματικών γεγονότων ενισχύεται περαιτέρω όταν τα ηχητικά ερεθίσματα είναι προσωποποιημένα. Οι Menzer et al. (2010) απέδειξαν ότι οι άνθρωποι εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία σε ήχους που σχετίζονται με τις ίδιες τους τις κινήσεις, καθώς αυτοί συνδέονται με εσωτερικές αναπαραστάσεις και μηχανισμούς αυτοπαρακολούθησης. Αυτή η ενσώματη εγγύτητα καθιστά τα ακουστικά σήματα ιδιαίτερα αποτελεσματικά για την αναγνώριση μοτίβων και αποκλίσεων στην απόδοση — μια διαπίστωση που ενισχύεται και από τα ευρήματα της μελέτης, καθώς τα ηχητικά προφίλ αποτύπωναν με ακρίβεια τις ρυθμικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των εκτελέσεων.

Η αξία αυτής της ακουστικής πληροφόρησης ενισχύεται από τη φύση του ήχου ως άμεσου φορέα πληροφορίας για την κίνηση και το περιβάλλον. Ο Clarke (2005) τονίζει ότι ο ήχος συνδέεται με τη δράση και το πλαίσιο στο οποίο αυτή εκτελείται, καθιστώντας τον ιδιαίτερα κατανοητό και σημασιολογικά φορτισμένο. Ο Gaver (1993) υποστηρίζει ότι ο

ήχος δεν γίνεται αντιληπτός απλώς ως αφηρημένο σήμα, αλλά ως ένδειξη συγκεκριμένων γεγονότων, όπως η πτώση ενός αντικειμένου ή το πάτημα ενός ποδιού. Η ακουστική αναπαράσταση ενός διασκελισμού ή ενός περάσματος εμποδίου λειτουργεί επομένως στην παρούσα μελέτη ως μια άμεση και βιωματική εμπειρία της κίνησης, διευκολύνοντας την κατανόηση και την αξιολόγηση της τεχνικής εκτέλεσης.

Τα ακουστικά προφίλ που παράγονται με βάση τα ατομικά κινηματικά δεδομένα μπορούν επομένως να λειτουργήσουν ως μοτίβα ρυθμικής αναφοράς, στα οποία ο ασκούμενος μπορεί να ανατρέξει για να κατανοήσει, να συγκρίνει ή να μιμηθεί την τεχνική εκτέλεση (MacPherson et al., 2013). Η ενσωμάτωση τέτοιων προτύπων στην προπονητική διαδικασία ανοίγει προοπτικές για ακουστική καθοδήγηση χωρίς την ανάγκη λεκτικών οδηγιών, προωθώντας μορφές μάθησης που βασίζονται στον ρυθμικό συγχρονισμό και την εσωτερική αίσθηση της κίνησης (Πορφύρη & Πετρούλια, 2021).

Η ακουστική ανατροφοδότηση, πέρα από την κατανόηση των φάσεων της κίνησης, μπορεί να μετατραπεί σε ένα ισχυρό εργαλείο καθοδήγησης της τεχνικής εκτέλεσης. Η παρούσα μελέτη ανέδειξε ότι τα παραγόμενα ηχητικά μοτίβα αντανakλούν το ατομικό ρυθμικό προφίλ κάθε αθλήτριας, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση τους όχι μόνο για διαγνωστικούς αλλά και για προπονητικούς σκοπούς. Η δυνατότητα προσωποποίησης των ακουστικών ακολουθιών ανάλογα με το επίπεδο επίδοσης ή τον επιθυμητό ρυθμό ενισχύει τη λειτουργικότητά τους, προσφέροντας στοχευμένη καθοδήγηση προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά του ασκούμενου (Dubus, 2012). Η εστίαση στο άκουσμα ενός ηχητικού μοντέλου που αντικατοπτρίζει την ιδανική εκτέλεση μιας κίνησης μπορεί να βοηθήσει τον ασκούμενο να συγχρονιστεί με το μοτίβο και να προσαρμόσει την τεχνική του μέσω ενσώματης προσομοίωσης. Στον σχεδιασμό τέτοιων ηχητικών προτύπων, η επιλογή κατάλληλων παραμέτρων και αντιστοιχίσεων (data-to-sound mappings) είναι κρίσιμη. Όπως επισημαίνουν οι Dubus & Bresin (2013), η επιτυχής ηχοποίηση προϋποθέτει τη λειτουργική αντιστοίχιση των φυσικών ποσοτήτων με ακουστικά χαρακτηριστικά κατανοητά από τον χρήστη, πράγμα που επιτεύχθηκε στην παρούσα μελέτη.

Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση ήχων ως «προπονητικών εργαλείων» προσφέρει ένα πλεονέκτημα έναντι των παραδοσιακών λεκτικών εντολών, καθώς μειώνει τη γνωστική επιβάρυνση και προωθεί την ασυνείδητη μάθηση. Όπως σημειώνουν οι Πορφύρη &

Πετρούλια (2021), η ακουστική καθοδήγηση μπορεί να αντικαταστήσει την οπτική πληροφόρηση, η οποία συχνά αποδεικνύεται ανεπαρκής σε έντονες ή ρυθμικές κινήσεις, και να επιτρέψει στον ασκούμενο να επικεντρωθεί στην αίσθηση του ρυθμού και της εκτέλεσης, χωρίς να υπερφορτώνεται από εξωτερικές οδηγίες. Αυτή η μορφή μάθησης, βασισμένη στην εμπειρία και την εσωτερική προσαρμογή, έχει συσχετιστεί με μεγαλύτερη σταθερότητα της απόδοσης υπό συνθήκες ψυχολογικής πίεσης (Masters, 1992).

Επιπλέον, η ευκολία με την οποία οι φάσεις της κίνησης αναγνωρίζονταν ακουστικά στις παρούσες ηχοποιημένες εκτελέσεις συμβαδίζει με πειραματικά δεδομένα που έχουν δείξει ότι διαφορετικοί τύποι ηχοποιημένων ανατροφοδοτήσεων μπορούν να προσαρμοστούν στις προτιμήσεις και τις ανάγκες του χρήστη, βελτιώνοντας τη λειτουργικότητα και την αποδοχή τους (Barrass, Schaffert, & Barrass, 2010). Το εύρος των ηχητικών μοτίβων που δημιουργήθηκαν στην παρούσα μελέτη –με διαφορετικές διάρκειες, συχνότητες γεγονότων και ρυθμικά προφίλ ανάλογα με την επίδοση κάθε αθλήτριας– αποτυπώνει ακριβώς αυτή τη δυνατότητα εξατομίκευσης.

Η παρουσίαση εξατομικευμένων ακουστικών ρυθμών που αντικατοπτρίζουν την πραγματική εκτέλεση, δημιουργεί τις συνθήκες για στοχευμένη και προσαρμοσμένη ακουστική καθοδήγηση. Όπως υποστηρίζουν οι Schaffert, Mattes, & Effenberg (2009), τέτοια ηχητικά μοντέλα μπορούν να ενσωματωθούν ακόμα και σε υψηλού επιπέδου προπονητικά προγράμματα, προσφέροντας ένα ευέλικτο μέσο που συνδέει την ανάλυση της τεχνικής με την άμεση πρακτική της αξιοποίησης. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, τα ηχητικά δεδομένα δεν λειτούργησαν απλώς ως απεικόνιση, αλλά ως δομημένα προφίλ που δυνητικά μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη προσαρμοστικών στρατηγικών μάθησης, ανάλογα με το επίπεδο, τις προτιμήσεις ή τις ανάγκες των αθλητών.

Η ιδιαίτερη αξία που έχουν τα πορίσματα των Kennel et al. (2014a, 2014b), σύμφωνα με τα οποία οι αθλητές είναι ικανοί να αναγνωρίζουν τους δικούς τους ήχους κίνησης ακόμα και όταν μεταβάλλεται η ρυθμική δομή, πιθανώς ενισχύθηκε και στην παρούσα μελέτη, καθώς οι ήχοι παρήχθησαν από πραγματικά δεδομένα και διατήρησαν τις χρονικές αναλογίες κάθε αθλήτριας.

Η συμβολή της ακουστικής πληροφόρησης στην αυτορρύθμιση και τον κινητικό έλεγχο χωρίς οπτικά ερεθίσματα τεκμηριώνεται από ερευνητές όπως οι Eriksson & Bresin (2010), οι οποίοι έδειξαν ότι οι αθλητές μπορούν να προσαρμόσουν την τεχνική τους με

βάση μόνο ακουστικά σήματα. Αντίστοιχα, οι Pizzera & Hohmann (2015) αναδεικνύουν τον ρόλο της ηχοποίησης τόσο στην εκτέλεση όσο και στην παρατήρηση της κίνησης. Τα ευρήματα συμβαδίζουν επίσης με την ιδιαίτερα σημαντική συμβολή της μελέτης των Pizzera et al. (2017) στα εμπόδια, η οποία έδειξε ότι η ακουστική έκθεση σε ρυθμικά πρότυπα μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία εσωτερικής αναπαράστασης της τεχνικής – εύρημα που ενισχύεται και από τη διαπίστωση ότι οι φάσεις και οι ρυθμικές αποκλίσεις ήταν ακουστικά ανιχνεύσιμες, ακόμη και χωρίς εικόνα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υποδεικνύουν ότι η ηχοποίηση κινηματικών δεδομένων μπορεί να εξελιχθεί σε αποτελεσματικό εργαλείο καθοδήγησης, ιδίως για αθλητές αναπτυξιακών ηλικιών. Η δομημένη ηχητική αναπαράσταση του ρυθμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προπονητικά προγράμματα με στόχο την ενίσχυση της εσωτερικής αναπαράστασης των φάσεων της κίνησης και την αυτορρύθμιση. Ιδιαίτερα στους δρόμους με εμπόδια, όπου ο ρυθμός και η χωροχρονική συνέπεια είναι κρίσιμοι για την επιτυχία, η ακουστική υποστήριξη μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα.

Επιπλέον, προτείνεται η δοκιμή διαφορετικών μορφών ηχοποιήσεων, ή ηχητικής ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση. Η χρήση ηχοποιημένων σημάτων σε ζωντανό χρόνο, όπως προτείνουν οι Hunt & Hermann (2004) και Yang & Hunt (2013), μπορεί να ενισχύσει την αλληλεπίδραση και τη διαδραστική ρύθμιση της εκτέλεσης, επιτρέποντας προσαρμοστική καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της άσκησης. Εξάλλου, η ζωντανή χρήση ρυθμικών ακουστικών ερεθισμάτων μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και την παρατεταμένη προσπάθεια (Karageorghis et al., 2013; Bigliassi et al., 2013; Thakare et al., 2017).

Τέλος, η δυνατότητα εφαρμογής σε ειδικές πληθυσμιακές ομάδες –όπως αθλητές με οπτικές ή μαθησιακές δυσκολίες– προσφέρει ένα ευρύ πεδίο μελλοντικής διερεύνησης. Η δυνατότητα αντίληψης της τεχνικής μέσω του ήχου ενισχύει την προσβασιμότητα και τη συμπερίληψη στην αθλητική μάθηση, ανοίγοντας νέους δρόμους για προπονητικά εργαλεία χωρίς εξάρτηση από την όραση ή τη λεκτική καθοδήγηση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η ηχοποίηση των κινηματικών δεδομένων στο αγώνισμα των 80 mA με εμπόδια επέτρεψε την ακριβή και διακριτή αποτύπωση των φάσεων της εκτέλεσης (πατήματος, πτήσης, περάσματος), δημιουργώντας ένα πλήρες και αναγνωρίσιμο ηχητικό αποτύπωμα για κάθε προσπάθεια.
- Τα παραγόμενα ηχητικά μοτίβα αντανακλούν το ατομικό ρυθμικό προφίλ κάθε αθλήτριας, καθιστώντας τα ικανά να λειτουργήσουν ως προσωποποιημένα πρότυπα ρυθμού. Οι ρυθμικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των εκτελέσεων αναγνωρίζονταν μέσω του ήχου, χωρίς την ανάγκη οπτικής αναπαράστασης, στοιχείο που αναδεικνύει την ηχοποίηση ως μέσο ενίσχυσης της αντιληπτικής κατανόησης του ρυθμού.
- Η μέση διάρκεια των επιμέρους φάσεων αποτυπώνει τη σταθερότητα του ρυθμικού προτύπου και ενισχύει την υπόθεση ότι η τεχνική εκτέλεση ακολουθεί επαναλαμβανόμενη κινηματική δομή.
- Η χρήση αυθεντικών ήχων πατήματος και η συγχρονισμένη αναπαραγωγή με τα χρονικά δεδομένα προσέδωσαν φυσικότητα και ρεαλισμό στα ακουστικά μοντέλα, υποστηρίζοντας την ακρίβεια της ηχητικής ανατροφοδότησης.
- Η μελέτη προσφέρει ενδείξεις ότι η ακουστική ανατροφοδότηση μπορεί να υποστηρίξει την εσωτερική αναπαράσταση της τεχνικής και να συμβάλει στην ανάπτυξη μη-λεκτικών, ρυθμικά καθοδηγούμενων μορφών μάθησης.
- Παρότι η έρευνα δεν περιλάμβανε πειραματική προπονητική παρέμβαση, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χρήση ακουστικών προτύπων σε ρυθμικά αγωνίσματα θα μπορούσε να ενισχύσει την αυτορρύθμιση της τεχνικής και τη σταθερότητα της απόδοσης.
- Τα παραγόμενα ηχητικά μοτίβα μπορούν να αξιοποιηθούν ως εργαλεία ακουστικής καθοδήγησης σε προγράμματα προπόνησης νέων αθλητών, ιδιαίτερα σε στάδια τεχνικής εκμάθησης.
- Η μεθοδολογία ηχοποίησης που εφαρμόστηκε μπορεί να αποτελέσει βάση για την ανάπτυξη προπονητικών εφαρμογών ή εκπαιδευτικών εργαλείων με διαδραστικά ακουστικά στοιχεία.

- Η ηχοποίηση μπορεί να υποστηρίξει την προπόνηση αθλητών με οπτικές ή μαθησιακές δυσκολίες, προσφέροντας προσβάσιμη και πολυαισθητηριακή ανατροφοδότηση. Προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου σε συνθήκες πραγματικού χρόνου (real-time feedback), καθώς και η επέκταση της χρήσης της σε άλλα τεχνικά αγωνίσματα του στίβου που παρουσιάζουν ρυθμική δομή.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abbiss, C., & Laursen, P. B. (2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38(3), 239–252. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00004>
2. Agostini, T., Righi, G., Galmonte, A., & Bruno, P. (2004). The relevance of auditory information in optimizing hammer throwers performance. In P. B. Pascolo (Ed.), *Biomechanics and Sports* (pp. 67–74).
3. Barrass, S., Schaffert, N., & Barrass, T. (2010). Probing Preferences between Six Designs of Interactive Sonifications for Recreational Sports, Health and Fitness. *In Proceedings of ISON 2010, 3rd Interactive Sonification Workshop* (pp. 23–29). KTH, Stockholm, Sweden.
4. Barwood, M. J., Weston, N. J., Thelwell, R., & Page, J. (2009). A motivational music and video intervention improves high-intensity exercise performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(3), 435–442.
5. Bigliassi, M., Estanislau, C., Carneiro, J. G., Ferreira, D. K. T., & Altimari, L. R. (2013). Music: A psychophysiological aid to physical exercise and sport. *Archivos de Medicina Deporte*, 30, 311–320.
6. Bood, R. J., Nijssen, M., van der Kamp, J., & Roerdink, M. (2013). The power of auditory-motor synchronization in sports: Enhancing running performance by coupling cadence with the right beats. *PLOS ONE*, 8(8), e70758. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070758>
7. Brown, L. M., Brewster, S. A., Ramloll, R., Burton, M., & Riedel, B. (2003). Design guidelines for audio presentation of graphs and tables. *In Proceedings of the 9th International Conference on Auditory Display (ICAD2003)* (pp. 284–287). Boston, MA.
8. Clarke, E. (2005). Ways of listening: An ecological approach to the perception of musical meaning. *Oxford University Press*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195151947.001.0001>
9. Dombois, F. (2002). Auditory seismology on free oscillations, focal mechanisms, explosions, and synthetic seismograms. *In Proceedings of the 8th International Conference on Auditory Display* (pp. 27–30). Kyoto, Japan.
10. Dubus, G. (2012). Evaluation of four models for the sonification of elite rowing. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 5(3–4), 143–156. <https://doi.org/10.1007/s12193-011-0085-1>

11. Dubus, G., & Bresin, R. (2013). A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical qualities. *PLOS ONE*, 8(12), e82491. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082491>
12. Eriksson, M., & Bresin, R. (2010). Improving running mechanics by use of interactive sonification. In *Proceedings of the ISON 2010, 3rd Interactive Sonification Workshop* (pp. 95–98). KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
13. Eriksson, M., Halvorsen, K. A., & Gullstrand, L. (2011). Immediate effect of visual and auditory feedback to control the running mechanics of well-trained athletes. *Journal of Sports Sciences*, 29(3), 253–262. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.523088>
14. Flach, R., Knoblich, G., & Prinz, W. (2004). Recognizing one's own clapping: The role of temporal cues. *Psychological Research*, 69(1–2), 147–156. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0165-2>
15. Flowers, J. H., Buhman, D. C., & Turnage, K. D. (1997). Cross-modal equivalence of visual and auditory scatterplots for exploring bivariate data samples. *Human Factors*, 39(3), 341–351. <https://doi.org/10.1518/001872097778827151>
16. Gardner, J. A., Lundquist, R., & Sahyun, S. (1996). TRIANGLE: A practical application of non-speech audio for imparting information. In *Proceedings of the International Conference on Auditory Display* (pp. 59–60). San Francisco, CA.
17. Gaver, W. W. (1993). What in the world do we hear? An ecological approach to auditory event perception. *Ecological Psychology*, 5(1), 1–29. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0501_1
18. Halperin, I., Aboodarda, S. J., Basset, F. A., Byrne, J. M., & Behm, D. G. (2014). Pacing strategies during repeated maximal voluntary contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 114(6), 1413–1420. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2872-3>
19. Hamilton, A. R., & Behm, D. G. (2017). The effect of prior knowledge of test endpoint on non-local muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 651–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3526-4>
20. Hay, L., & Schoebel, P. (1990). Spatio-temporal invariants in hurdle racing patterns. *Human Movement Science*, 9(1), 37–54. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(90\)90034-B](https://doi.org/10.1016/0167-9457(90)90034-B)
21. Hermann, T., & Hunt, A. (2005). An introduction to interactive sonification. *IEEE Multimedia*, 12(2), 20–24. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2005.26>
22. Holmes, P. S., & Collins, D. J. (2001). The PETTLEP approach to motor imagery: A functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of Applied Sport*

Psychology, 13(1), 60–83. <https://doi.org/10.1080/10413200109339004>

23. Hunt, A., & Hermann, T. (2004). The importance of interaction in sonification. In S. Barrass & P. Vickers (Eds.), *Proceedings of ICAD 04 – Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display*. Sydney, Australia.
24. Jackson, R. C., & Farrow, D. (2005). Implicit perceptual training: How, when, and why? *Human Movement Science*, 24(3), 308–325. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.06.003>
25. Kennel, C., Hohmann, T., & Raab, M. (2014). Action perception via auditory information: Agent identification and discrimination with complex movement sounds. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(2), 157–165. <https://doi.org/10.1080/20445911.2013.869226>
26. Kennel, C., Pizzera, A., Hohmann, T., Schubotz, R. I., Murgia, M., Agostini, T., & Raab, M. (2014). The perception of natural and modulated movement sounds. *Perception*, 43(8), 796–804. <https://doi.org/10.1068/p7643>
27. Kennel, C., Streese, L., Pizzera, A., Justen, C., Hohmann, T., & Raab, M. (2015). Auditory reafferences: The influence of real-time feedback on movement control. *Frontiers in Psychology*, 6, 69. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00069>
28. Kramer, G., Walker, B., Bonebright, T., Cook, P., Flowers, J., Miner, N., & Neuhoff, J. (1999). Sonification report: Status of the field and research agenda. *Faculty Publications, Department of Psychology*, 444. <https://digitalcommons.unl.edu/psychfacpub/444>
29. MacPherson, A., Collins, D., & Morriss, C. (2008). Is what you think what you get? Optimizing mental focus for technical performance. *The Sport Psychologist*, 22(3), 288–303.
30. MacPherson, A. C., Collins, D., & Obhi, S. S. (2009). The importance of temporal structure and rhythm for the optimum performance of motor skills: A new focus for practitioners of sport psychology. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21(1), 48–61. <https://doi.org/10.1080/10413200802595930>
31. MacPherson, A. C., Collins, D., & Turner, A. P. (2007). An investigation of natural cadence between cyclists and noncyclists. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78(4), 396–400. <https://doi.org/10.1080/02701367.2007.10599438>
32. Maddigan, M. E., Sullivan, K. M., Halperin, I., Basset, F. A., & Behm, D. G. (2019). High tempo music prolongs high intensity exercise. *PeerJ*, 6, e6164. <https://doi.org/10.7717/peerj.6164>

33. Masters, R. S. (1992). Knowledge, nerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83(3), 343–358.
34. Menzer, F., Brooks, A., Halje, P., Faller, C., Vetterli, M., & Blanke, O. (2010). Feeling in control of your footsteps: Conscious gait monitoring and the auditory consequences of footsteps. *Cognitive Neuroscience*, 1(3), 184–192. <https://doi.org/10.1080/17588921003743581>
35. Neuhoff, J. G., & Heller, L. M. (2005). One small step: Sound sources and events as the basis for auditory graphs. In *Proceedings of the 11th Meeting of the International Conference on Auditory Display*. Limerick, Ireland.
36. Neuhoff, J. G., Wayand, J., & Kramer, G. (2002). Pitch and loudness interact in auditory displays: Can the data get lost in the map? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(1), 17–25. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.1.17>
37. Panteli, F., Theodorou, A., & Smirniotou, A. (2023). A hurdle-based learning design effect on locomotion pattern and hurdle clearance kinematic reorganization. *Motor Control*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/mc.2022-0109>
38. Pizzera, A., & Hohmann, T. (2015). Acoustic information during motor control and action perception: A review. *The Open Psychology Journal*, 8(Suppl 3: M3), 183–191. <https://doi.org/10.2174/1874350101508010183>
39. Pizzera, A., Hohmann, T., Streese, L., Habbig, A., & Raab, M. (2017). Long-term effects of acoustic refference training (ART). *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1279–1288. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1381767>
40. Πορφύρη, Π.-Ε., & Πετρούλια, Σ. (2021). Εφαρμογές ηχοποίησης στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων στα άλματα του κλασικού αθλητισμού (*Πτυχιακή εργασία*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού).
41. Rocchesso, D., Polotti, P., & Delle Monache, S. (2009). Designing continuous sonic interaction. *International Journal of Design*, 3(3), 13–25.
42. Schaffert, N., Mattes, K., Barrass, S., & Effenberg, A. O. (2009). Exploring function and aesthetics in sonifications for elite sports. In *Proceedings of the Second International Conference on Music Communication Science*. Sydney, Australia.
43. Schaffert, N., Mattes, K., & Effenberg, A. O. (2010). Listen to the boat motion: Acoustic information for elite rowers. In *Proceedings of ISON 2010, 3rd Interactive Sonification Workshop* (pp. 31–37). KTH, Stockholm, Sweden.

44. Smith, D. R., & Walker, B. N. (2005). Effects of auditory context cues and training on performance of a point estimation sonification task. *Applied Cognitive Psychology*, 19(8), 1065–1087.
45. Stockman, T., Rajgor, N., Metatla, O., & Harrar, L. (2007). The design of interactive audio soccer. *In Proceedings of the 13th International Conference on Auditory Display* (pp. 526–529). Montreal, Canada.
46. Thakare, A. E., Mehrotra, R., & Singh, A. (2017). Effect of music tempo on exercise performance and heart rate among young adults. *International Journal of Physiology, Pathophysiology and Pharmacology*, 9(2), 35–39.
47. Tomazini, F., Pasqua, L. A., Damasceno, M. V., Silva-Cavalcante, M. D., de Oliveira, F. R., Lima-Silva, A., & Pasqua, L. A. (2015). Head-to-head running race simulation alters pacing strategy, performance, and mood state. *Physiology & Behavior*, 149, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.05.021>
48. Tucer, R. (2009). The anticipatory regulation of performance: The physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, 43(6), 392–400. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.050799>
49. Vroomen, J., & de Gelder, B. (2000). Sound enhances visual perception: Cross-modal effects of auditory organization on vision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(5), 1583–1590.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

8.1 Συγκατάθεση Γονέα ή Νόμιμου Εκπροσώπου

Τίτλος Έρευνας: Μοτίβα Ηχοποίησης της Κινητικής Δεξιότητας του Δρόμου με Εμπόδια

Επιστημονικά Υπεύθυνη: Ζέτου-Μουντάκη Ελένη

Υπεύθυνος Επεξεργασίας Δεδομένων: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Στοιχεία Υπεύθυνου Έρευνας: Χατζηαποστόλου Κυριάκος

email: kyrichat10@phyed.duth.gr

Τηλέφωνο: +30 6943667261

Σας παρέχουμε πληροφορίες σχετικά με την έρευνα που αφορά στη μελέτη της ηχοποίησης των κινηματικών χαρακτηριστικών στον δρόμο με εμπόδια. Μπορείτε να συζητήσετε τις πληροφορίες αυτού του εντύπου με την οικογένειά σας, τον/την προπονητή/τρια σας, φίλους ή οποιονδήποτε άλλο θεωρείτε κατάλληλο. Δεν απαιτείται να λάβετε άμεση απόφαση και μπορείτε να αφιερώσετε χρόνο για να σκεφτείτε αν επιθυμείτε τη συμμετοχή του παιδιού σας στην έρευνα. Σας προτρέπουμε να μελετήσετε προσεκτικά το περιεχόμενο και να επικοινωνήσετε με τους υπεύθυνους της μελέτης για τυχόν ερωτήσεις ή διευκρινίσεις.

Πληροφορίες σχετικά με τη μελέτη

Η συγκεκριμένη έρευνα διεξάγεται στο πλαίσιο μεταπτυχιακής εργασίας και έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός ηχητικού μοντέλου που να λειτουργεί ως οδηγός ρυθμού για αθλητές, μέσω της ηχοποίησης δεδομένων από διασκελισμούς και περάσματα εμποδίων αθλητών υψηλού επιπέδου. Η έρευνα αποσκοπεί στη βελτίωση της κινητικής δεξιότητας και της ρυθμικής εκτέλεσης των περασμάτων, συμβάλλοντας στη βελτίωση των προπονητικών μεθόδων.

Διαδικασία Συμμετοχής

- Οι συμμετέχοντες θα είναι αθλητές/τριες 14-15 ετών (κατηγορία K16) που πληρούν τα όρια συμμετοχής στο Πανελλήνιο Πρωτάθλημα Στίβου K16.
- Οι αθλητές/τριες θα εκτελέσουν δοκιμασίες μέγιστης προσπάθειας στο αγώνισμα των 80 μέτρων με εμπόδια, κατά τις οποίες θα καταγράφονται δεδομένα κινηματικής ανάλυσης μέσω βιντεοσκόπησης υψηλής συχνότητας.

- Δεν χρειάζεται να απασχοληθείτε χρονικά για τη συγκεκριμένη έρευνα πέρα από την ανάγνωση αυτής της φόρμας συγκατάθεσης. Η εικονοσκόπηση θα γίνει κατά τη διάρκεια αγωνιστικής προσπάθειας.
- Οι δοκιμασίες που θα εκτελέσουν οι συμμετέχοντες δεν διαφέρουν από την αγωνιστική διαδικασία του αγωνίσματος και δεν ενέχουν πρόσθετους κινδύνους πέραν αυτών που συνήθως υπάρχουν σε μια προπονητική ή αγωνιστική προσπάθεια. Παρόλα αυτά, όπως σε κάθε αθλητική δραστηριότητα, υπάρχει ένας ελάχιστος κίνδυνος κόπωσης, μυϊκής καταπόνησης ή μικροτραυματισμού. Η διεξαγωγή των μετρήσεων θα γίνει με την παρουσία αρμόδιου προσωπικού και θα λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για τη διασφάλιση της ασφάλειας των αθλητών.
- Τα δεδομένα θα αναλυθούν και θα μετατραπούν σε ηχητικά μοτίβα με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού ώστε να προκύψουν πρότυπα ιδανικού ρυθμού για τα εμπόδια.

Διαχείριση και Προστασία Δεδομένων

- Τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς.
- Η έρευνα αυτή θα συμβάλει στην επιστημονική γνώση καταγράφοντας και αναλύοντας τα κινηματικά δεδομένα των περασμάτων εμποδίων, με στόχο την ανάπτυξη ηχητικών μοτίβων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία προπόνησης για τη βελτίωση του ρυθμού και της τεχνικής των αθλητών.
- Δεν θα αποθηκευτούν ονόματα ή άλλα προσωπικά στοιχεία των συμμετεχόντων.
- Τα προσωπικά στοιχεία σας και του παιδιού σας θα είναι κωδικοποιημένα και προστατευμένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μετά την πάροδο 24 μηνών (2 έτη) θα διαγραφούν. Ένα συγκεντρωτικό αρχείο αποτελεσμάτων, χωρίς αναφορά σε προσωπικά δεδομένα, θα παραμείνει αποθηκευμένο μετά από κωδικοποίηση.
- Οι συμμετέχοντες θα έχουν τη δυνατότητα να ενημερωθούν ατομικά για τις προσωπικές τους επιδόσεις εφόσον το επιθυμούν. Τα αποτελέσματα θα κοινοποιηθούν με ασφαλή τρόπο και μόνο στους ίδιους ή στους γονείς/κηδεμόνες τους, σύμφωνα με τις αρχές προστασίας προσωπικών δεδομένων.
- Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της έρευνας ενδέχεται να δημοσιευθούν σε επιστημονικά περιοδικά, χωρίς να εμφανίζονται προσωπικά στοιχεία.

Δικαιώματα Συμμετεχόντων

- Η συμμετοχή στην έρευνα είναι εθελοντική.
- Μπορείτε να αποσύρετε τη συγκατάθεσή σας και να διακόψετε τη συμμετοχή του παιδιού σας οποιαδήποτε στιγμή, χωρίς καμία επίπτωση.
- Μπορείτε να ζητήσετε τη διαγραφή των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί για το παιδί σας.

- Αν επιθυμείτε περισσότερες πληροφορίες, μπορείτε να επικοινωνήσετε με τον υπεύθυνο της έρευνας.

Έχω διαβάσει τις παρεχόμενες πληροφορίες. Είχα την ευκαιρία να κάνω ερωτήσεις σχετικά με το περιεχόμενο της ενημέρωσης και όλες οι ερωτήσεις μου απαντήθηκαν ικανοποιητικά. Γνωρίζω ότι θα μου δοθεί αντίγραφο αυτής της φόρμας συγκατάθεσης και ο ερευνητής θα φυλάξει ένα άλλο αντίγραφο στο αρχείο. Συμφωνώ οικειοθελώς να συμμετάσχει το παιδί μου σε αυτή την μελέτη/έρευνα.

Ονοματεπώνυμο Συμμετέχοντα

Ονοματεπώνυμο Γονέα ή Νόμιμου Εκπροσώπου

Σχέση με τον συμμετέχοντα: ☐ Γονέας ☐ Νόμιμος Εκπρόσωπος ☐ Άλλο

Υπογραφή

Ημερομηνία