



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

“ Μελέτη Στοιχείων Επιβάρυνσης Βοηθού Διαιτητή σε Διαφορετικά Αγωνιστικά Επίπεδα Μεσω Wearable Τεχνολογίας: Ενδοατομική Προσέγγιση ”

Κωνσταντίνος Λιόντος (ΑΜ:13146)

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

Επιβλέπων καθηγητής: Αθανάσιος Χατζηνικολάου, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α – ΔΠΘ
2 ο μέλος: Αλεξάνδρα Αυλωνίτη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια , Τ.Ε.Φ.Α.Α – ΔΠΘ
3 ο μέλος: Παναγιώτης Φωτεινάκης , Επίκουρος Καθηγητής, Τ.Ε.Φ.Α.Α – ΔΠΘ

Κομοτηνή 2026



DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

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

DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE

POSTGRADUATE PROGRAM

"EXERCISE PHYSIOLOGY & SPORTS TRAINING SCIENCE"

MASTER DISSERTATION

**“Study of the Physical Load of an Assistant Referee at Different
Competitive Levels Through Wearable Technology: An Intra-
Individual Approach”**

Konstantinos Lontos (R.N. 13146)

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

COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervising professor: Athanasios Chatzinikolaou, Professor D.P.E.S.S – DUTH

2nd member: Alexandra Avloniti, Associate Professor D.P.E.S.S – DUTH

3rd member: Panagiotis Fotinakis, Assistant Professor D.P.E.S.S – DUTH

Komotini, February 2026

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Χατζηνικολάου Αθανάσιο για την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Επίσης την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Αυλωνίτη Αλεξάνδρα καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Φωτεινάκη Παναγιώτη για την πολύτιμη βοήθεια τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και την κοπέλα που ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Αντικείμενο της Μελέτης	10
1.2 Αναγκαιότητα και σημασία της έρευνας.....	10
1.3 Σκοπός της Έρευνας	14
1.4 Ερευνητικές υποθέσεις	15
1.5 Οριοθετήσεις της Έρευνας.....	17
1.6 Περιορισμοί της Έρευνας.....	17
1.7 Συντομογραφίες.....	17
2.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	19
2.1 Δείγμα	19
2.2 Πειραματικός σχεδιασμός.....	19
2.3 Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης	20
2.4 Στατιστική Ανάλυση	20
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	21
3.1. Διάρκεια του αγώνα.....	22
3.2. Απόσταση	23
3.3. Μέση Καρδιακή συχνότητα	24
3.4. Μέγιστη Καρδιακή συχνότητα	25
3.5. Μέση Ταχύτητα.....	26
3.6. Μέγιστη Ταχύτητα	27
3.7. Μέσος Ρυθμός Κίνησης.....	28
3.8. Μέγιστος Ρυθμός Κίνησης	29
3.9. Μέση Συχνότητα Βημάτων.....	30
3.10. Μέγιστη Συχνότητα Βημάτων	31
3.11. Απόσταση ανά Ημίχρονο και Αγωνιστική Κατηγορία	32
3.12. Μέση Ταχύτητα ανά Ημίχρονο και Αγωνιστική Κατηγορία	33
3.13. Μέση Ταχύτητα ανά Ημίχρονο και Αγωνιστική Κατηγορία	34
4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ	35
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	42
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Διάρκεια του αγώνα ανά αγωνιστική κατηγορία	21
Σχήμα 2. Απόσταση ανά αγωνιστική κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία	22
Σχήμα 3. Μέση καρδιακή συχνότητα ανά αγωνιστική κατηγορία.....	23
Σχήμα 4. Μέγιστη καρδιακή συχνότητα ανά αγωνιστική κατηγορία	24
Σχήμα 5. Μέση Ταχύτητα ανά αγωνιστική κατηγορία.....	25
Σχήμα 6. Μέγιστη Ταχύτητα ανά αγωνιστική κατηγορία	26
Σχήμα 7. Μέσος ρυθμός Κίνησης ανά αγωνιστική κατηγορία	27
Σχήμα 8 . Μέγιστος ρυθμός Κίνησης ανά αγωνιστική κατηγορία	28
Σχήμα 9. Μέση συχνότητα βημάτων ανά αγωνιστική κατηγορία	29
Σχήμα 10. Μέγιστη συχνότητα βημάτων ανά αγωνιστική κατηγορία.....	30
Σχήμα 11. Απόσταση ανά αγωνιστική κατηγορία και ανα ημίχρονο.....	31
Σχήμα 12. Μέση ταχύτητα ανά αγωνιστική κατηγορία και ανα ημίχρονο	32
Σχήμα 13. Μέση καρδιακή συχνότητα ανά αγωνιστική κατηγορία και ανα ημίχρονο.....	33

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Λιόντος Κωνσταντίνος : Μελέτη στοιχείων επιβάρυνσης βοηθού διαιτητή σε διαφορετικά αγωνιστικά επίπεδα μέσω Wearable Τεχνολογίας: Ενδοατομική προσέγγιση

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή Χατζηνικολάου Αθανάσιου)

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή εξετάζει την επιβάρυνση ενός Βοηθού Διαιτητή σε διαφορετικά αγωνιστικά επίπεδα ποδοσφαίρου (SL1, SL2 και L), με στόχο την ποσοτικοποίηση της επιβάρυνσης μέσω φορητής τεχνολογίας (Polar Pacer) ως εργαλείο παρακολούθησης. Συνολικά, αναλύθηκαν δεδομένα από 60 αγώνες (20 ανά κατηγορία) ενός βοηθού διαιτητή. Μεταβλητές: διάρκεια αγώνα, συνολική απόσταση, μέση και μέγιστη ταχύτητα, μέσο και μέγιστο ρυθμό κίνησης, μέση και μέγιστη συχνότητα βημάτων, μέση και μέγιστη καρδιακή συχνότητα και συνολική δαπάνη ενέργειας. Για τις μεταβλητές του αγώνα εφαρμόστηκε ANOVA με έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα, ενώ για την επίδραση του ημιχρόνου χρησιμοποιήθηκε ANOVA με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες για την απόσταση, τη μέση ταχύτητα και τη μέση καρδιακή συχνότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αγώνες στην κατηγορία SL1 παρουσίασαν υψηλότερη συνολική απόσταση ($\pm 4,36$ km), μέση καρδιακή συχνότητα ($\pm 124,23$ bpm), μέγιστη καρδιακή συχνότητα (170,05 bpm) και μέση ταχύτητα ($\pm 2,55$ m/s) σε σχέση με την κατηγορία SL2 ($\pm 4,16$ km, $\pm 123,10$ bpm, $\pm 169,35$ bpm, $\pm 2,36$ m/s) και το L επίπεδο ($\pm 3,41$ km, $\pm 105,63$ bpm, $\pm 139,20$ bpm, $\pm 2,04$ m/s). Η ανάλυση ανά ημίχρονο έδειξε μικρή μείωση στη μέση απόσταση και ταχύτητα στο Β' ημίχρονο, ιδιαίτερα στο L επίπεδο (απόσταση A/B: $\pm 1,717/1,701$ km, μέση ταχύτητα A/B: $\pm 2,079/2,05$ m/s). Συμπερασματικά, το αγωνιστικό επίπεδο επηρεάζει σημαντικά τις παραμέτρους εξωτερικής και εσωτερικής επιβάρυνσης των βοηθών διαιτητών. Η φορητή τεχνολογία παρέχει αξιόπιστα δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη εξατομικευμένων προπονητικών προγραμμάτων, βελτιώνοντας την απόδοση και την κατανόηση του ρόλου των βοηθών στο σύγχρονο ποδόσφαιρο.

Λέξεις-κλειδιά: Βοηθοί Διαιτητές, Φορητή Τεχνολογία, Καρδιακή Συχνότητα

ABSTRACT

Liontos Konstantinos: Study of the physical load of an assistant referee at different competitive levels through wearable technology: An intra-individual approach

(Supervised by Professor Athanasios Chatzinikolaou)

This study investigates the physiological demands of an assistant referee across different competitive levels of football (SL1, SL2, and L), aiming to quantify training load using wearable technology (Polar Pacer) as a monitoring tool. Data from 60 matches (20 per competitive level) of an assistant referee were analyzed. Variables included match duration, total distance covered, mean and peak speed, mean and peak pace, mean and peak cadence, and mean and peak heart rate. One-way repeated measures ANOVA was applied to match-level variables, while two-way repeated measures ANOVA examined the effect of halftime on distance, mean velocity, and mean heart rate. Results indicated that assistant referees at the SL1 level exhibited higher total distance (± 4.36 km), mean heart rate (± 124.23 bpm), peak heart rate (± 170.05 bpm), and mean velocity (± 2.55 m/s) compared to SL2 (± 4.16 km, ± 123.10 bpm, ± 169.35 bpm, ± 2.36 m/s) and L level (± 3.41 km, ± 105.63 bpm, ± 139.20 bpm, ± 2.04 m/s). Halftime analysis revealed a slight reduction in mean distance and velocity during the second half, particularly at the L level (distance H1/H2: $\pm 1.717/1.701$ km; mean velocity H1/H2: $\pm 2.079/2.05$ m/s). In conclusion, competitive level significantly influences the physiological demands of assistant referees. Wearable technology provides reliable data that can inform individualized training programs, enhancing performance and supporting a better understanding of the assistant referee's role in modern football.

Keywords: Assistant Referees, Wearable Technology, Heart Rate

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαιτησία αποτελεί αναπόσπαστο και ιδιαίτερα χρήσιμο στοιχείο του ποδοσφαίρου. Οι Διαιτητές και οι Βοηθοί Διαιτητές επιτελούν έναν ιδιαίτερα απαιτητικό ρόλο, καθώς καλούνται να λαμβάνουν ορθές αποφάσεις με ταχύτητα και συνέπεια καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού, γεγονός που συνεπάγεται σημαντική σωματική καταπόνηση. Οι διαιτητές και οι βοηθοί διαιτητές ποδοσφαίρου διαδραματίζουν πρωταρχικό ρόλο, με κύρια λειτουργία τους να είναι «το πρόσωπο που ελέγχει την πραγματική διεξαγωγή ενός αγώνα, εφαρμόζοντας τους κανονισμούς και τους νόμους του αθλήματος ώστε να κρίνει παραβάσεις, την απόδοση, τον χρόνο και το σκορ (MacMahon et al., 2014).

Είναι γνωστό από τη διεθνή βιβλιογραφία ότι οι απαιτήσεις των ποδοσφαιριστών παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο, αλλά και μεταξύ των δύο ημιχρόνων. Στα επαγγελματικά πρωταθλήματα παρατηρούνται μεγαλύτερη συνολική απόσταση, υψηλότερη ένταση και περισσότερες ενέργειες υψηλής ταχύτητας, συγκριτικά με τα ερασιτεχνικά πρωταθλήματα (Di Salvo et al., 2007; Barnes et al., 2014). Πιο συγκεκριμένα, οι Gomes et al. (2024) αναφέρουν ότι οι βοηθοί διαιτητές στην Premier League και στη Serie A καλύπτουν περίπου 6,5 χλμ. ανά παιχνίδι, με τα περισσότερα μέτρα να καλύπτονται στο πρώτο ημίχρονο. Επίσης, έχει τεκμηριωθεί ότι η ένταση στο δεύτερο μέρος είναι χαμηλότερη συγκριτικά με το πρώτο, με χαμηλότερες ταχύτητες, λιγότερα σπριντ και λιγότερες αλλαγές κατεύθυνσης, γεγονός που αποδίδεται στην κόπωση (Mohr et al., 2003; Krusturp et al., 2006). Οι διαφοροποιήσεις αυτές καταδεικνύουν ότι το αγωνιστικό επίπεδο και η χρονική φάση του αγώνα επηρεάζουν άμεσα την εξωτερική και την εσωτερική επιβάρυνση των αθλητών.

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τις φυσιολογικές απαιτήσεις των διαιτητών και των βοηθών διαιτητών, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με το επίπεδο της διοργάνωσης. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι διαιτητές σε επαγγελματικά πρωταθλήματα καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις και εμφανίζουν υψηλότερη μέση και μέγιστη καρδιακή συχνότητα σε σχέση με διαιτητές χαμηλότερων κατηγοριών (Castagna et al., 2004; Gomes et al., 2024). Οι Stojanovic et al. (2024) αναφέρουν ότι η μέση καρδιακή συχνότητα (HRavg) κυμαίνεται μεταξύ 115-145 bpm, δηλαδή σε ποσοστό 65-85% της

μέγιστης καρδιακής συχνότητας (HRmax), ενώ η HRmax κυμαίνεται μεταξύ 170-190 bpm. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι οι διαιτητές υπόκεινται σε υψηλά επίπεδα φυσιολογικής επιβάρυνσης, τα οποία επηρεάζονται τόσο από το αγωνιστικό επίπεδο όσο και από τη χρονική εξέλιξη του αγώνα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κινητικά πρότυπα των Βοηθών Διαιτητών, τα οποία διαφέρουν ποιοτικά από εκείνα των κεντρικών διαιτητών. Οι Βοηθοί Διαιτητές χαρακτηρίζονται από επαναλαμβανόμενα σύντομα σπριντ, πλάγιες μετακινήσεις, γρήγορες επιταχύνσεις και απότομες αλλαγές κατεύθυνσης, με κύριο στόχο τη διατήρηση της ευθείας με τον τελευταίο αμυντικό και την ακριβή εκτίμηση των φάσεων οφσάιντ (Di Salvo et al., 2012; Martinez-Torremocha et al., 2025). Μπορεί να καλύπτουν μικρότερη συνολική απόσταση από τους Διαιτητές, όμως η δραστηριότητά τους περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό εκρηκτικών κινήσεων, με συνεχόμενες αλλαγές κατεύθυνσης και σπριντ σε πολύ μικρές αποστάσεις. Μια ακριβής καταγραφή και ανάλυση αυτών των απαιτήσεων μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της προετοιμασίας και της απόδοσης των Βοηθών Διαιτητών σε όλα τα αγωνιστικά επίπεδα.

Η χρήση φορητής τεχνολογίας, όπως το ρολόι Polar Pacer και η εφαρμογή Polar Flow, έχει επιτρέψει την αξιόπιστη καταγραφή φυσιολογικών και κινητικών παραμέτρων σε πραγματικές συνθήκες αγώνα. Παρότι υπάρχει διαθέσιμη πληθώρα τέτοιων συστημάτων, η πλειονότητα των ερευνών εστιάζει σε επαγγελματίες διαιτητές ή σε ομαδικές συγκρίσεις. Αντιθέτως, είναι περιορισμένες οι μελέτες που εξετάζουν ατομικά δεδομένα Βοηθών Διαιτητών σε διαφορετικά αγωνιστικά επίπεδα. Η διερεύνηση τέτοιων διαφορών μπορεί να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση των φυσιολογικών απαιτήσεων ενός Βοηθού Διαιτητή, με στόχο την εξατομίκευση της προπόνησης, η οποία, με τη σειρά της, μπορεί να οδηγήσει σε αγωνιστική βελτίωση.

Η κατανόηση των φυσιολογικών και κινητικών απαιτήσεων των Βοηθών Διαιτητών σε διαφορετικά αγωνιστικά επίπεδα έχει ιδιαίτερη πρακτική και επιστημονική αξία, καθώς μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση του προπονητικού σχεδιασμού, στη μείωση του κινδύνου τραυματισμών και στη διατήρηση υψηλού επιπέδου απόδοσης κατά τη διάρκεια των αγώνων. Επιπλέον, η ενδοατομική ανάλυση δεδομένων προσφέρει ακριβέστερη εικόνα των πραγματικών απαιτήσεων του ρόλου, καλύπτοντας ένα σημαντικό ερευνητικό κενό της υπάρχουσας βιβλιογραφίας.

1.1. Αντικείμενο της Μελέτης

Ο Βοηθός Διαιτητής αποτελεί μια διαφορετική περίπτωση από τον κεντρικό Διαιτητή, καθώς κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού οι κινήσεις του περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό πλάγιων βημάτων, γρήγορες αλλαγές κατεύθυνσης και σπριντ σύντομης διάρκειας, ενώ όλα αυτά εκτελούνται παραμένοντας στην πλάγια γραμμή του γηπέδου και διατηρώντας, ταυτόχρονα, πλήρη συγκέντρωση καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού. Είναι κατανοητό ότι αυτό δημιουργεί υψηλές απαιτήσεις στο επίπεδο της φυσικής κατάστασης, τόσο σε καρδιοαναπνευστικό όσο και σε νευρομυϊκό επίπεδο, και, επομένως, απαιτείται συστηματική καταγραφή και παρακολούθηση αυτών των στοιχείων κατά τη διάρκεια του αγώνα.

Για την αξιολόγηση αυτών των απαιτήσεων χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές (wearable technology), όπως το Polar Flow, το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής αντικειμενικών δεδομένων για μεταβλητές όπως η καρδιακή συχνότητα (Heart Rate), από την οποία συλλέγονται δεδομένα για τη χαμηλότερη, την υψηλότερη και τη μέση τιμή κατά τη διάρκεια ενός παιχνιδιού, η συνολική απόσταση που διένυσε ο Βοηθός Διαιτητής στον αγώνα και στα δύο ημίχρονα, η μέση και η μέγιστη ταχύτητα που ανέπτυξε, ο μέσος και ο ταχύτερος ρυθμός ανά χιλιόμετρο, η μέση και η μέγιστη συχνότητα βημάτων ανά λεπτό και, τέλος, η ενεργειακή δαπάνη (θερμίδες).

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη διερεύνηση των φυσιολογικών απαιτήσεων ενός Βοηθού Διαιτητή σε τρεις κατηγορίες αγώνων (SL1, SL2 και L), χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα ατομικά δεδομένα του συμμετέχοντα. Η ενδοατομική προσέγγιση επιτρέπει την ακριβέστερη αξιολόγηση των διαφορών φόρτισης και φυσιολογικής επιβάρυνσης.

1.2. Αναγκαιότητα και σημασία της έρευνας

Στη σύγχρονη εποχή έχει επιβεβαιωθεί ότι οι Διαιτητές και οι Βοηθοί Διαιτητές επιτελούν ιδιαίτερα απαιτητικό έργο, τόσο σε σωματικό όσο και σε γνωστικό επίπεδο, καθώς καλούνται να λάβουν στιγμιαία μια σωστή απόφαση υπό συνθήκες έντονης σωματικής και ψυχικής πίεσης, μέσα σε μεταβαλλόμενες αγωνιστικές συνθήκες. Παρότι στη σύγχρονη βιβλιογραφία υπάρχουν ολοένα και περισσότερες έρευνες για τους Διαιτητές, οι Βοηθοί Διαιτητές δεν έχουν ερευνηθεί σε αντίστοιχο βαθμό, ιδίως σε μελέτες

που εξετάζουν ενδοατομικά δεδομένα σε διαφορετικές αγωνιστικές κατηγορίες. Πρακτικά, ελλείψει ποσοτικών δεδομένων για τις απαιτήσεις της SL1, της SL2 και του τοπικού επιπέδου, η εκγύμναση και η διαχείριση της φόρτισης (load management) στηρίζονται σε γενικές κατευθυντήριες γραμμές, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το προφίλ επιβάρυνσης του ίδιου του ατόμου. Η παρούσα μελέτη επιχειρεί να καλύψει αυτό το κενό, αξιοποιώντας φορητή τεχνολογία (Polar Flow), προκειμένου να παράσχει αυστηρά τεκμηριωμένα, ενδοατομικά δεδομένα.

Έχουν δημοσιευθεί συστηματικές ανασκοπήσεις και μετα-ανάλυσεις που αναφέρουν δεδομένα για τις εσωτερικές, όπως η καρδιακή συχνότητα, και τις εξωτερικές, όπως η απόσταση, απαιτήσεις διαιτητών και βοηθών διαιτητών υψηλού επιπέδου. Σε συστηματική ανασκόπηση των Zhang, Geok, Wazir και Qin (2025) αναφέρθηκε ότι οι εσωτερικές και οι εξωτερικές επιβαρύνσεις θα πρέπει να εξετάζονται συνδυαστικά και σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Άλλωστε, όπως και οι παίκτες, έτσι και οι διαιτητές πρέπει να διαθέτουν επαρκή φυσική κατάσταση, ώστε να εκπληρώνουν αποτελεσματικά τα καθήκοντά τους κατά τη διάρκεια του αγώνα (Gomes et al., 2024).

Στο ίδιο πλαίσιο, σε έρευνα των Di Salvo, Carmont και Maffuli (2012) διαπιστώθηκε ότι οι κεντρικοί διαιτητές κάλυπταν συνολικά περίπου 5 επιπλέον χιλιόμετρα σε σχέση με τους βοηθούς διαιτητές. Ωστόσο, οι βοηθοί εκτελούσαν έντονα σπριντ προς τα εμπρός, μετά από τα οποία ακολουθούσε μεγάλο διάστημα αδράνειας. Επιπλέον, πραγματοποίησαν περισσότερα σύντομα σπριντ (0-10 μ.), αντανakλώντας την ανάγκη τους να παρακολουθούν στενά το παιχνίδι.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο είναι ότι οι φυσικές απαιτήσεις ποικίλλουν ανάλογα με το φύλο και το επίπεδο της διοργάνωσης, γεγονός που δείχνει ότι τόσο το επίπεδο ανταγωνισμού όσο και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά μπορούν να επηρεάσουν τις απαιτήσεις επιβάρυνσης των διαιτητών (Martinez-Torremocha et al., 2025). Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, το πρόγραμμα προπόνησης πρέπει να προσαρμόζεται έτσι ώστε να αντανakλά τις εξατομικευμένες ανάγκες του προσώπου, δηλαδή του Διαιτητή, αλλά και της διοργάνωσης στην οποία συμμετέχει, με στόχο οι προσαρμογές αυτές να βελτιώσουν την απόδοση, να μειώσουν τον κίνδυνο τραυματισμών και να ενισχύσουν την ποιότητα της διαιτησίας των αγώνων. Αν και η έρευνα επικεντρώνεται στους κεντρικούς διαιτητές, τα συμπεράσματα μπορούν να μεταφερθούν κατ' αναλογία και στους βοηθούς διαιτητές.

Πολύ σημαντικό στοιχείο της σύγχρονης προπονητικής αποτελεί η χρήση wearable τεχνολογίας, η οποία παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς και μη παρεμβατικής καταγραφής και παρακολούθησης φυσιολογικών μεταβλητών σε αγωνιστικές συνθήκες. Παρότι η αξιοπιστία αυτών των εργαλείων θεωρείται πλέον σε μεγάλο βαθμό τεκμηριωμένη, παραμένουν ελάχιστες οι έρευνες που εξετάζουν την ενδοατομική διαφοροποίηση σε διαφορετικά επίπεδα διοργανώσεων, και αυτό συνιστά ένα σημαντικό κενό που πρέπει να καλυφθεί. Στη μελέτη των Gomes et al. (2024), με τη χρήση φορητής τεχνολογίας, διαπιστώθηκε ότι, παρότι οι κεντρικοί διαιτητές μπορεί να καλύπτουν περισσότερα μέτρα συνολικά από τους βοηθούς, οι βοηθοί φτάνουν στιγμιαία σε μεγαλύτερη ένταση, στοιχείο καθοριστικό για την εξατομίκευση της προετοιμασίας τους και για τη σαφέστερη διαφοροποίησή τους από τους κεντρικούς διαιτητές.

Παράλληλα, έχουν καταγραφεί μέσες τιμές καρδιακής συχνότητας (HRavg) διαιτητών σε αγωνιστικές συνθήκες που ήταν σχετικά υψηλές (160-165 bpm), οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις πλησίαζαν το 95% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (Stojanović, Ćiljak, Lilić, & Kurhan, 2024). Στην ίδια ανασκόπηση τονίζεται ότι το επίπεδο, η ροή και το πλαίσιο του αγώνα καθιστούν καίριας σημασίας τη συστηματική παρακολούθηση του εσωτερικού φορτίου, καθώς και την εξατομικευμένη διαχείριση της αποκατάστασης. Κάτι αντίστοιχο πρέπει να εφαρμοστεί και στους βοηθούς διαιτητές, για τους οποίους εξακολουθούν να υπάρχουν ελλιπή δεδομένα.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι διαιτητές και οι βοηθοί διαιτητές αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του ποδοσφαίρου. Σε μια μελέτη επαγγελματικού ποδοσφαίρου επιχειρήθηκε η αναπαραγωγή των συνθηκών πίεσης του αγώνα κατά την προπόνηση, μέσω της χρήσης των δυσμενέστερων σεναρίων που μπορεί να προκύψουν, με στόχο οι ποδοσφαιριστές να προετοιμαστούν όσο το δυνατόν καλύτερα για αυτά (Diez et al., 2025). Παρότι η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ποδοσφαιριστές, μια αντίστοιχη λογική θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στους διαιτητές, αλλά και στους βοηθούς διαιτητές, καθώς ο σχεδιασμός συνδυαστικών κινήσεων, όπως πίσω βήματα, πλάγια βήματα, σπριντ, επιτάχυνση και επιβράδυνση, φαίνεται να είναι καταλληλότερος από την παραδοσιακή μορφή αερόβιας άσκησης.

Πέραν της σωματικής καταπόνησης, η γνωστική και αντιληπτική απόδοση των διαιτητών ενδέχεται επίσης να επηρεάζεται από την κόπωση. Αν και τα έως τώρα

διαθέσιμα δεδομένα παραμένουν περιορισμένα και ετερογενή, πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του φυσιολογικού φορτίου και της ακρίβειας λήψης αποφάσεων, ιδίως προς το τέλος των ημιχρόνων ή αμέσως μετά από φάσεις με υψηλό εξωτερικό φορτίο. Η διαπίστωση αυτή καθιστά αναγκαία την ακριβή και ποσοτική παρακολούθηση της επιβάρυνσης, προκειμένου να διερευνηθεί συστηματικά η συσχέτιση μεταξύ επεισοδίων αυξημένης καρδιακής συχνότητας ή εξωτερικής έντασης και δεικτών απόδοσης, όπως η τοποθέτηση στο γήπεδο ή η χρονική ακρίβεια της σηματοδότησης (Mercado, 2023).

Παρότι η χρήση wearables παρέχει εκτεταμένες δυνατότητες συλλογής δεδομένων, απαιτείται προσεκτική προσέγγιση τόσο κατά τη συλλογή όσο και κατά την ερμηνεία τους. Η ακρίβεια των μετρήσεων μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η θέση του αισθητήρα, η αξιοπιστία του GPS ή η καταγραφή προπόνησης υψηλής έντασης. Πρόσφατες μελέτες (Navalta et al., 2023; Fuller et al., 2020) έχουν προτείνει σαφή πρωτόκολλα για την επεξεργασία των δεδομένων, επισημαίνοντας ταυτόχρονα ότι οι συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών συσκευών πρέπει να γίνονται με μεγάλη προσοχή. Η παρούσα μελέτη ξεχωρίζει, καθώς έχει συλλέξει τα δεδομένα κάτω από ακριβώς τις ίδιες συνθήκες, με ομοιόμορφες ζώνες καρδιακού ρυθμού και σαφή κριτήρια για την ταχύτητα, τον ρυθμό και τον αριθμό διασκελισμών ανά λεπτό, διασφαλίζοντας έτσι την εγκυρότητα και την αναπαραγωγιμότητα των αποτελεσμάτων.

Η ενδοατομική προσέγγιση της παρούσας έρευνας έχει ιδιαίτερη αξία, διότι, πρώτον, ενισχύει την οικολογική εγκυρότητα, καθώς τα δεδομένα συλλέγονται από πραγματικούς αγώνες σε τρία επίπεδα (SL1, SL2, L). Δεύτερον, προσφέρει λεπτομερή στοιχεία για το ίδιο άτομο σε διαφορετικές στιγμές μέγιστης έντασης, καθώς και για τη διακύμανσή της τόσο εντός όσο και μεταξύ αγώνων, γεγονός που σπάνια καταγράφεται σε ομαδικές μελέτες. Τέλος, από τα δεδομένα αυτά μπορεί να διαμορφωθεί μια στοχευμένη και εξατομικευμένη προπονητική διαδικασία, η οποία θα αντικατοπτρίζει τις πραγματικές αγωνιστικές ανάγκες του βοηθού διαιτητή.

Επομένως, η παρούσα μελέτη κρίνεται αναγκαία και σημαντική, καθώς παρέχει ακριβή, ατομικά προσαρμοσμένα δεδομένα από πραγματικούς αγώνες σε τρεις κατηγορίες, επιτρέποντας τη διαμόρφωση στοχευμένων προπονητικών συστάσεων που αποτυπώνουν τις πραγματικές αγωνιστικές απαιτήσεις ενός βοηθού διαιτητή.

1.3. Σκοπός της έρευνας

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνήσει τη σωματική επιβάρυνση και τις κινητικές απαιτήσεις των Βοηθών Διαιτητών σε τρεις αγωνιστικές κατηγορίες (Super League 1, Super League 2, L), αξιοποιώντας δεδομένα που συλλέγονται μέσω φορητής τεχνολογίας (Polar Flow). Η μελέτη επικεντρώνεται στην ενδοατομική παρατήρηση, με στόχο να αναλύσει τις διαφορές στην καρδιοαναπνευστική απόκριση, στον αριθμό των βημάτων, στον ρυθμό, στην ταχύτητα, στη συνολική απόσταση που καλύπτει ο Βοηθός Διαιτητής, καθώς και στην κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια των αγώνων.

Επιλέχθηκε η μεθοδολογία της μελέτης περίπτωσης (case study), διότι επιτρέπει την αναλυτική παρατήρηση, καθώς και τη συλλογή ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων, ερμηνεύοντας τα αποτελέσματα υπό συγκεκριμένες συνθήκες και δημιουργώντας, με τον τρόπο αυτό, μια ολοκληρωμένη εικόνα, η οποία δύσκολα επιτυγχάνεται με ευρύτερες στατιστικές μεθόδους (Yin, 2018). Επιπλέον, καθοριστικό πλεονέκτημά της αποτελεί το γεγονός ότι επιτρέπει την ακριβή καταγραφή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες.

Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία δύναται να υποστηρίξει την ανάπτυξη εξατομικευμένων προπονητικών πλάνων για βοηθούς διαιτητές και να συμβάλει ουσιαστικά στην αναβάθμιση της προετοιμασίας τους. Εν κατακλείδι, η νέα γνώση σχετικά με τις φυσιολογικές απαιτήσεις, οι οποίες ενδέχεται να διαφοροποιούνται ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο, αναμένεται να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στον προπονητικό σχεδιασμό.

1.4. Ερευνητικές υποθέσεις

Η ΜΔΕ στοχεύει στη μελέτη των φυσιολογικών απαιτήσεων βοηθού διαιτητή σε διαφορετικά αγωνιστικά επίπεδα μέσω δεδομένων wearable τεχνολογίας. Οι ερευνητικές υποθέσεις που προκύπτουν είναι οι εξής:

Απόσταση Κίνησης (Total Distance (km))

H0: Η συνολική απόσταση που διανύει ο βοηθός διαιτητής δεν επηρεάζεται από το επίπεδο του πρωταθλήματος.

H1: Η συνολική απόσταση που διανύει ο βοηθός διαιτητής διαφοροποιείται ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο

Μέση Καρδιακή Συχνότητα (HR Average (bpm))

H0: Η μέση καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια του αγώνα δεν διαφοροποιείται ανά επίπεδο πρωταθλήματος.

H1: Η μέση καρδιακή συχνότητα διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων.

Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα (HR Max (bpm))

H0: Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα δεν διαφέρει ανάμεσα στα επίπεδα SL1, SL2 και L.

H1: Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο.

Μέση Ταχύτητα Κίνησης (Speed Average (km/h))

H0: Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση ταχύτητα κίνησης μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων.

H1: Υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση ταχύτητα κίνησης μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων.

Μέγιστη Ταχύτητα Κίνησης (Speed Max (km/h))

H0: Δεν υπάρχει διαφορά στη μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνει ο βοηθός διαιτητής σε διαφορετικά επίπεδα πρωταθλήματος.

H1: Υπάρχει διαφορά στη μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνει ο βοηθός διαιτητής ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο.

Μέσος Ρυθμός Κίνησης (Average Pace)

H0: Ο μέσος ρυθμός κίνησης (λεπτά/χλμ) του βοηθού διαιτητή δεν διαφέρει μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων (SL1, SL2, L).

H1: Ο μέσος ρυθμός κίνησης (λεπτά/χλμ) του βοηθού διαιτητή διαφέρει στατιστικά

σημαντικά μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων.

Μέγιστος Ρυθμός Κίνησης (Max Pace)

H0: Ο μέγιστος ρυθμός κίνησης (λεπτά/χλμ) δεν διαφοροποιείται ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο.

H1: Ο μέγιστος ρυθμός κίνησης (λεπτά/χλμ) διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών αγωνιστικών επιπέδων.

Μέση Συχνότητα Βημάτων (Cadence average)

H0: Η μέση συχνότητα βημάτων δεν διαφέρει μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων.

H1: Η μέση συχνότητα βημάτων διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των αγωνιστικών επιπέδων.

Μέγιστη Συχνότητα Βημάτων (Cadence Max)

H0: Η μέγιστη συχνότητα βημάτων δεν διαφέρει ανάμεσα στα επίπεδα SL1, SL2 και L.

H1: Η μέγιστη συχνότητα βημάτων διαφοροποιείται ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο.

Κατανάλωση Θερμίδων (Calories)

H0: Η συνολική κατανάλωση θερμίδων κατά τη διάρκεια των αγώνων δεν διαφοροποιείται ανά αγωνιστικό επίπεδο.

H1: Η συνολική κατανάλωση θερμίδων διαφοροποιείται στατιστικά σημαντικά ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο.

1.5. Οριοθετήσεις της έρευνας

Οι κύριες οριοθετήσεις της έρευνας είναι οι εξής:

- Επειδή πρόκειται για μελέτη περίπτωσης (case study), τα δεδομένα προέρχονται αποκλειστικά από αγώνες ενός βοηθού διαιτητή, συγκεκριμένα του ίδιου του ερευνητή.
- Ο αριθμός των αγώνων που εξετάστηκαν ήταν 20 ανά κατηγορία, δηλαδή συνολικά 60 αγώνες.
- Τα αγωνιστικά επίπεδα που εξετάστηκαν ήταν η Super League 1 (SL1), η Super League 2

(SL2) και το τοπικό πρωτάθλημα Α' κατηγορία (L).

- Η ΜΔΕ περιορίζεται σε ποσοτικά δεδομένα φυσιολογικής και κινητικής φύσης, τα οποία συλλέγονται μέσω του Polar Flow, όπως η μέση και η μέγιστη ταχύτητα (Average Pace, Max Pace), η μέση και η μέγιστη συχνότητα βημάτων (Cadence), η απόσταση κίνησης, η κατανάλωση θερμίδων, η μέση και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα, καθώς και ο μέσος και ο μέγιστος ρυθμός κίνησης.

1.6. Περιορισμοί της έρευνας

Οι κύριοι περιορισμοί της έρευνας είναι οι εξής:

- Η χρήση δεδομένων από έναν μόνο βοηθό διαιτητή περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των συμπερασμάτων.
- Η ακρίβεια των μετρήσεων ενδέχεται να επηρεάζεται από τεχνικούς περιορισμούς των αισθητήρων του Polar Flow, όπως σφάλματα GPS ή στιγμιαίες διακυμάνσεις στη μέτρηση της καρδιακής συχνότητας.
- Εξωτερικοί παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση του γηπέδου, το αγωνιστικό επίπεδο των ομάδων και η τακτική προσέγγιση, δεν ελέγχονται και ενδέχεται να επηρεάσουν τα φυσιολογικά δεδομένα.
- Παράμετροι όπως η κόπωση, η συγκέντρωση και το ψυχολογικό στρες δεν καταγράφονται, παρότι είναι δυνατόν να επηρεάσουν τη φυσιολογική και κινητική απόδοση.

1.7. Συντομογραφίες

- Super League 1 = SL1
- Super League 2 = SL2
- Α' Κατηγορία Τοπικό Πρωτάθλημα = L
- Μέση Ταχύτητα Κίνησης = Avg Pace
- Μέγιστη Ταχύτητα Κίνησης = Max Pace
- Μέση Συχνότητα Βημάτων = Avg Cadence
- Μέγιστη Συχνότητα Βημάτων = Max Cadence
- Απόσταση Κίνησης = Total Dist
- Μέση Καρδιακή Συχνότητα = HRavg

- Μέγιστη Καρδιακή Συχνότητα = HRmax
- Κατανάλωση Θερμίδων = Cal

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Δείγμα

Το δείγμα της μελέτης αποτελείται από ένα βοηθό διαιτητή (case study) ο οποίος συμμετείχε σε 60 αγώνες συνολικά, 20 ανα κατηγορία. Έπαιξε 20 παιχνίδια στην SL1, 20 παιχνίδια στη SL2, 20 παιχνίδια στο L. Ο Βοηθός έχει ύψος 183 εκατοστά, βάρος 74 κιλά.

2.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Πρόκειται για μελέτη περίπτωσης (case study) με ενδοατομική παρατήρηση, κατά την οποία διερευνήθηκαν η σωματική επιβάρυνση και οι κινητικές απαιτήσεις ενός βοηθού διαιτητή σε τρεις αγωνιστικές κατηγορίες (SL1, SL2, L). Συλλέχθηκαν δεδομένα από 20 αγώνες ανά κατηγορία για τις αγωνιστικές περιόδους 2022-2023, 2023-2024 και 2024-2025. Τα δεδομένα καταγράφηκαν με τη χρήση του ρολογιού Polar Pacer κατά τη διάρκεια των αγώνων και πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση μεταξύ των κατηγοριών, χωρίς παρέμβαση στον τρόπο παιχνιδιού ή στη φυσική δραστηριότητα του βοηθού διαιτητή. Τα δεδομένα καταγράφηκαν σε κάθε ημίχρονο ξεχωριστά (πρώτο – δεύτερο), ώστε να εξεταστούν πιθανές διαφορές μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων του παιχνιδιού. Στη συνέχεια, εξήχθησαν από το Polar Flow και μετατράπηκαν σε μορφή κατάλληλη για στατιστική ανάλυση. Η διαδικασία αυτή ακολούθησε πραγματικές αγωνιστικές συνθήκες, χωρίς καμία τροποποίηση ή παρέμβαση, ώστε τα αποτελέσματα να αντικατοπτρίζουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις του ρόλου του βοηθού διαιτητή.

2.3. Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης

Χρησιμοποιήθηκε το ρολόι Polar Pacer, το οποίο ο βοηθός διαιτητής φορούσε στον καρπό καθ' όλη τη διάρκεια των αγώνων, ώστε να είναι δυνατή η συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιλέχθηκε η λειτουργία *outdoor running*, η οποία εξασφάλιζε τον εντοπισμό μέσω GPS, προκειμένου να καταγράφονται αναλυτικά τα δεδομένα. Μετά τη λήξη κάθε αγώνα, τα δεδομένα μεταφέρονταν στο Polar Flow, ώστε να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή των μεταβλητών και η στατιστική τους επεξεργασία. Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου εξασφαλίζει υψηλή ακρίβεια στην καταγραφή δεδομένων υπό συνθήκες υψηλών ταχυτήτων και πραγματικών αγωνιστικών συνθηκών, επιτρέπει τη σύγκριση των δεδομένων μεταξύ των τριών κατηγοριών και, επιπλέον, διασφαλίζει ότι η συλλογή τους

πραγματοποιείται χωρίς να επηρεάζεται η φυσιολογική συμπεριφορά ή η λήψη αποφάσεων του βοηθού διαιτητή.

2.4. Στατιστική ανάλυση

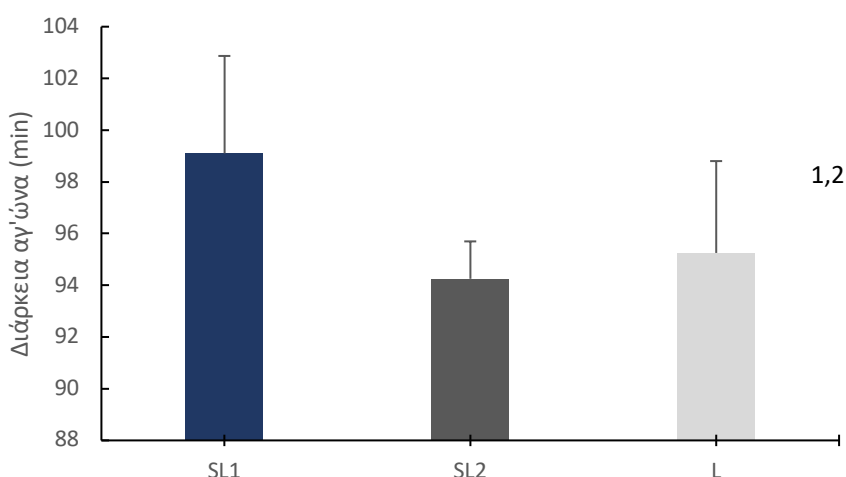
Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού SPSS v.30. Για την ανάλυση των δεδομένων της συνολικής διάρκειας του αγώνα εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα για τις μεταβλητές διάρκεια, απόσταση, μέση καρδιακή συχνότητα, μέγιστη καρδιακή συχνότητα, μέση ταχύτητα, μέγιστη ταχύτητα, μέσος ρυθμός κίνησης, μέγιστος ρυθμός κίνησης, μέση συχνότητα βημάτων και μέγιστη συχνότητα βημάτων στο σύνολο του αγώνα, καθώς και ανάλυση διακύμανσης ως προς δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες για τις μεταβλητές απόσταση, μέση ταχύτητα και μέση καρδιακή συχνότητα, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του ημιχρόνου. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$. Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι εκτιμώμενοι οριακοί μέσοι όροι και τα τυπικά σφάλματα (Estimated Marginal Means $\pm$ SE), καθώς και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σκοπός της Μεταπτυχιακής Διατριβής είναι να εξετάσει την επίδραση της αγωνιστικής κατηγορίας στην επιβάρυνση ενός βοηθού διαιτητή κατά τη διάρκεια αγώνων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα για τις μεταβλητές διάρκεια, απόσταση, μέση καρδιακή συχνότητα, μέγιστη καρδιακή συχνότητα, μέση ταχύτητα, μέγιστη ταχύτητα, μέσος ρυθμός κίνησης, μέγιστος ρυθμός κίνησης, μέση συχνότητα βημάτων και μέγιστη συχνότητα βημάτων στο σύνολο του αγώνα και από την ανάλυση ως προς δύο επαναλαμβανόμενους αγώνες για τις μεταβλητές απόσταση, μέση ταχύτητα και μέση καρδιακή συχνότητα προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του ημιχρόνου.

3.1. Διάρκεια του αγώνα

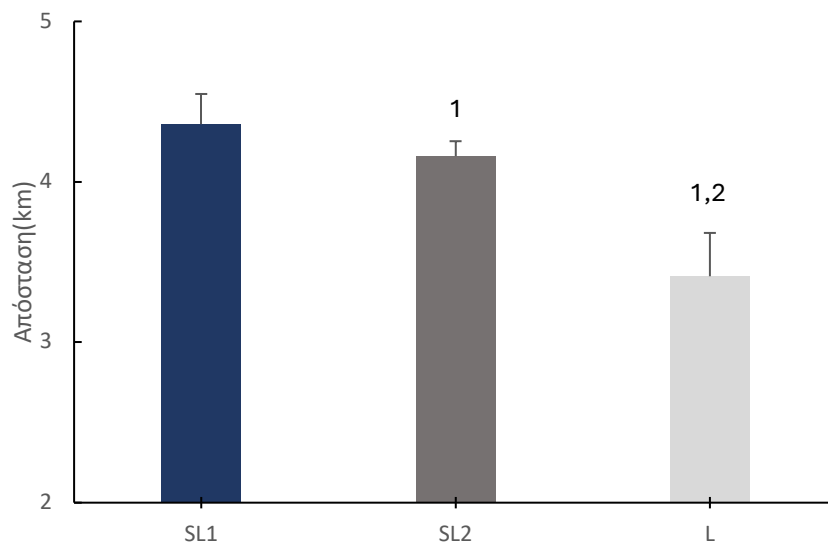
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη συνολική διάρκεια του αγώνα [$F(2,38) = 12,48$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως οι αγώνες της κατηγορίας L διαρκούσαν λιγότερο από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Διάρκεια του αγώνα ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2: Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία.

3.2. Απόσταση

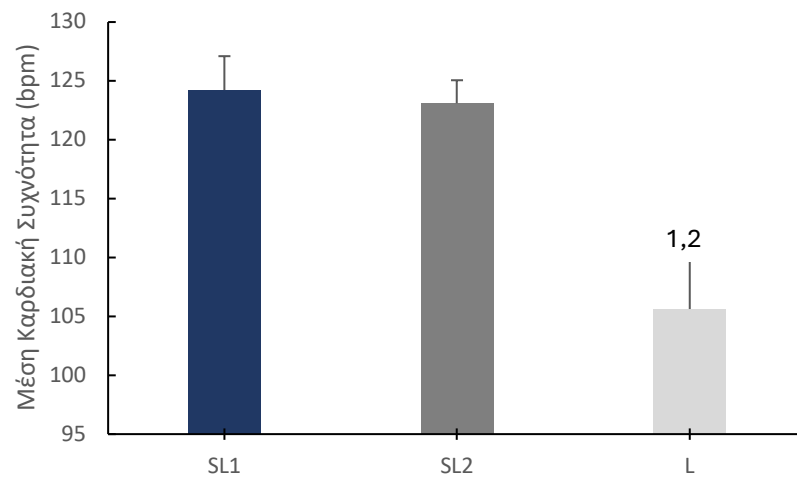
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη συνολική απόσταση που διένυσε ο βοηθός [$F(2,38) = 168,765$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός κάλυπτε λιγότερα μέτρα από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2 καθώς επίσης κάλυπτε και λιγότερα μέτρα στους αγώνες της κατηγορίας SL2 σε σχέση με την κατηγορία SL1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Απόσταση ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.3. Μέση καρδιακή συχνότητα

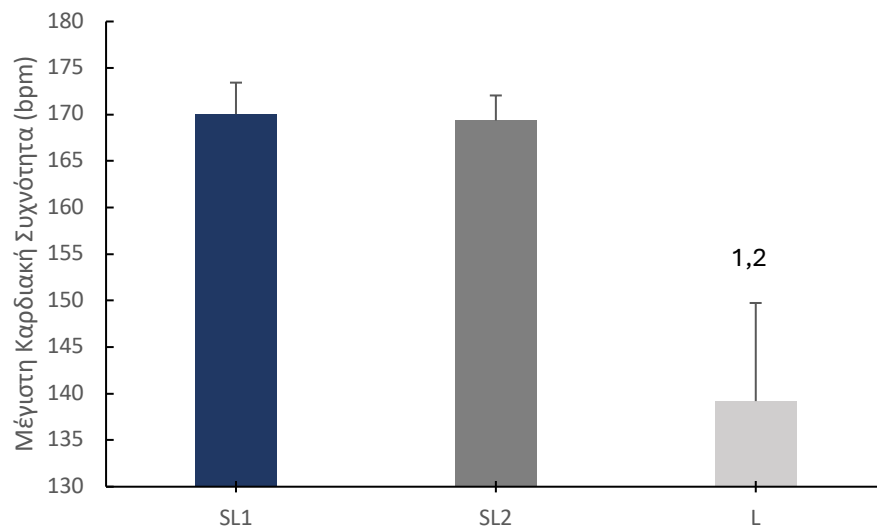
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη μέση καρδιακή συχνότητα [$F(2,38) = 184,176$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε χαμηλότερη μέση καρδιακή συχνότητα από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Μέση καρδιακή συχνότητα ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2: Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.4. Μέγιστη καρδιακή συχνότητα

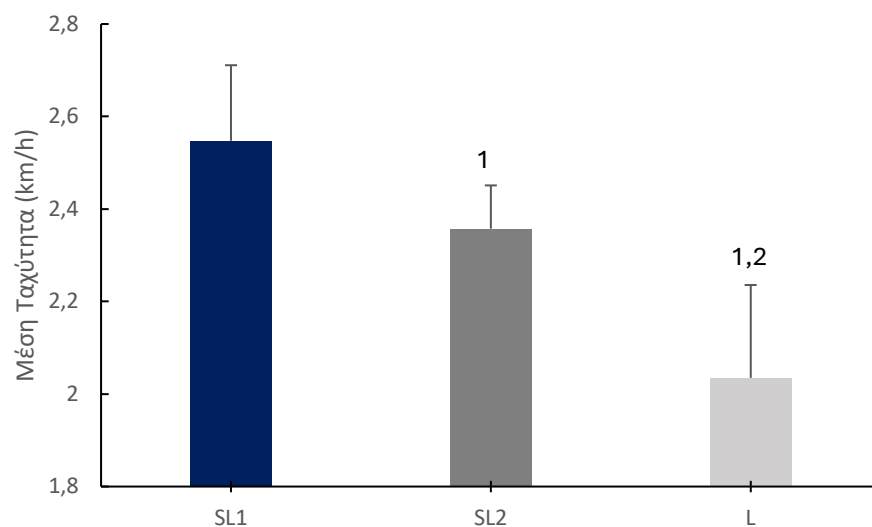
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη μέση καρδιακή συχνότητα [$F(2,38) = 163,142$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε χαμηλότερη μέγιστη καρδιακή συχνότητα από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Μέγιστη καρδιακή συχνότητα ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.5. Μέση ταχύτητα

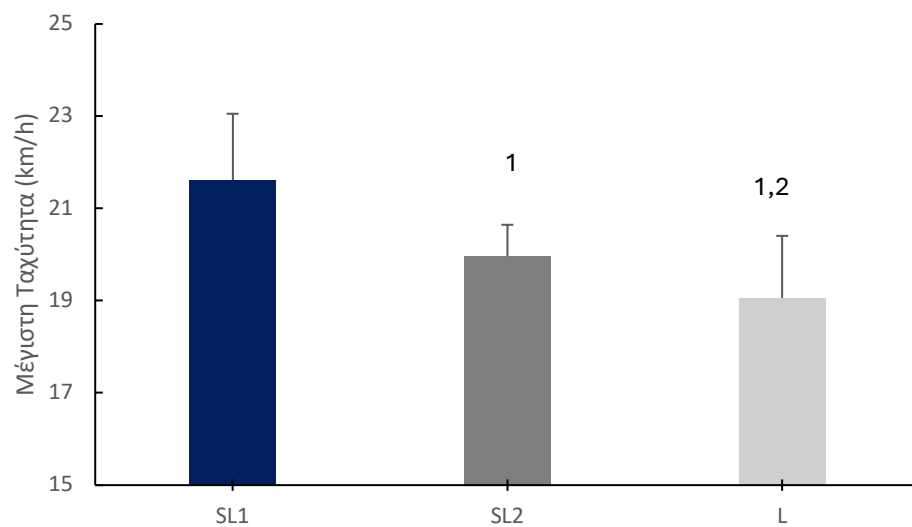
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη μέση ταχύτητα [$F(2,38) = 58,758$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε χαμηλότερη μέση ταχύτητα από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2 καθώς επίσης είχε χαμηλότερη μέση ταχύτητα στους αγώνες της κατηγορίας SL2 σε σχέση με την κατηγορία SL1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Μέση ταχύτητα ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.6. Μέγιστη ταχύτητα

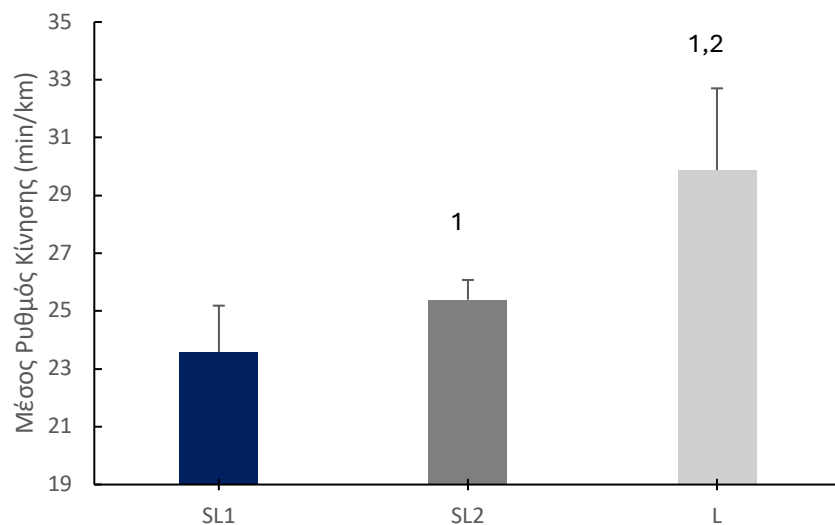
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη μέγιστη ταχύτητα [$F(2,38) = 24,959$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε χαμηλότερη μέγιστη ταχύτητα από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2 καθώς επίσης είχε χαμηλότερη μέγιστη ταχύτητα στους αγώνες της κατηγορίας SL2 σε σχέση με την κατηγορία SL1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Μέγιστη ταχύτητα ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: A Τοπική Κατηγορία

3.7. Μέσος ρυθμός κίνησης

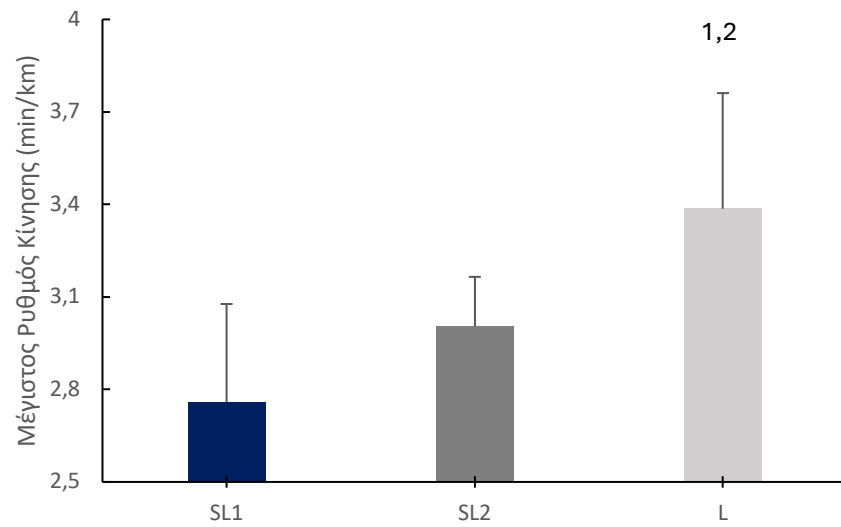
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στο μέσο ρυθμό κίνησης [$F(2,38) = 70,747$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε υψηλότερο μέσο ρυθμό κίνησης από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2 καθώς επίσης είχε υψηλότερο μέσο ρυθμό κίνησης στους αγώνες της κατηγορίας SL2 σε σχέση με την κατηγορία SL1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. Μέσος ρυθμός Κίνησης ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.8. Μέγιστος ρυθμός κίνησης

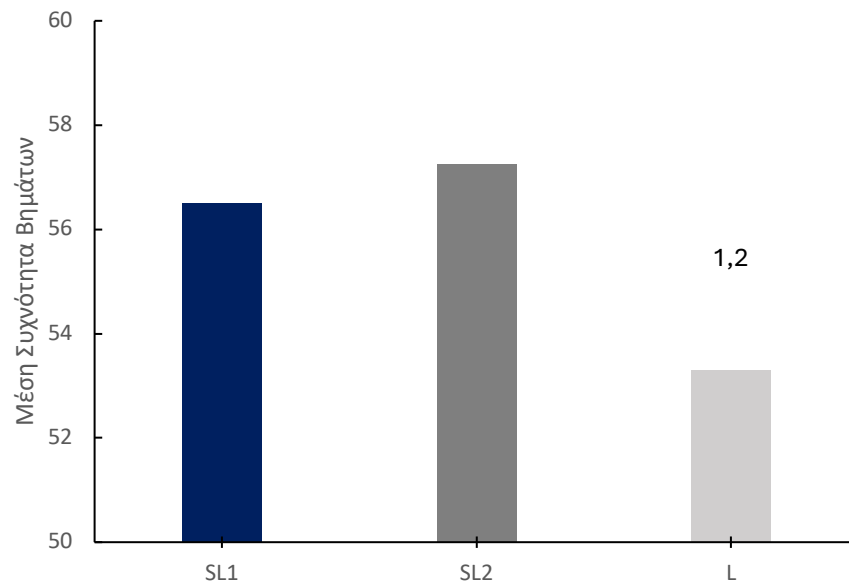
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στο μέγιστο ρυθμό κίνησης [$F(2,38) = 22,575$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε υψηλότερο μέγιστο ρυθμό κίνησης από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8 . Μέγιστος ρυθμός Κίνησης ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.9. Μέση συχνότητα βημάτων

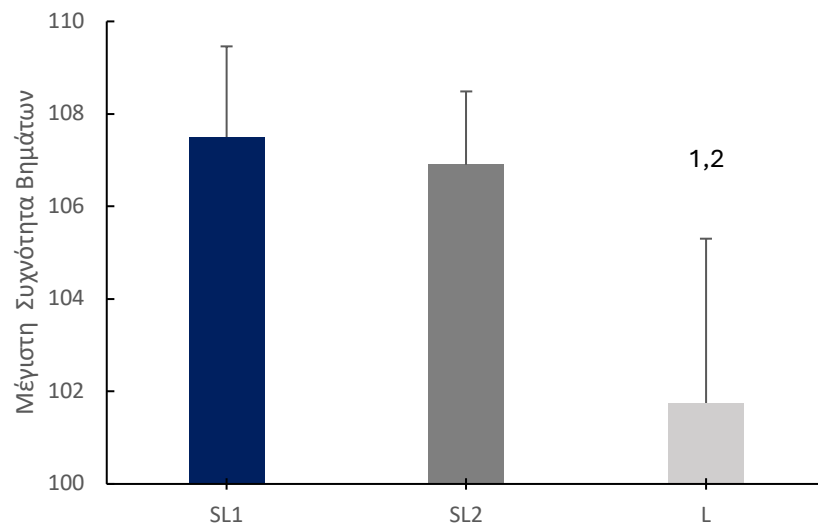
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη μέση συχνότητα βημάτων [$F(2,38) = 58,884$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε χαμηλότερη μέση συχνότητα βημάτων από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9. Μέση συχνότητα βημάτων ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2: Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.10. Μέγιστη συχνότητα βημάτων

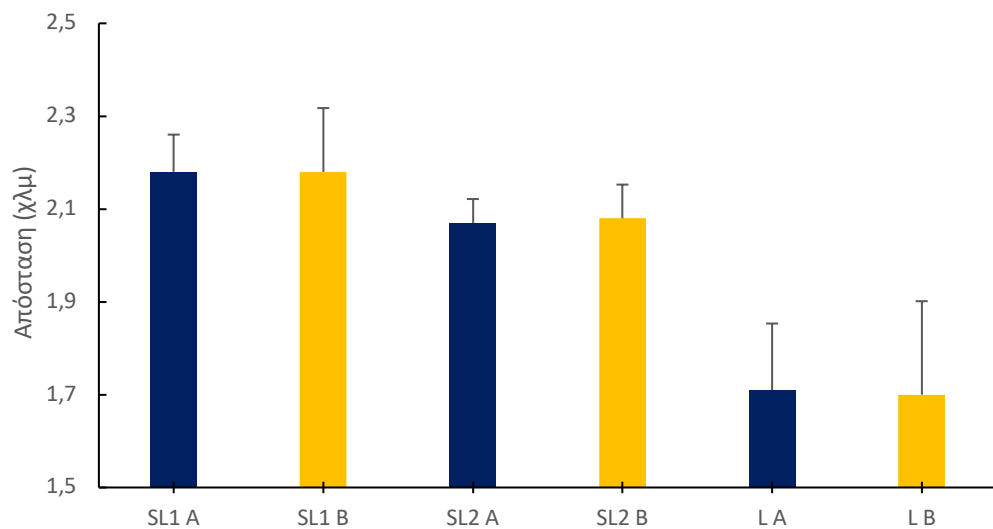
Από την ανάλυση διακύμανσης ως προς έναν επαναλαμβανόμενο παράγοντα διαπιστώθηκε σημαντική επίδραση της κατηγορίας στη μέγιστη συχνότητα βημάτων [$F(2,38) = 35,202$; $p < 0,05$]. Από τις επιμέρους συγκρίσεις διαπιστώθηκε πως στους αγώνες της κατηγορίας L ο Βοηθός είχε χαμηλότερη μέγιστη συχνότητα βημάτων από τους αγώνες των κατηγοριών SL1 και SL2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10. Μέγιστη συχνότητα βημάτων ανά αγωνιστική κατηγορία. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2: Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: Α Τοπική Κατηγορία

3.11. Απόσταση ανα ημίχρονο και αγωνιστική κατηγορία

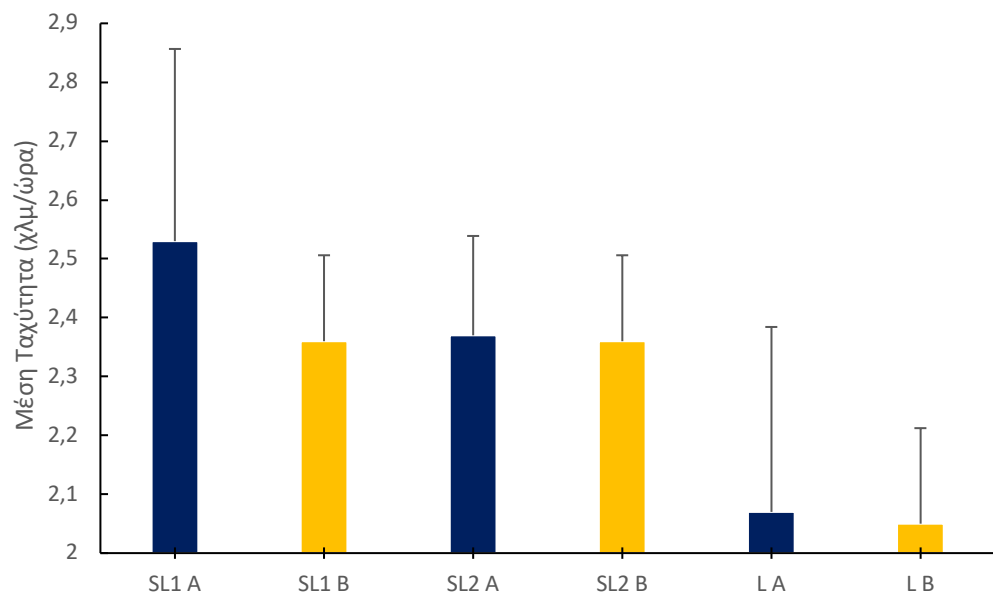
Από την ανάλυση διακύμανσης με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες (Κατηγορία × Ημίχρονο) διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση της Κατηγορίας στην απόσταση [$F(2,18) = 133.975$; $p < 0.001$], με τη SL1 να παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές, ακολουθούμενη από τη SL2 και την L. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του Ημιχρόνου [$F(1,19) = 0.029$, $p = 0.867$], ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση Κατηγορίας × Ημιχρόνου.



Σχήμα 11. Απόσταση ανά αγωνιστική κατηγορία και ανα ημίχρονο. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2.. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: A Τοπική Κατηγορία

3.12. Μέση ταχύτητα ανα ημίχρονο και αγωνιστική κατηγορία

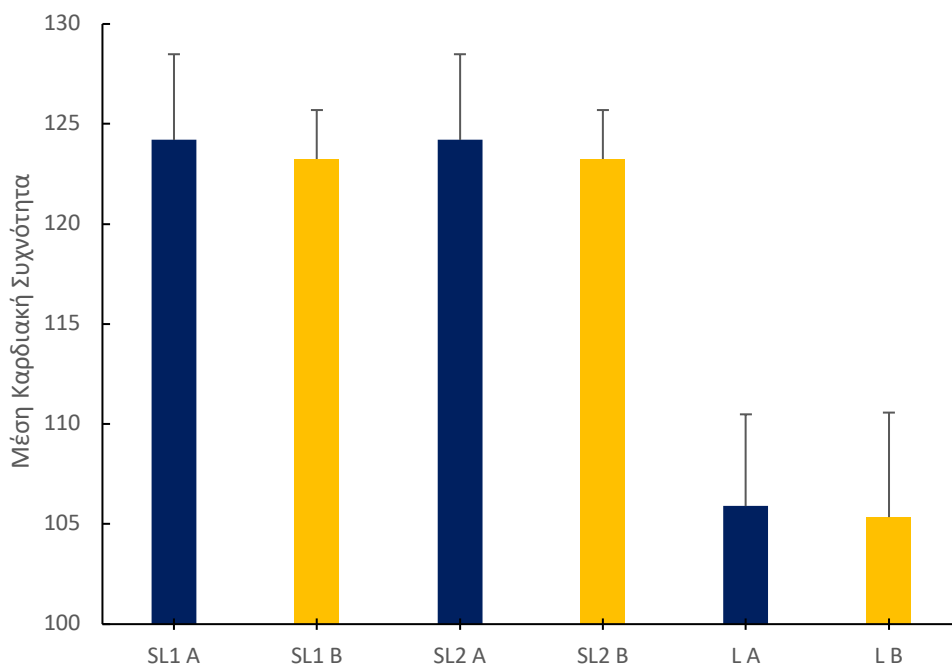
Από την ανάλυση διακύμανσης με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες (Κατηγορία × Ημίχρονο) διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση της Κατηγορίας στη μέση ταχύτητα [$F(2,38) = 52.196$; $p < 0.001$]. Οι αγώνες της SL1 παρουσίασαν υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις SL2 και L, ενώ η SL2 υπερείχε της L. Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του Ημιχρόνου [$F(1,19) = 3.489$; $p = 0.077$], ούτε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση Κατηγορίας × Ημιχρόνου [$F(2,38) = 2.020$, $p = 0.147$].



Σχήμα 12. Μέση ταχύτητα ανά αγωνιστική κατηγορία και ανα ημίχρονο. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: A Τοπική Κατηγορία

3.13. Μέση καρδιακή συχνότητα ανα ημίχρονο και αγωνιστική κατηγορία

Από την ανάλυση διακύμανσης με δύο επαναλαμβανόμενους παράγοντες (Κατηγορία × Ημίχρονο) διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση της Κατηγορίας [$F(1,19) = 320.607$; $p < 0.001$], με τη SL1 να εμφανίζει υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες. Παράλληλα, παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του Ημιχρόνου [$F(1,19) = 35.667$; $p < 0.001$], γεγονός που υποδηλώνει διαφοροποίηση της καρδιακής συχνότητας μεταξύ 1ου και 2ου ημιχρόνου. Δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση Κατηγορίας × Ημιχρόνου [$F(1,19) = 0.057$; $p = 0.814$].



Σχήμα 13. Μέση καρδιακή συχνότητα ανά αγωνιστική κατηγορία και ανα ημίχρονο. 1: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία SL1, 2:Σημαντική Διαφορά με την κατηγορία SL2. 3: Σημαντική διαφορά με την κατηγορία L. SL1: Super League 1, SL2: Super League 2, L: A Τοπική Κατηγορία

IV. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ανάλυση των μεταβλητών του βοηθού διαιτητή κατέδειξε ότι η συνολική απόσταση που διανύεται διαφοροποιείται ανάλογα με το αγωνιστικό επίπεδο. Ειδικότερα, όσο υψηλότερη είναι η αγωνιστική κατηγορία τόσο περισσότερα μέτρα καλύπτονται, καθώς στην SL1 καταγράφηκαν μεγαλύτερες αποστάσεις σε σύγκριση με τη SL2 και τη L, ενώ και στη SL2 οι αποστάσεις ήταν υψηλότερες από εκείνες της L. Το εύρημα αυτό μπορεί να αποδοθεί στις αυξημένες φυσικές απαιτήσεις των ανώτερων κατηγοριών, στον ταχύτερο ρυθμό παιχνιδιού, στις συχνότερες μεταβάσεις και στον μεγαλύτερο αριθμό αντεπιθέσεων. Η διεθνής βιβλιογραφία υποστηρίζει την παρατήρηση αυτή, αναφέροντας ότι η συνολική απόσταση αυξάνεται αναλογικά με το αγωνιστικό επίπεδο (Zhang et al., 2025; Gomes et al., 2024; Di Salvo et al., 2012). Στο ίδιο πλαίσιο, στις υψηλότερες κατηγορίες δεν αυξάνονται μόνο οι ταχύτερες φάσεις και οι αντεπιθέσεις, αλλά και το ποσοστό του έντονου διαλειμματικού τρεξίματος, το οποίο ακολουθεί την ίδια λογική επιβάρυνσης (Martinez-Torremocha et al., 2025). Κατά συνέπεια, η μικρότερη συνολική απόσταση στις χαμηλότερες κατηγορίες φαίνεται να συνδέεται τόσο με τη χαμηλότερη ταχύτητα του παιχνιδιού όσο και με τον περιορισμένο αριθμό μεταβιβάσεων.

Παράλληλα, σε όλες τις αγωνιστικές κατηγορίες ο βοηθός διαιτητής κάλυψε περισσότερα μέτρα στο πρώτο ημίχρονο, εύρημα το οποίο συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες (Gomes et al., 2024; Di Salvo et al., 2012; Mallo et al., 2010). Η μείωση αυτή στο δεύτερο ημίχρονο έχει αποδοθεί στη μείωση της συγκέντρωσης, στη χαμηλότερη ένταση ορισμένων φάσεων του αγώνα και, κυρίως, στη συσσωρευτική κόπωση. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι, παρά τη μείωση της συνολικής απόστασης στο δεύτερο ημίχρονο, οι φυσιολογικοί δείκτες παραμένουν υψηλοί, γεγονός που αναδεικνύει τη συνολική καταπόνηση του βοηθού διαιτητή (Stojanovic et al., 2024). Σύμφωνα με διεθνή δεδομένα, ένας βοηθός διαιτητής υψηλού επιπέδου διανύει περίπου 5-8 χιλιόμετρα ανά αγώνα (Mallo et al., 2010). Ειδικότερα, οι Di Salvo et al. (2012) αναφέρουν 6,5 χλμ. στην Premier League και στη Serie A, ενώ οι Gomes et al. (2024) αναφέρουν 4,2 χλμ. σε ερασιτεχνικά πρωταθλήματα. Στην παρούσα μελέτη καταγράφηκαν πάνω από 4 χλμ. για την ανώτερη αγωνιστική κατηγορία, τιμή ελαφρώς χαμηλότερη από το εύρος που αναφέρεται για αγώνες υψηλού επιπέδου.

Κατά την ερμηνεία του συγκεκριμένου ευρήματος, ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η σχετική εγκυρότητα των wearables. Οι Fuller et al. (2020) και Navalta et al. (2023) έχουν τεκμηριώσει ότι τεχνολογίες όπως το Polar Pacer παρουσιάζουν υψηλή αξιοπιστία για τη μέτρηση του καρδιακού ρυθμού και της απόστασης, ενδέχεται όμως να υποεκτιμούν πολύ υψηλές ταχύτητες μετακίνησης ή μικρές αλλαγές κατεύθυνσης. Στην παρούσα μελέτη, η διακύμανση της συνολικής απόστασης ήταν μικρότερη, περίπου 630 μέτρα, για τη SL1, ενώ στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί μεγαλύτερες τιμές ετερογένειας, περίπου 1,5 χλμ. Η διαφοροποίηση αυτή ενδέχεται να σχετίζεται με το μέγεθος του αγωνιστικού χώρου, την τακτική των ομάδων και το είδος του γηπέδου, είτε φυσικού είτε τεχνητού χλοοτάπητα (Weston et al., 2006; Krstrup et al., 2009).

Η μέση και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα αποτέλεσαν επίσης βασικές μεταβλητές της ανάλυσης και τα αποτελέσματα κατέδειξαν σαφείς διαφοροποιήσεις μεταξύ επαγγελματικού και ερασιτεχνικού επιπέδου. Το εύρημα αυτό ενισχύει τη θέση ότι το επίπεδο ανταγωνισμού επηρεάζει ουσιαστικά τις φυσιολογικές απαιτήσεις του βοηθού διαιτητή, όπως έχει υποστηριχθεί και από προηγούμενες μελέτες (Zhang et al., 2025; Stojanovic et al., 2024; Gomes et al., 2024; Di Salvo et al., 2012). Εξετάζοντας την αναλογία HRavg/HRmax, προέκυψε ποσοστό περίπου 73-75% για τις επαγγελματικές κατηγορίες, τιμή η οποία εντάσσεται στα φυσιολογικά όρια που έχουν αναφερθεί για την ένταση αγώνων ποδοσφαίρου (Weston et al., 2011; Krstrup et al., 2009). Αντίστοιχα, οι Di Salvo et al. (2012) ανέφεραν ελαφρώς υψηλότερες τιμές, της τάξης του 77-80%, γεγονός που ενδέχεται να σχετίζεται με τη διαφορετική ένταση του παιχνιδιού και με το υψηλότερο επίπεδο φυσικής κατάστασης που απαιτείται στα διεθνή πρωταθλήματα. Επιπλέον, οι Stojanovic et al. (2024), σε συστηματική ανασκόπηση 25 μελετών για τις φυσιολογικές απαιτήσεις διαιτητών και βοηθών διαιτητών, αναφέρουν ότι η HRavg κυμαίνεται μεταξύ 115-145 bpm, δηλαδή στο 65-85% της HRmax, ενώ η HRmax κυμαίνεται μεταξύ 170-190 bpm. Οι τιμές που καταγράφηκαν στην παρούσα μελέτη για τις επαγγελματικές κατηγορίες εντάσσονται πλήρως σε αυτό το εύρος, γεγονός που καταδεικνύει το υψηλό καρδιοαναπνευστικό φορτίο στο οποίο εκτίθενται οι βοηθοί διαιτητές.

Στο χαμηλότερο αγωνιστικό επίπεδο, δηλαδή στα ερασιτεχνικά πρωταθλήματα, οι τιμές της HRavg και της HRmax ήταν χαμηλότερες, εύρημα που συμφωνεί με τα δεδομένα των Gomes et al. (2024) σε ερασιτέχνες βοηθούς διαιτητές στην Πορτογαλία, όπου

αναφέρθηκαν τιμές 110-120 bpm για την HRavg και 150-160 bpm για την HRmax. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στα λιγότερα σπριντ, στη χαμηλότερη ταχύτητα του παιχνιδιού και στη μεγαλύτερη διάρκεια παύσης ή σχετικής στατικότητας, στοιχεία που περιορίζουν το συνολικό φυσιολογικό φορτίο. Παρά ταύτα, ακόμη και στο χαμηλότερο επίπεδο, οι μέσες τιμές της HRmax υπερέβαιναν το 65%, ένδειξη ότι η φυσιολογική επιβάρυνση παραμένει ουσιαστική. Tanto οι Weston et al. (2011) όσο και οι Krusturp et al. (2009) έχουν υποστηρίξει ότι ακόμη και σε διαστήματα χαμηλής έντασης η καρδιακή συχνότητα των βοηθών διαιτητών σπάνια υποχωρεί κάτω από το 70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας. Επιπλέον, η καρδιακή συχνότητα δεν αντανakλά μόνο τη σωματική αλλά και την ψυχολογική επιβάρυνση. Για τον λόγο αυτό θεωρείται ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικός δείκτης της συνολικής έντασης, καθώς αποτυπώνει τόσο τις φυσιολογικές απαιτήσεις όσο και τα ψυχικά χαρακτηριστικά του ρόλου (Stojanovic et al., 2024). Η νοητική καταπόνηση και η ψυχολογική πίεση που συνοδεύουν τη λήψη αποφάσεων, ιδίως στα τελευταία στάδια του αγώνα, φαίνεται ότι μπορούν να διατηρούν αυξημένη την καρδιακή συχνότητα ανεξάρτητα από τη σωματική δραστηριότητα (Diez et al., 2025; Mercado, 2023). Η σχετική σταθερότητα της HRmax ανάμεσα στα δύο ημίχρονα, η οποία καταγράφηκε και στην παρούσα μελέτη, είναι σύμφωνη με τα ευρήματα των Mallo et al. (2010), σύμφωνα με τα οποία, παρά τη μείωση της απόστασης στο δεύτερο ημίχρονο, η καρδιακή συχνότητα παραμένει υψηλή. Το στοιχείο αυτό ενισχύει την ερμηνεία ότι η αντιλαμβανόμενη κόπωση αυξάνεται ακόμη και όταν η κινητική δραστηριότητα μειώνεται.

Ανάλογη διαφοροποίηση σε συνάρτηση με το αγωνιστικό επίπεδο παρατηρήθηκε και στη μέση και μέγιστη συχνότητα βημάτων. Στις επαγγελματικές κατηγορίες η Cadence Avg ήταν περίπου 57 βήματα ανά λεπτό και η Cadence Max περίπου 106 βήματα ανά λεπτό, ενώ στο ερασιτεχνικό επίπεδο η Cadence Avg ήταν περίπου 53 βήματα ανά λεπτό και η Cadence Max περίπου 102 βήματα ανά λεπτό. Ο ταχύτερος ρυθμός του παιχνιδιού, η συνεχής κίνηση και η μεγαλύτερη ένταση που χαρακτηρίζουν τα επαγγελματικά πρωταθλήματα φαίνεται να επηρεάζουν άμεσα τόσο τη μέση όσο και τη μέγιστη συχνότητα βημάτων, δημιουργώντας σαφείς διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα τοπικά πρωταθλήματα. Οι Gomes et al. (2024) παρουσίασαν παρόμοια αριθμητικά δεδομένα και υποστήριξαν ότι η συχνότητα βημάτων μπορεί να λειτουργεί ως έμμεσος δείκτης κόπωσης.

Παράλληλα, στη συχνότητα βημάτων επιδρούν και άλλοι παράγοντες, όπως το επίπεδο της διοργάνωσης και το φύλο, με τις γυναίκες και τους διαιτητές εκτός κορυφαίου επιπέδου να εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές, περίπου κατά 5-8% (Martinez-Torremocha et al., 2025). Το εύρημα αυτό συνάδει με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, στην οποία η μέση και η μέγιστη συχνότητα βημάτων ήταν μικρότερες στις ερασιτεχνικές κατηγορίες σε σύγκριση με τις επαγγελματικές. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει την άποψη ότι ο ρυθμός του παιχνιδιού και η ταχύτητα κίνησης αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες διαμόρφωσης της συχνότητας βημάτων.

Η σχετική βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι η συχνότητα βημάτων συνιστά έγκυρο δείκτη έντασης, ο οποίος συνδέεται στενά με τη συνολική φυσιολογική φόρτιση (Zhang et al., 2025). Οι ίδιοι ερευνητές επισημαίνουν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα βημάτων τόσο υψηλότερες είναι και οι ενεργειακές δαπάνες, γεγονός που συνοδεύεται από αύξηση της καρδιακής συχνότητας. Και στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε ότι όσο υψηλότερος ήταν ο αριθμός βημάτων τόσο υψηλότερες ήταν και η μέση και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα, στοιχείο που αναδεικνύει τη στενή σχέση μεταξύ κινητικών και φυσιολογικών δεικτών απόδοσης, εύρημα σύμφωνο και με τους Stojanovic et al. (2024). Υπό το πρίσμα αυτό, η συχνότητα βημάτων αποτελεί παράμετρο που χρήζει συστηματικής προπονητικής παρακολούθησης. Οι Diez et al. (2025), συγκρίνοντας προπονητικές ασκήσεις με τις απαιτήσεις του αγώνα, ανέδειξαν τη συχνότητα βημάτων ως κρίσιμη μεταβλητή για την προσαρμογή της προπονητικής έντασης, καθώς συμβάλλει στη ρύθμιση του ρυθμού και στη δρομική οικονομία. Επιπρόσθετα, η μείωση της συχνότητας βημάτων φαίνεται να επηρεάζει και τη γνωστική απόδοση, καθώς η κόπωση που προκύπτει από χαμηλότερο κινητικό ρυθμό συνδέεται με αύξηση του χρόνου λήψης αποφάσεων (Mercado, 2023; MacMahon et al., 2014).

Ωστόσο, κατά την ερμηνεία των μετρήσεων αυτών πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι τεχνολογικοί περιορισμοί της καταγραφής. Οι Navalta et al. (2023) αναφέρουν ότι συστήματα GPS πολλαπλών δορυφόρων (GNSS) είναι σε θέση να ανιχνεύουν μικροκινήσεις και αλλαγές κατεύθυνσης που πιθανόν να μην καταγράφονται με την ίδια ακρίβεια από wearables εμπορικού τύπου, όπως το Polar Pacer. Για τον λόγο αυτό, οι υψηλότερες τιμές συχνότητας βημάτων που έχουν αναφερθεί σε μελέτες με βοηθούς διαιτητές της Premier League (Weston et al., 2011; Krstrup et al., 2009) ενδέχεται να

αντανακλούν όχι μόνο πραγματικές διαφοροποιήσεις απόδοσης, αλλά και διαφορές στην τεχνολογική ακρίβεια των συστημάτων καταγραφής.

Σε συνέχεια των παραπάνω, εξετάστηκαν ο μέσος και ο μέγιστος ρυθμός κίνησης, καθώς και η μέση και η μέγιστη ταχύτητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όσο υψηλότερη είναι η αγωνιστική κατηγορία τόσο ταχύτερος είναι και ο ρυθμός κίνησης, τόσο ως μέση όσο και ως μέγιστη τιμή, και τόσο υψηλότερες είναι οι τιμές της μέσης και της μέγιστης ταχύτητας. Το εύρημα αυτό είναι σύμφωνο με τη διεθνή βιβλιογραφία (Zhang et al., 2025; Di Salvo et al., 2012). Ο μέσος ρυθμός εκφράζει την αποτελεσματικότητα και την οικονομία της κίνησης καθ' όλη τη διάρκεια του αγώνα, καθώς αποτυπώνει τη μέση ταχύτητα σε συνάρτηση με το συνολικό έργο και τη διάρκειά του. Παράλληλα, η μέση ταχύτητα συνιστά άμεσο δείκτη της συνολικής κινητικής επιβάρυνσης, καθώς αντανακλά την πραγματική ταχύτητα που διατηρεί ο βοηθός διαιτητή κατά τη διάρκεια του αγώνα. Οι τιμές της μέσης ταχύτητας στην παρούσα μελέτη κατέδειξαν ότι με την άνοδο του αγωνιστικού επιπέδου αυξάνονται τόσο ο μέσος ρυθμός κίνησης όσο και η μέση ταχύτητα. Μολονότι οι απόλυτες τιμές του ρυθμού ενδέχεται να είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με εκείνες που αναφέρθηκαν από τους Di Salvo et al. (2012), η ιεραρχική σχέση μεταξύ των κατηγοριών επιβεβαιώθηκε πλήρως, καθώς η SL1 ήταν ταχύτερη από τη SL2 και τη L, ενώ και η SL2 υπερείχε της L.

Οι Gomes et al. (2024) ανέφεραν επίσης ότι ο ρυθμός κίνησης μπορεί να λειτουργήσει ως αξιόπιστος δείκτης κόπωσης, καθώς τείνει να μειώνεται στο δεύτερο ημίχρονο, την ίδια στιγμή που αυξάνεται η αντιλαμβανόμενη κόπωση. Παρόμοια εικόνα καταγράφηκε και στην παρούσα μελέτη, όπου, παρά το γεγονός ότι οι διαφορές ανάμεσα στα δύο ημίχρονα δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλες, παρατηρήθηκε πτώση του ρυθμού κίνησης στο δεύτερο μέρος. Αντίστοιχη ήταν και η εικόνα για τη μέση ταχύτητα, η οποία παρουσίασε ελαφρά μείωση στο δεύτερο ημίχρονο, ενισχύοντας έτσι την ερμηνεία της κόπωσης ως καθοριστικού παράγοντα. Επιπλέον, η καταπόνηση του βοηθού διαιτητή φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό κίνησης και την ταχύτητα, καθώς έχει υποστηριχθεί ότι όσο μειώνεται η ταχύτητα τόσο αυξάνονται οι καρδιακοί παλμοί και μειώνεται η μηχανική απόδοση (Zhang et al., 2025). Η παρουσία αυξημένου Pace Avg και μειωμένου HRavg στη L κατηγορία ενισχύει τη σχέση χαμηλότερης έντασης και μειωμένου καρδιακού φορτίου (Stojanovic et al., 2024), κάτι που αποτυπώνεται και στις χαμηλότερες

τιμές μέσης και μέγιστης ταχύτητας της συγκεκριμένης κατηγορίας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και το εύρημα ότι το Pace Max στη SL1 ήταν 21,4 km/h, τιμή που συμβαδίζει με δεδομένα επαγγελματιών βοηθών διαιτητών. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί ουσιαστικά και στη μέγιστη ταχύτητα που αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του αγώνα. Οι Martinez-Torremocha et al. (2025) ανέφεραν στιγμιαίες τιμές 21-25 km/h σε διεθνείς αγώνες, ανάλογα με το επίπεδο και τη φάση του παιχνιδιού. Οι υψηλές αυτές τιμές συνδέονται με μεταβάσεις πολύ μεγάλης έντασης, με την κάλυψη περισσότερων μέτρων σε σύντομο χρονικό διάστημα και με την επιτυχή διατήρηση της σωστής θέσης, δηλαδή της ευθείας με τον προτελευταίο αμυνόμενο. Σε ακόμη υψηλότερο επίπεδο αγωνιστικής πίεσης έχουν αναφερθεί τιμές 26-28 km/h για κορυφαίους βοηθούς διαιτητές, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στο αυξημένο επίπεδο του ανταγωνισμού (Krustrup et al., 2009). Αντίθετα, το Pace Max στις ερασιτεχνικές κατηγορίες ήταν περίπου 17,8 km/h, τιμή σημαντικά χαμηλότερη από εκείνες των επαγγελματικών κατηγοριών, εύρημα που συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες (Gomes et al., 2024; Mercado, 2023). Αντίστοιχα μειωμένες ήταν και οι τιμές της μέγιστης ταχύτητας, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί τόσο στις χαμηλότερες αγωνιστικές απαιτήσεις όσο και στο επίπεδο φυσικής κατάστασης των ομάδων. Παράλληλα, το μικρότερο εύρος του Pace Max που καταγράφηκε στη L κατηγορία υποδηλώνει χαμηλότερη διακύμανση στην ένταση του παιχνιδιού, στοιχείο που έχει συνδεθεί με απλούστερη τακτική προσέγγιση (Zhang et al., 2025). Η μειωμένη αυτή διακύμανση της μέγιστης ταχύτητας ενισχύει την εικόνα ενός αγωνιστικού περιβάλλοντος χαμηλότερης έντασης. Αντιθέτως, η δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ φάσεων αργής και γρήγορης κίνησης αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την προσαρμογή της προπονητικής έντασης, καθώς σχετίζεται με αυξημένη αερόβια ικανότητα και μυϊκή αντοχή (Diez et al., 2025). Το γεγονός ότι στη SL1 ο ρυθμός κίνησης ήταν πιο σταθερός ακόμη και σε υψηλές εντάσεις συνιστά ένδειξη αυτής ακριβώς της ανεπτυγμένης ικανότητας.

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχει και η ενεργειακή δαπάνη, καθώς συνδέεται άμεσα με τη διάρκεια και την ένταση της προσπάθειας, με το αγωνιστικό επίπεδο και με το προπονητικό επίπεδο του βοηθού διαιτητή. Στην παρούσα μελέτη, κάθε κατηγορία παρουσίασε διαφορετικά επίπεδα ενεργειακής δαπάνης. Συγκεκριμένα, στη SL1 καταγράφηκαν 755 kcal, στη SL2 739 kcal και στην L 664 kcal. Τα δεδομένα αυτά

καταδεικνύουν ότι το αγωνιστικό επίπεδο επηρεάζει το συνολικό ενεργειακό φορτίο. Το εύρος θερμίδων που αναφέρουν οι Di Salvo et al. (2012), δηλαδή 700-900 kcal, καθώς και εκείνο των Mallo et al. (2010), δηλαδή 650-950 kcal, ευθυγραμμίζονται με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης για τις επαγγελματικές κατηγορίες. Αντίστοιχα, για το ερασιτεχνικό επίπεδο, οι Gomes et al. (2024) ανέφεραν μέση κατανάλωση 650 kcal, τιμή σχεδόν ταυτόσημη με εκείνη της παρούσας εργασίας. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των κατηγοριών, σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα διεθνή δεδομένα, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το επίπεδο του αγώνα σχετίζεται στενά με το ενεργειακό κόστος. Οι Zhang et al. (2025), σε συστηματική ανασκόπηση 29 μελετών, ανέφεραν εύρος ενεργειακής δαπάνης 600-1000 θερμίδων για διαιτητές και βοηθούς διαιτητές, επιβεβαιώνοντας εκ νέου τη συμβατότητα των ευρημάτων της παρούσας μελέτης με τη βιβλιογραφία.

Παρά το γεγονός ότι οι βοηθοί διαιτητές κινούνται λιγότερο από τους κεντρικούς διαιτητές, εκτελούν κινήσεις υψηλής έντασης στις κρίσιμες φάσεις του παιχνιδιού, γεγονός που αυξάνει την ενεργειακή κατανάλωση (Martinez-Torremocha et al., 2025; Weston et al., 2006). Η σχέση μεταξύ καρδιακού ρυθμού και ενεργειακής δαπάνης έχει τεκμηριωθεί σε πολυάριθμες μελέτες, καθώς ο καρδιακός ρυθμός αποτελεί αξιόπιστο δείκτη του μεταβολικού κόστους (Stojanovic et al., 2024). Τα δεδομένα της ΜΔΕ επιβεβαιώνουν αυτή τη σχέση, δεδομένου ότι οι κατηγορίες με υψηλότερο HRavg, δηλαδή η SL1 και η SL2, παρουσίασαν και υψηλότερη κατανάλωση θερμίδων. Ανάλογα ευρήματα έχουν αναφέρει και οι Weston et al. (2006), οι οποίοι κατέγραψαν θετική συσχέτιση μεταξύ καρδιακού ρυθμού και ενεργειακής δαπάνης σε διαιτητές της Serie A, υποδεικνύοντας ότι η φυσιολογική απόκριση αντανακλά άμεσα το ενεργειακό κόστος. Σύμφωνα με τους Diez et al. (2025), η κατανάλωση θερμίδων μπορεί να λειτουργήσει ως έμμεσος δείκτης της ικανότητας του διαιτητή να ανταποκρίνεται σε worst-case scenarios, δηλαδή σε φάσεις μέγιστης έντασης. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η ενσωμάτωση τέτοιων δεικτών στον προπονητικό σχεδιασμό, ώστε να διασφαλίζεται η φυσική επάρκεια των διαιτητών σε όλη τη διάρκεια της αγωνιστικής περιόδου.

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της σωματικής επιβάρυνσης και των κινητικών απαιτήσεων των βοηθών διαιτητών σε τρεις αγωνιστικές κατηγορίες, συγκεκριμένα στη Super League 1, στη Super League 2 και στο L επίπεδο, μέσω δεδομένων που συλλέχθηκαν με τη χρήση φορητής τεχνολογίας (Polar Flow). Με βάση τα αποτελέσματα, διαπιστώθηκε ότι ως προς τη συνολική απόσταση (total distance) που διανύει ένας βοηθός διαιτητής υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των αγωνιστικών επιπέδων, με τον βοηθό να καλύπτει μεγαλύτερη απόσταση όσο υψηλότερη ήταν η κατηγορία. Όσον αφορά τη μέση καρδιακή συχνότητα (HRavg), τη μέση συχνότητα βημάτων (cadence avg), τη μέγιστη συχνότητα βημάτων (cadence max), τον μέσο ρυθμό κίνησης (pace avg) και τη μέση ταχύτητα (speed avg), παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των επαγγελματικών κατηγοριών και του ερασιτεχνικού επιπέδου, όχι όμως μεταξύ των δύο επαγγελματικών κατηγοριών. Για τη μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HRmax) διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο μεταξύ της SL2 και του ερασιτεχνικού επιπέδου. Αντίστοιχα, για τον μέγιστο ρυθμό κίνησης και τη μέγιστη ταχύτητα διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των αγωνιστικών επιπέδων. Αντιθέτως, η ενεργειακή δαπάνη (calories) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των αγωνιστικών κατηγοριών. Ο παράγοντας «ημίχρονο» δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά σχεδόν καμία από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν, με εξαίρεση τη συνολική απόσταση που διένυσε ο βοηθός διαιτητής στην κατηγορία SL2, όπου καταγράφηκαν περισσότερα μέτρα στο πρώτο ημίχρονο. Ως εκ τούτου, αυτή αποτέλεσε και τη μοναδική στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση που παρατηρήθηκε, καθώς σε καμία άλλη μεταβλητή δεν διαπιστώθηκε αλληλεπίδραση.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης βρίσκονται σε συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία. Σε σύγκριση με τους βοηθούς διαιτητές που δραστηριοποιούνται στις κορυφαίες ποδοσφαιρικές διοργανώσεις, φαίνεται ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις σε όλες τις μεταβλητές που εξετάστηκαν σε σχέση με τους βοηθούς διαιτητές της πρώτης κατηγορίας στην Ελλάδα. Το εύρημα αυτό ενδέχεται να σχετίζεται με την τακτική προσέγγιση των ομάδων, με το επίπεδο φυσικής κατάστασης τόσο των ομάδων όσο και των ίδιων των βοηθών διαιτητών. Παράλληλα, δεν μπορεί να αποκλειστεί και η

πιθανότητα η ίδια η τεχνολογία να επηρεάζει τη συλλογή των δεδομένων, γεγονός που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση υπό ίδιες συνθήκες και με πανομοιότυπο εξοπλισμό, ώστε να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη βεβαιότητα αν και σε ποιον βαθμό υφίστανται τελικά οι συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις.

Η κατάλληλη καθοδήγηση και ο σωστός προπονητικός σχεδιασμός διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση των βοηθών διαιτητών. Η αξιοποίηση των αγωνιστικών δεδομένων μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση κατάλληλων προπονητικών πρωτοκόλλων και, κατ' επέκταση, στη συνεχή εξέλιξη του επιπέδου απόδοσής τους. Παρότι οι διαιτητές έχουν μελετηθεί σε σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τους βοηθούς διαιτητές, οι τελευταίοι επιτελούν έναν ιδιαίτερα απαιτητικό ρόλο στο σύγχρονο ποδόσφαιρο και, ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω διερεύνησή τους. Συνολικά, η βελτίωση του επιπέδου των διαιτητών και των βοηθών διαιτητών είναι κομβικής σημασίας, καθώς αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του αγώνα και η αναβάθμιση του δικού τους αγωνιστικού επιπέδου μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη συνολική ποιότητα του παιχνιδιού.

VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barnes, C., Archer, D. T., Hogg, B., Bush, M., & Bradley, P. S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine*, 35(13), 1095–1100. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375695>
2. Castagna, C., Abt, G., & D'Ottavio, S. (2004). Activity profile of international-level soccer referees during competitive matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 486–490. <https://doi.org/10.1519/1533-4287>
3. Díez, A., Lozano, D., Arjol-Serrano, J. L., Bataller-Cervero, A. V., Roso-Moliner, A., & Mainer-Pardos, E. (2025). Training tasks vs. match demands: Do football drills replicate worst-case scenarios? *Applied Sciences*, 15(15), Article 8172. <https://doi.org/10.3390/app15158172>
4. Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>
5. Di Salvo, V., Carmont, M. R., & Maffulli, N. (2012). Football officials activities during matches: A comparison of activity of referees and linesmen in European, Premiership and Championship matches. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 1(3), 106–111.
6. Fuller, D., Colwell, E., Low, J., Orychock, K., Tobin, M., Simango, B., Buote, R., Van Heerden, D., Luan, H., Cullen, K., Slade, L., & Taylor, N. (2020). Reliability and validity of commercially available wearable devices for measuring steps, energy expenditure, and heart rate: A systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(9), e18694. <https://doi.org/10.2196/18694>
7. Gomes, R., Mendes, R., Ferreira, A., Mendes, R., Dias, G., & Martins, F. (2024). Physical and physiological demands of amateur Portuguese field and assistant football referees. *Sports*, 12(5), Article 133. <https://doi.org/10.3390/sports12050133>
8. Krstrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(6), 1165–1174. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd>
9. Krstrup, P., Helsen, W., Randers, M. B., Christensen, J. F., MacDonald, C., Rebelo, A. N., & Bangsbo, J. (2009). Activity profile and physical demands of football referees and assistant referees in international games. *Journal of Sports Sciences*, 27(11), 1167–1176. <https://doi.org/10.1080/02640410903131672>
10. MacMahon, C., Mascarenhas, D., Plessner, H., Pizzera, A., Oudejans, R. R. D., & Raab, M. (2014). *Sports officials and officiating: Science and practice*. Routledge.

11. Mallo, J., Cala, A., González Frutos, P., & Navarro, E. (2010). Match activities of top-class female soccer assistant referees in relation to the offside line. *European Journal of Sport Science*, 10(6), 371–376. <https://doi.org/10.1080/17461391003770437>
12. Martinez-Torremocha, G., Alonso-Callejo, A., Sanchez-Sanchez, J., Garcia-Unanue, J., Gallardo, L., Martin-Sanchez, M. L., Serrano, C., & Felipe, J. L. (2025). How do gender and competition level influence the physical demands in worst-case scenarios of elite football referees? *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 17(1), Article 226. <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01282-4>
13. Mercado, C. (2023). *Effect of physiological demands on decision-making in soccer referees* (Doctoral dissertation, Memorial University of Newfoundland).
14. Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>
15. Navalta, J. W., Davis, D. W., Malek, E. M., Carrier, B., Bodell, N. G., Manning, J. W. & DeBeliso, M. (2023). Heart rate processing algorithms and exercise duration on reliability and validity decisions in biceps-worn Polar Verity Sense and OH1 wearables. *Scientific Reports*, 13(1), Article 11736. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38845-5>
16. Stojanovic, S., İlbak, İ., Lilić, A., & Kurhan, S. (2024). Heart rate of soccer referees during matches: A systematic review. *Turkish Journal of Kinesiology*, 10(2), 131–137.
17. Weston, M., Bird, S., Helsen, W., Nevill, A., & Castagna, C. (2006). The effect of match standard and referee experience on the objective and subjective match workload of English Premier League referees. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(3), 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.03.009>
18. Weston, M., Drust, B., & Gregson, W. (2011). Intensities of exercise during match-play in FA Premier League referees and players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 527–532. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.543914>
19. Weston, M., Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Abt, G. (2012). Analysis of physical match performance in English Premier League soccer referees with particular reference to first half and second half performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(4), 344–348. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.12.006>
20. Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications* (6th ed.). Sage Publications.
21. Zhang, L., Geok, S. K., Wazir, M. R. W. N., & Qin, L. (2025). Physical demands and physiological response of soccer referees in high-level matches: A systematic review. *PLOS ONE*, 20(1), e0315403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315403>