



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

**Η επίδραση της διάρκειας των επαναλήψεων στους κεντρικούς
και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση
οξυγόνου κατά την αερόβια διαλειμματική άσκηση**

Ιωάννης Βεζάσης [Α.Ε.Μ. 13096]

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
“Φυσιολογία της Άσκησης”

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλίας Σμήλιος, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

2ο Μέλος: Ανδρέας Ζαφειρίδης, Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Α.Π.Θ. Σέρρες

3ο Μέλος: Απόστολος Σπάσης, Ε.Ε.Π Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

Κομοτηνή, 2026



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

**The effect of repetition duration on central and peripheral factors
determining oxygen consumption during aerobic interval exercise**

Ioannis Vezasis [R.N. 13096]

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 Exercise Physiology

COMMITTEE OF EXAMINERS

Supervisor: Ilias Smilios, Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Member 2: Andreas Zafeiridis, Professor D.P.E.S.S. – AUTH Serres

Member 3: Apostolos Spassis, Specialized Teaching Staff D.P.E.S.S. - DUTH

Komotini, 2026

Στον Δήμο και τον Μανώλη

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συμμετοχή μου στο ΠΜΣ «Φυσιολογία της Άσκησης & Προπονητική» του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης ήταν για μένα μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα διαδρομή. Τελικός σταθμός σε αυτήν τη διαδρομή ήταν η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Ο επιβλέπων της διατριβής, Καθηγητής Ηλίας Σμήλιος υπήρξε αρωγός και υποστηρικτής μου σε αυτό το απαιτητικό για μένα εγχείρημα και του οφείλω ειλικρινείς ευχαριστίες για όλα όσα μου δίδαξε καθώς και για την καθοδήγηση που απλόχερα μου πρόσφερε.

Ένα ευχαριστώ θα ήθελα να απευθύνω στην εκλεκτή συνάδελφο και φίλη κ. Φανή Μπερμπερίδου, ΕΕΠ του ΤΕΦΑΑ του ΔΠΘ, για τις πολύτιμες συμβουλές της αλλά και για την παρότρυνση της να το τολμήσω. Ευχαριστώ, επίσης, και τον αγαπητό μου συνάδελφο κ. Ευάγγελο - Άγγελο Γενειατάκη για την πολύτιμη βοήθειά του στις εργαστηριακές μετρήσεις.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τη σύζυγο και τους γιους μου, για τη στήριξη, την κατανόηση και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια αυτής της σημαντικής για μένα διαδρομής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιωάννης Βεζιάσης : Η επίδραση της διάρκειας των επαναλήψεων στους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου κατά την αερόβια διαλειμματική άσκηση

(Με την επίβλεψη του Καθηγητή Ηλία Σμήλιου)

Ο σκοπός της έρευνας ήταν η μελέτη των επιδράσεων της διάρκειας των επαναλήψεων κατά την εκτέλεση δύο προγραμμάτων αερόβιας διαλειμματικής άσκησης, τα οποία είχαν ίδιο συνολικό χρόνο άσκησης και ίδια αναλογία διάρκειας άσκησης προς διάρκεια διαλείμματος, στους κεντρικούς παράγοντες (καρδιακή παροχή, καρδιακή συχνότητα και όγκος παλμού) καθώς και στον περιφερικό παράγοντα της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου ($a-vO_2\text{diff}$), που συμβάλλουν στον καθορισμό της κατανάλωσης οξυγόνου. Το δείγμα αποτέλεσαν 12 άνδρες και γυναίκες (ηλικίας 18 – 21 ετών), φοιτητές/τριες του ΤΕΦΑΑ του ΔΠΘ που εκτέλεσαν δύο προπονήσεις αερόβιας διαλειμματικής άσκησης με ανάπαυλα τουλάχιστον 7-8 ημερών. Στη μία προπόνηση εκτέλεσαν 8×2 λεπτά τρεξίματος στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 λεπτά και στην άλλη προπόνηση 4×4 λεπτά τρεξίματος με διάλειμμα 4 λεπτά, επίσης στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας. Κατά τη διάρκεια της άσκησης πραγματοποιήθηκε συνεχής καταγραφή της κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2), του όγκου παλμού (ΟΠ) και της καρδιακής συχνότητας (ΚΣ), ενώ στη συνέχεια υπολογίστηκαν η καρδιακή παροχή (ΚΠ) και η $a-vO_2\text{diff}$. Για κάθε παράμετρο υπολογίστηκε η μέση τιμή σε κάθε επανάληψη, ξεχωριστά για τη φάση της άσκησης και για τη φάση του διαλείμματος. Επιπλέον, μετρήθηκε η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα 5 λεπτά μετά το τέλος της προθέρμανσης, καθώς και μετά τη 2^η και την 4^η επανάληψη στην συνθήκη με διάρκεια επαναλήψεων 4 λεπτών, και μετά την 4^η και την 8^η επανάληψη στην συνθήκη με διάρκεια επαναλήψεων 2 λεπτών. Η VO_2 , η ΚΣ, η $a-vO_2\text{diff}$ και η συγκέντρωση του γαλακτικού ήταν μεγαλύτερες ($p < 0,05$) στην φάση άσκησης στις επαναλήψεις διάρκειας 4 λεπτών έναντι των 2 λεπτών. Κατά την διάρκεια των διαλειμμάτων οι τιμές αυτών των VO_2 , ΚΣ, $a-vO_2\text{diff}$ ήταν μεγαλύτερες ($p < 0,05$) στις επαναλήψεις των 2 λεπτών έναντι των 4 λεπτών. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) μεταξύ των δύο προγραμμάτων

διαλειμματικής άσκησης στις συνολικές τιμές της $\dot{V}O_2$, ΚΠ, ΟΠ, ΚΣ και $a-vO_2$ diff. Ο χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80% και 90% της $\dot{V}O_{2max}$ ήταν μεγαλύτερος ($p < 0,001$) στο πρόγραμμα των 4 λεπτών έναντι των 2 λεπτών. Συμπεραίνεται ότι οι επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας (4 min), στη συγκεκριμένη ένταση άσκησης (90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας), οδηγούν σε μεγαλύτερη ενεργοποίηση τόσο του αερόβιου μεταβολισμού, με αυξημένη συμβολή των περιφερικών παραγόντων, όσο και του αναερόβιου μεταβολισμού. Πιθανόν, η μακροχρόνια εφαρμογή επαναλήψεων μεγαλύτερης διάρκειας να ευνοεί την επίτευξη πιο ουσιαστικών προσαρμογών σε σύγκριση με τη χρήση επαναλήψεων μικρότερης διάρκειας (2 min).

Λέξεις κλειδιά: διαλειμματική προπόνηση, κατανάλωση οξυγόνου, καρδιακή παροχή, αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου

ABSTRACT

Ioannis Vezasis: The effect of repetition duration on central and peripheral factors determining oxygen consumption during aerobic interval exercise

(Supervised by Professor Ilias Smilios)

The purpose of the present study was to investigate the effects of repetition duration during two aerobic interval exercise programs, with equal total exercise time and identical exercise-to-rest ratio, on central (cardiac output, heart rate, and stroke volume) and peripheral [arteriovenous oxygen difference ($a-vO_2\text{diff}$)] determinants of oxygen uptake. The sample consisted of 12 male and female students (aged 18–21 years) from the Department of Physical Education and Sport Science of Democritus University of Thrace, who performed two aerobic interval training sessions separated by 7–8 days. In one session, participants performed 8×2 -minute running bouts at 90% of maximal aerobic speed with 2-minute recovery intervals. In the other session, they performed 4×4 -minute running bouts with 4-minute recovery intervals, again at 90% of maximal aerobic speed. During the exercise conditions, oxygen consumption (VO_2), stroke volume (SV), and heart rate (HR) were continuously recorded, and cardiac output (CO) and $a-vO_2\text{diff}$ were subsequently calculated. For each parameter, the mean value of each repetition, separately for the exercise and the recovery phases, was calculated. Additionally, blood lactate concentration was measured 5 minutes after the end of the warm-up, after the 2nd and 4th repetition in the 4-minute protocol, and after the 4th and 8th repetition in the 2-minute protocol. VO_2 , HR, $a-vO_2\text{diff}$, and blood lactate concentration were significantly higher ($p < 0.05$) during the exercise phase in the 4-minute repetitions compared to the 2-minute repetitions. During the recovery intervals, VO_2 , HR, and $a-vO_2\text{diff}$ were significantly higher ($p < 0.05$) in the 2-minute protocol compared to the 4-minute protocol. No significant differences ($p > 0.05$) were observed between the two interval training programs in the total values of VO_2 , CO, SV, HR, and $a-vO_2\text{diff}$. The exercise time with oxygen consumption higher than 80% and 90% of $VO_{2\text{max}}$ were significantly greater ($p < 0.05$) in the 4-minute protocol compared to the 2-minute protocol. It is concluded that longer-duration repetitions (4 min), at the specific intensity used (90% of maximal aerobic speed), elicit greater activation of aerobic

metabolism—with a greater contribution of peripheral factors—as well as anaerobic metabolism. It is possible that the long-term implementation of longer-duration repetitions may promote superior physiological adaptations compared to shorter-duration repetitions (2 min).

Keywords: interval training, oxygen uptake, cardiac output, arteriovenous oxygen difference

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	12
 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	 13
1.1. Σκοπός.....	16
1.2.Ερευνητικές υποθέσεις.....	17
1.3.Οριοθετήσεις και Περιορισμοί.....	17
1.4.Ορισμοί και Συντομογραφίες.....	17
 2.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	 19
2.1. Δείγμα.....	19
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός.....	19
2.3. Μετρήσεις και όργανα μέτρησης.....	20
2.3.1. Δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση.....	20
2.3.2. Σωματομετρικές μετρήσεις.....	21
2.3.3. Αναπνευστικές παράμετροι.....	21
2.3.4. Αιμοδυναμικοί παράγοντες.....	21
2.3.5.Συγκέντρωση γαλακτικού αίματος.....	23
2.3.6. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.....	23
2.4. Στατιστική ανάλυση.....	23
 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	 25
3.1. Μέση τιμή κατανάλωσης οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος.....	25
3.2. Μέση τιμή καρδιακής συχνότητας στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος	26
3.3. Μέση τιμή όγκου παλμού στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος.....	27
3.4. Μέση τιμή καρδιακής παροχής στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος	29
3.5. Μέση τιμή αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος.....	30
3.6.Συνολικές τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής συχνότητας, όγκου παλμού, καρδιακής παροχής και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου με την εκτέλεση των δύο προγραμμάτων διαλειμματικής άσκησης.....	31
3.7. Χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80 και 90% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου.....	31
3.8. Συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα.....	32
3.9. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.....	33

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	38
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Μέγιστες τιμές των καρδιοαναπνευστικών παραμέτρων που επιτεύχθηκαν κατά τη μέγιστη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης.....	21
Πίνακας 2	Συνολικές τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής συχνότητας, όγκου παλμού, καρδιακής παροχής και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου με την εκτέλεση των δύο προγραμμάτων διαλειμματικής άσκησης.....	31

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	Μέσες τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (* $p=0,001$ μεταξύ 1 ^{ης} και 2 ^{ης} επανάληψης, # $p=0,05$ μεταξύ 1 ^{ης} και 3 ^{ης} επανάληψης, † $p< 0,001$ μεταξύ της 1 ^{ης} και της 3 ^{ης} από την 2 ^η και την 4 ^η).....	26
Σχήμα 2	Μέσες τιμές της καρδιακής συχνότητας στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (* $p<0,001$, η 1 ^η επανάληψη χαμηλότερη από τις 2 ^η , 3 ^η και 4 ^η , # $p< 0,001$, 1 ^η και 2 ^η επανάληψη χαμηλότερες από 3 ^η και 4 ^η).....	27
Σχήμα 3	Μέσες τιμές του όγκου παλμού στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (* $p< 0,001$, 1 ^η επανάληψη χαμηλότερη από 2 ^η , 3 ^η και 4 ^η).....	28
Σχήμα 4	Μέσες τιμές της καρδιακής παροχής στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (# $p< 0,001$, 1 ^η επανάληψη χαμηλότερη από 2 ^η , 3 ^η και 4 ^η , * $p< 0,001$, 3 ^η και 4 ^η επανάληψη υψηλότερες από 1 ^η και 2 ^η)...	29
Σχήμα 5	Μέσες τιμές της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (# $p< 0,001$ με την 1 ^η επανάληψη υψηλότερη από 2 ^η , 3 ^η και 4 ^η , * $p< 0,001$ 1 ^η επανάληψη υψηλότερη από 2 ^η , 3 ^η και 4 ^η).....	30
Σχήμα 6	Μέσες τιμές συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα στη φάση άσκησης στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης, (* $p< 0,001$, 4 x 4 από 8 x 2).....	32

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$) ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο ο οργανισμός μπορεί να προσλαμβάνει, να μεταφέρει και να καταναλώνει οξυγόνο κατά τη διάρκεια άσκησης και αποτελεί τον πλέον αποδεκτό δείκτη αερόβιας ικανότητας (Bassett & Howley, 2000). Σύμφωνα με την εξίσωση του Fick, η $\dot{V}O_{2max}$ καθορίζεται από το γινόμενο της μέγιστης καρδιακής παροχής (KP_{max}), και της μέγιστης αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (avO_{2diff}), γεγονός που αναδεικνύει τη συνδυαστική συμβολή κεντρικών και περιφερικών παραγόντων. Οι κεντρικοί παράγοντες που δύνανται να περιορίζουν τη $\dot{V}O_{2max}$ αφορούν κυρίως τη λειτουργική ικανότητα του καρδιοαναπνευστικού συστήματος και περιλαμβάνουν την πνευμονική διαχυτική ικανότητα, την αποτελεσματικότητα της αναπνευστικής λειτουργίας, τη μέγιστη καρδιακή παροχή καθώς και την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου μέσω του αίματος. (Bassett & Howley, 2000). Αντιθέτως, οι περιφερειακοί παράγοντες σχετίζονται με μηχανισμούς σε επίπεδο ενεργού μυϊκού ιστού και αφορούν την ικανότητα πρόσληψης οξυγόνου από το τριχοειδικό δίκτυο, καθώς και την επακόλουθη οξειδωτική του αξιοποίηση στα μιτοχόνδρια. (Bassett & Howley, 2000). Παρότι και οι δύο κατηγορίες παραγόντων συμβάλλουν στον καθορισμό της κατανάλωσης οξυγόνου, στη βιβλιογραφία εξακολουθεί να υφίσταται συζήτηση ως προς το αν η $\dot{V}O_{2max}$ περιορίζεται πρωτίστως από κεντρικούς ή από περιφερειακούς μηχανισμούς (Rosenblat, Granata & Thomas, 2022).

Η σχετική συμβολή των παραπάνω μηχανισμών στη βελτίωση της $\dot{V}O_{2max}$ φαίνεται να εξαρτάται από το είδος, την ένταση και τη δομή του προπονητικού ερεθίσματος (Buchheit et al., 2013). Η προπόνηση αντοχής μπορεί να αυξήσει τη $\dot{V}O_{2max}$ μέσω προσαρμογών στα κεντρικά [καρδιακή παροχή (Astorino et al., 2017, Daussin et al., 2007), αιματολογικές μεταβλητές (Montero et al., 2015)] και στα περιφερειακά [μυϊκή οξειδωτική ικανότητα (Hood et al., 2011, Daussin et al., 2008), και αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου] συστατικά της αλληλουχίας μεταφοράς και αξιοποίησης του οξυγόνου (Raleigh et al., 2018, Murias et al., 2010). Κατά την εκτέλεση αερόβιας άσκησης που ενεργοποιείται μεγάλο μέρος της μυϊκής μάζας, όπως η ποδηλασία και το τρέξιμο, η $\dot{V}O_{2max}$ φαίνεται να καθορίζεται κυρίως από κεντρικούς παράγοντες και ειδικότερα από τη δυνατότητα της καρδιάς να παρέχει επαρκές οξυγόνο στους ενεργούς μύες, παρά από την ικανότητα των ίδιων των μυών να το αξιοποιούν. Πιο συγκεκριμένα, η $a-vO_{2diff}$ δεν αποτελεί τον κύριο

περιοριστικό παράγοντα σε τέτοιου είδους δραστηριότητες (Bassett, 2000; Skattebo et. al., 2020). Η $\dot{V}O_{2max}$ έχει αποδειχθεί ότι σχετίζεται στενά με το $\dot{V}O_{2max}$, γεγονός που υπογραμμίζει τον ρόλο της καρδιακής λειτουργίας στη μέγιστη αερόβια ικανότητα (Mortensen et. al., 2005).

Η αερόβια διαλειμματική άσκηση έχει εδραιωθεί ως μία από τις πλέον αποτελεσματικές προπονητικές μεθόδους για τη βελτίωση της $\dot{V}O_{2max}$, τόσο σε αθλητικούς όσο και σε μη αθλητικούς πληθυσμούς. Η διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης περιλαμβάνει μια ποικιλία πρωτοκόλλων άσκησης, με διαφορετική ένταση και διάρκεια ερεθίσματος, και διαλείμματος αποκατάστασης, που περιλαμβάνουν (i) «επαναλαμβανόμενη προπόνηση σπριντ», με σπριντ διάρκειας $\approx 3-7$ δευτερολέπτων και με περιόδους διαλείμματος μικρότερες των 60 δευτερολέπτων, (ii) «διαλειμματική προπόνηση σπριντ» με ≈ 30 δευτερόλεπτα διάρκεια σπριντ και 2-4 λεπτά παθητικών περιόδων αποκατάστασης, και (iii) διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης με είτε μικρής διάρκειας (< 1 λεπτό) είτε μεγάλης διάρκειας (2-4 λεπτά) επαναλήψεις με ισόχρονα διαστήματα παθητικής ή ενεργητικής ανάληψης (Buchheit and Laursen, 2013).

Ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια των επαναλήψεων, του διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων καθώς και του αριθμού των επαναλήψεων και των σειρών (Buchheit et al., 2013), η διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης διεγείρει μηχανισμούς όπως αυτός της μεταφοράς και χρήσης του οξυγόνου (Laursen et al., 2002). Πολλοί ερευνητές υποστήριξαν ότι ο συνολικός χρόνος άσκησης που επιτυγχάνεται με κατανάλωση οξυγόνου $\geq 90\%$ της $\dot{V}O_{2max}$, και όχι η συνολική ένταση (% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας), φαίνεται να είναι πρωταρχικής σημασίας για την ενίσχυση της $\dot{V}O_{2max}$. Μελέτες έχουν δείξει ότι προπονητικά πρωτόκολλα που μεγιστοποιούν αυτόν τον χρόνο πιθανών να προκαλούν μεγαλύτερες αυξήσεις στη $\dot{V}O_{2max}$, ανεξάρτητα από τη συνολική προπονητική διάρκεια ή την εξωτερική ένταση της άσκησης (Midgley et al., 2006; Rønnestad et al., 2014). Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην αυξημένη καρδιακή παροχή και στην παρατεταμένη ενεργοποίηση των περιφερικών μηχανισμών χρησιμοποίησης οξυγόνου, όπως η αυξημένη μυϊκή αιμάτωση και η ενίσχυση της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (Astorino et al., 2022; Bostad et al., 2021; Daussin et al., 2008).

Η διάρκεια των επαναλήψεων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τον καθορισμό της οξείας και χρόνιας απόκρισης της κατανάλωσης οξυγόνου κατά την αερόβια διαλειμματική άσκηση. Επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας (π.χ. 2-4 λεπτών) επιτρέπουν την επίτευξη

και διατήρηση της VO_2 σε υψηλά επίπεδα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εντός κάθε επανάληψης, γεγονός που αυξάνει τον συνολικό χρόνο παραμονής σε εντάσεις $\geq 90\%$ της $\text{VO}_{2\max}$ (Midgley et al., 2006; Buchheit & Laursen, 2013; Helgerud et al., 2023; Hov et al., 2023). Αντιθέτως, επαναλήψεις μικρότερης διάρκειας (<1 λεπτό), παρότι εκτελούνται συχνά σε υψηλότερη εξωτερική ένταση, περιορίζονται από τον χρόνο που απαιτείται για την κινητική απόκριση της VO_2 , με αποτέλεσμα μικρότερη συνολική έκθεση σε πολύ υψηλά ποσοστά της $\text{VO}_{2\max}$ (Dupont et al., 2004; Demarie et al., 2000; Zafeiridis et al., 2010).

Εξίσου καθοριστικός παράγοντας είναι η διάρκεια και η φύση του διαλείμματος αποκατάστασης. Μικρότερα διαλείμματα και ιδιαίτερα τα ενεργητικά διαλείμματα, ευνοούν τη διατήρηση αυξημένων επιπέδων καρδιακής συχνότητας και κατανάλωσης οξυγόνου μεταξύ των επαναλήψεων, περιορίζοντας την πτώση της VO_2 και επιταχύνοντας την επαναπροσέγγιση της $\text{VO}_{2\max}$ στην επόμενη επανάληψη (Billat et al., 2000; Buchheit et al., 2009). Αντίθετα, μεγαλύτερης διάρκειας ή πλήρη παθητικά διαλείμματα επιτρέπουν μεγαλύτερη αποκατάσταση, αλλά ενδέχεται να μειώσουν τον συνολικό χρόνο παραμονής σε υψηλά επίπεδα VO_2 , ιδιαίτερα όταν οι επαναλήψεις είναι μικρής διάρκειας (Laursen & Jenkins, 2002).

Επιπλέον, έχει υποστηριχθεί ότι πρωτόκολλα με μεγαλύτερης διάρκειας επαναλήψεις και σχετικά σύντομα διαλείμματα ευνοούν περισσότερο τις κεντρικές προσαρμογές, καθώς επιβάλλουν παρατεταμένο αιμοδυναμικό φορτίο στο καρδιαγγειακό σύστημα, οδηγώντας σε αυξήσεις της μέγιστης καρδιακής παροχής και του όγκου παλμού (Helgerud et al., 2007; Astorino et al., 2017). Παράλληλα, η παρατεταμένη παραμονή σε υψηλή VO_2 ενισχύει και τις περιφερικές προσαρμογές, όπως την τριχοειδική πυκνότητα και τη μιτοχονδριακή λειτουργία, συμβάλλοντας συνολικά στη βελτίωση της $\text{VO}_{2\max}$ (Daussin et al., 2008; Montero & Lundby, 2017).

Συνεπώς, η αλληλεπίδραση μεταξύ της διάρκειας των επαναλήψεων και του διαλείμματος, καθώς και ο συνολικός χρόνος παραμονής σε επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου $\geq 90\%$ της $\text{VO}_{2\max}$ φαίνεται να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στη ρύθμιση της κατανάλωσης οξυγόνου όσο και στην πρόκληση των προσαρμογών που οδηγούν σε βελτίωση της αερόβιας ικανότητας. Η κατανόηση των παραμέτρων αυτών είναι απαραίτητη για τον βέλτιστο σχεδιασμό διαλειμματικών προγραμμάτων άσκησης, με στόχο τη μεγιστοποίηση της $\text{VO}_{2\max}$ και, γενικότερα, της αερόβιας ικανότητας.

Η πλειονότητα των ερευνών έχει εξετάσει την επίδραση της έντασης και της διάρκειας των επαναλήψεων υψηλής έντασης (Zafeiridis et al., 2010; Wakefield & Glaister, 2009; Turnes et al., 2016; O'Brien et al., 2008) καθώς και της αναλογίας έργου και διαλείμματος αλλά κυρίως σε διαλειμματική άσκηση μικρής και μεσαίας διάρκειας (20s-2 min) (Millet et al., 2003; Myrkos et al., 2020) στην κατανάλωση οξυγόνου χωρίς να μετρήσουν τους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που την καθορίζουν. Οι Ksoll και συν. (2021), σε μελέτη που διερεύνησε πιθανές διαφορές στην κεντρική και περιφερική αιμοδυναμική απόκριση μεταξύ δύο πρωτοκόλλων διαλειμματικής άσκησης με ίδιο συνολικό χρόνο άσκησης αλλά διαφορετική διάρκεια επαναλήψεων (30 δευτερόλεπτα έναντι 3 λεπτών), ανέφεραν ότι οι επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας οδήγησαν σε υψηλότερες μέγιστες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής παροχής και συγκέντρωσης γαλακτικού. Ωστόσο, οι μέσες τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου, της καρδιακής παροχής και της τοπικής παροχής οξυγόνου δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων άσκησης.

Η μελέτη της επίδρασης της διάρκειας των επαναλήψεων μεσαίας διάρκειας (2 και 4 λεπτά) στους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου θα βοηθήσει: α) στη διερεύνηση του αν αυτός ο παράγοντας της επιβάρυνσης διαφοροποιεί τη συνεισφορά των συστημάτων μεταφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου και β) στην σωστότερη προσαρμογή της προπόνησης ανάλογα με το ποιο σύστημα είναι επιθυμητό να επιβαρυνθεί περισσότερο βάση των αναγκών του κάθε ασκούμενου.

1.1 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση των επιδράσεων της διάρκειας των επαναλήψεων κατά την εκτέλεση αερόβιας διαλειμματικής άσκησης, με ίδιο συνολικού χρόνου άσκησης και ίδια αναλογία διάρκειας άσκησης προς διάρκεια διαλείμματος, στους κεντρικούς παράγοντες (καρδιακή παροχή, καρδιακή συχνότητα και όγκος παλμού) και στους περιφερικούς παράγοντες (αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου) που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου. Επιπλέον, εξετάστηκαν ο χρόνος άσκησης κατά τον οποίο η κατανάλωση οξυγόνου υπερβαίνει το 80 και 90% της $\dot{V}O_{2max}$, η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.

1.2 Ερευνητικές υποθέσεις

Στο πρωτόκολλο αερόβιας διαλειμματικής άσκησης με μεγαλύτερης διάρκειας επαναλήψεις (4 min), στη συγκεκριμένη ένταση (90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας), ενεργοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό τόσο ο αερόβιος μεταβολισμός, με μεγαλύτερη συνεισφορά των περιφερικών παραγόντων, όσο και αναερόβιος μεταβολισμός, σε σύγκριση με το πρωτόκολλο με τις επαναλήψεις μικρότερης διάρκειας (2 min). Επίσης, θα υπάρχει επίδραση στην υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης και στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα με τις μεταβλητές αυτές να παρουσιάζουν αυξημένες τιμές στη διαλειμματική άσκηση με τη μεγαλύτερη διάρκεια των επαναλήψεων (4 min) σε σύγκριση με τις επαναλήψεις μικρότερης διάρκειας (2 min).

1.3. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί

- Στην έρευνα συμμετείχαν νεαροί δρομείς αναψυχής, φοιτητές του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, μη-καπνιστές και με απουσία καρδιοαναπνευστικών παθήσεων.
- Θα έπρεπε όλοι οι συμμετέχοντες να έχουν εμπειρία στο τρέξιμο τουλάχιστον 8 μηνών.
- Οι άνδρες έπρεπε να έχουν $\text{VO}_2\text{max} \geq 50 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ και οι γυναίκες $\geq 40 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Η μέτρηση γινόταν πρωινές ώρες στο χώρο του εργαστηρίου, με τους δοκιμαζόμενους να απέχουν τουλάχιστον 48 ώρες από οποιαδήποτε άλλη κινητική δραστηριότητα.

1.4. Ορισμοί και Συντομογραφίες

- *Διαλειμματική άσκηση 4 x 4*: διαλειμματική άσκηση που αποτελείται από 4 προσπάθειες των 4 λεπτών σε ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (MAT) με ενεργητική αποκατάσταση για 4 λεπτά στο 35% της MAT.
- *Διαλειμματική άσκηση 8 x 2*: διαλειμματική άσκηση που αποτελείται από 8 προσπάθειες των 2 λεπτών σε ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 90% της MAT με ενεργητική αποκατάσταση για 2 λεπτά στο 35% της MAT.
- *Μέγιστη αερόβια ταχύτητα (MAT)*: Η μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνεται σε δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως της εξάντληση σε δαπεδοεργόμετρο.
- *Μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου (VO_2max)*: Ο μέγιστος όγκος προσλαμβανόμενου οξυγόνου που μπορεί να καταναλώσει ο ασκούμενος σε δοκιμασία προοδευτικά

αυξανόμενης επιβάρυνσης σε δαπεδοεργόμετρο σε ένα λεπτό για την παραγωγή ενέργειας.

- *Όγκος παλμού (ΟΠ):* Ο συνολικός όγκος αίματος που εξωθείται από την αριστερή κοιλία της καρδιάς σε έναν παλμό.
- *Καρδιακή παροχή (ΚΠ):* Ο συνολικός όγκος αίματος που εξωθείται από την αριστερή κοιλία της καρδιάς μέσα σε ένα λεπτό.
- *Αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ($a-vO_2diff$):* Η διαφορά της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο αίμα ανάμεσα στις φλέβες και τις αρτηρίες, που αποτελεί ένα μέτρο της ποσότητας οξυγόνου που λαμβάνεται στους ιστούς από το αίμα.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Δείγμα

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 12 δρομείς αναψυχής (5 άνδρες και 7 γυναίκες ηλικίας $19,39 \pm 1,06$ ετών, σωματική μάζα $63,21 \pm 11,70$ Kg, ύψος $1,70 \pm 0,08$ m και $VO_2\max$: $45,85 \pm 14,17$ mL•kg⁻¹•min⁻¹) φοιτητές και φοιτήτριες του ΤΕΦΑΑ του ΔΠΘ με εμπειρία στο τρέξιμο τουλάχιστον 8 μηνών. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να είναι υγιείς, χωρίς κανένα πρόσφατο τραυματισμό, με απουσία καρδιοαναπνευστικών παθήσεων και μη καπνιστές. Επίσης, οι άνδρες έπρεπε να έχουν $VO_2\max \geq 50$ mL•kg⁻¹•min⁻¹ και οι γυναίκες ≥ 40 mL•kg⁻¹•min⁻¹. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι υπόγραψαν έντυπο εθελοντικής συμμετοχής στη μελέτη αφού πρώτα τους δόθηκε γραπτώς και προφορικός, αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών.

2.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Οι δοκιμαζόμενοι συμμετείχαν σε τρεις πειραματικές συνεδρίες. Στην πρώτη συνεδρία, σε μια δοκιμασία σταδιακά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση σε δαπεδοεργόμετρο (hr cosmos, Quasar) μετρήθηκαν η μέγιστη αερόβια ταχύτητα (MAT), η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ($VO_2\max$), ο μέγιστος όγκος παλμού (ΟΠ) και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (ΚΣ), και υπολογίστηκαν η μέγιστη καρδιακή παροχή (ΚΠ) και η μέγιστη αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ($a-vO_2\text{diff}$). Στη δεύτερη και τρίτη πειραματική συνεδρία, οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν διαλειμματική άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο που περιλάμβανε είτε 4 επαναλήψεις των 4 λεπτών στο 90% της MAT με ενεργητικό διάλειμμα 4 λεπτών στο 35% της MAT είτε 8 επαναλήψεις των 2 λεπτών στο 90% της MAT με ενεργητικό διάλειμμα 2 λεπτών στο 35% της MAT. Μετά το τέλος της προθέρμανσης και μετά τη 2η και την 4η επανάληψη στην προπόνηση των επαναλήψεων διάρκειας 4 λεπτών, καθώς και μετά την 4η και την 8η επανάληψη στην προπόνηση των επαναλήψεων διάρκειας 2 λεπτών, μετρήθηκε η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα. Επίσης, μετρήθηκε και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης στο τέλος της κάθε προπονητικής μονάδας. Η σειρά εκτέλεσης των δύο προπονήσεων έγινε με τυχαία επιλογή και με αντιστάθμιση. Σε όλη τη διάρκεια των δύο προπονήσεων καταγράφονταν η VO_2 (Cosmed, Quark RMR-CPET), ο ΟΠ, η ΚΣ και ΚΠ (PhysioFlow, Enduro).

2.3. Μετρήσεις και όργανα μέτρησης

2.3.1. Δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση

Οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν μια μέγιστη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης έντασης στο δαπεδοεργόμετρο (hp cosmos, Quasar), έτσι ώστε να μετρηθεί η μέγιστη αερόβια ταχύτητα (MAT), η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου (VO_2max), ο μέγιστος όγκος παλμού (ΟΠ) και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (ΚΣ), και υπολογίστηκαν η μέγιστη καρδιακή παροχή (ΚΠ) και η μέγιστη αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ($a\text{-vO}_2\text{diff}$) μέσω της εξίσωσης του Fick:

$$\text{VO}_2 = \text{ΚΠ} (\text{ΚΣ} \times \text{ΟΠ}) \times a\text{-vO}_2\text{diff}$$

Οι τιμές των μεταβλητών υπολογίστηκαν σε χρονικά διαστήματα 30 sec και ως μέγιστες τιμές θεωρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές που καταγράφηκαν στη διάρκεια της δοκιμασίας (Πίνακας 1).

Η μέγιστη αερόβια ταχύτητα (MAT) υπολογίστηκε με βάση τον τύπο: $\text{MAT} = \text{Ταχύτητα στο τελευταίο ολοκληρωμένο στάδιο} + (\text{δευτερόλεπτα τρεξίματος στο τελευταίο στάδιο} / 120)$.

Η καρδιακή συχνότητα καταγραφόταν τηλεμετρικά σε όλη την διάρκεια της δοκιμασίας με την χρήση παλμογράφου στήθους (Polar, Electro H10, Finland) ανά δευτερόλεπτο.

Η δοκιμασία ξεκινούσε με προθέρμανση 4 λεπτών με ταχύτητα 7 km/h για τις γυναίκες και 8 km/h για τους άνδρες, και κατόπιν η ταχύτητα αυξάνονταν κατά 1 km/h κάθε 2 λεπτά μέχρι την εξάντληση του ασκούμενου. Για να θεωρηθεί έγκυρη η δοκιμασία θα έπρεπε να πληρούνται τρία από τα παρακάτω τέσσερα κριτήρια:

1. Ορατή εξάντληση του δοκιμαζόμενου
2. Καρδιακή συχνότητα μεγαλύτερη από το 90% της προβλεπόμενης μέγιστης καρδιακής συχνότητας βάσει του τύπου 220-ηλικία
3. Επίτευξη πλατό στην κατανάλωση οξυγόνου παρά την αύξηση της ταχύτητας τρεξίματος
4. Αναπνευστικό πηλίκο μεγαλύτερο του 1,1

Πίνακας 1. Μέγιστες τιμές των καρδιοαναπνευστικών παραμέτρων που επιτεύχθηκαν κατά τη μέγιστη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης.

VO ₂ max (ml/Kg/min)	48,45 ± 14,17
ΚΠmax (L/min)	23,93 ± 4,58
ΟΠmax (ml)	126,90 ± 25,92
ΚΣmax (bpm)	196,50 ± 5,87
MAT (km/h)	13,93 ± 1,41

VO₂max= μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου, ΚΠmax= μέγιστη καρδιακή παροχή, ΟΠmax= μέγιστος όγκος παλμού, ΚΣmax= μέγιστη καρδική συχνότητα, MAT= μέγιστη αερόβια ταχύτητα

2.3.2. Σωματομετρικές μετρήσεις

Για τη μέτρηση της σωματικής μάζας των συμμετεχόντων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός ζυγός (Seca, 767), με ακρίβεια 0,1 kg. Για τη μέτρηση του ύψους χρησιμοποιήθηκε φορητό αναστημόμετρο (Seca 213) στον κατακόρυφο άξονα του οποίου ήταν προσαρμοσμένος ένας οριζόντιος χάρακας που ερχόταν σε επαφή με το υψηλότερο σημείο του κεφαλιού του δοκιμαζόμενου, με την καταγραφή να γίνεται με ακρίβεια 0,01 m.

2.3.3. Αναπνευστικές παράμετροι

Για την μέτρηση των αναπνευστικών παραμέτρων, κατά την διάρκεια της δοκιμασίας προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης έως την εξάντληση, αλλά και για της δύο επόμενες συνεδρίες, χρησιμοποιήθηκε εργοσπιρόμετρο (Cosmed, Quark RMR-CPET). Πριν από την έναρξη της κάθε συνεδρίας γινόταν βαθμονόμηση του αναλυτή αερίων με τη χρήση αερίων γνωστής ποσοστιαίας συγκέντρωσης O₂ και CO₂ από φιάλη συμπιεσμένου αέρα σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Επίσης γινόταν και βαθμονόμηση του ροόμετρου του αναλυτή με την χρήση σύριγγας όγκου 3L με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.

2.3.4. Αιμοδυναμικοί παράγοντες

Ο όγκος παλμού (ΟΠ) και η καρδιακή παροχή (ΚΠ) μετρήθηκαν μη επεμβατικά μέσω μορφολογίας σήματος καρδιογραφίας αντίστασης (PhysioFlow Enduro, Manatec Biomedical, Folschviller, Γαλλία), γνωστή και ως διαθωρακική ηλεκτρική βιο-αντίσταση. Η μορφολογία σήματος καρδιογραφίας αντίστασης ανιχνεύει αλλαγές στη θωρακική αντίσταση που προκαλούνται από τον εναλλασσόμενο καρδιακό όγκο στέλνοντας ένα

ρεύμα χαμηλής έντασης και υψηλής συχνότητας μέσω του θώρακα (Dupuis et al., 2018; Charloux et al., 2000). Η μέθοδος καρδιογραφίας αντίστασης στο σύστημα PhysioFlow, επικυρώθηκε έναντι της άμεσης μεθόδου Fick ή/και της θερμοαραίωσης σε ασθενείς (Moshkovitz et al., 2004) και δοκιμασίες κόπωσης (Richard et al., 2001).

Για αυτή τη μέθοδο, έξι ηλεκτρόδια (Ambu, BlueSensor L) τοποθετήθηκαν στον λαιμό και το άνω μέρος του σώματος του ατόμου. Τοποθετήθηκαν δύο ηλεκτρόδια σε λοξή κατακόρυφη σειρά στην αριστερή πλευρά του λαιμού, πάνω στην νοητή γραμμή που ενώνει τον λοβό του αριστερού αυτιού με την ακρωμιακή μοίρα του αριστερού δελτοειδούς μυός. Επίσης, τοποθετήθηκε ένα ηλεκτρόδιο επάνω στο στέρνο, περίπου στο 1/3 της απόστασης μεταξύ της στερνοκλειδικής άρθρωσης και της ξιφοειδούς απόφυσης, και ένα μεσομασχαλιαία στην αριστερή πλευρά στο ύψος της ξιφοειδούς απόφυσης και 5 cm πιο αριστερά, στο οριζόντιο επίπεδο, από την αριστερή θηλή. Τέλος, τοποθετήθηκαν δύο ηλεκτρόδια σε κατακόρυφη σειρά στην αριστερή πλευρά της πλάτης και στο ύψος της ξιφοειδούς απόφυσης, δίπλα στην σπονδυλική στήλη, επάνω στο μυώδες όγκωμα των ιερονωτιαίων μυών. Προηγουμένως, το δέρμα ξυρίστηκε και καθαρίστηκε με τζελ προετοιμασίας δέρματος και αλκοόλ για να αυξηθεί η αγωγιμότητα του δέρματος και η ποιότητα του σήματος.

Πριν από την έναρξη της δοκιμασίας μετρήθηκε η αρτηριακή πίεση με αναλογικό πιεσόμετρο. Οι συμμετέχοντες καθόταν σε καρέκλα με την πλάτη ακουμπισμένη, τα πόδια επίπεδα στο πάτωμα και μη σταυρωμένα. Το αριστερό χέρι τοποθετήθηκε σε ύψος καρδιάς, τεντωμένο με την παλάμη ανοιχτή προς τα πάνω, ενώ η μανσέτα τοποθετήθηκε 2–3 cm πάνω από τον αγκώνα, με το στηθοσκόπιο πάνω από τη βραχιόνια αρτηρία. Αμέσως μετά πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του συστήματος: οι συμμετέχοντες διατήρησαν χαλαρή στάση στο εργόμετρο και, μόλις το σήμα σταθεροποιήθηκε, το λογισμικό ανέλυσε 30 καρδιακούς παλμούς για την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, οι τιμές καρδιακής συχνότητας (ΚΣ), όγκου παλμού (ΟΠ) και καρδιακής παροχής (ΚΠ) καταγράφηκαν κάθε 10 δευτερόλεπτα.

Πριν από την έναρξη της δοκιμασίας μετρήθηκε η αρτηριακή πίεση με αναλογικό πιεσόμετρο. Οι συμμετέχοντες καθόταν σε καρέκλα με την πλάτη ακουμπισμένη, τα πόδια επίπεδα στο πάτωμα και μη σταυρωμένα. Το αριστερό χέρι τοποθετήθηκε στο ύψος της καρδιάς, τεντωμένο με την παλάμη ανοιχτή προς τα πάνω, ενώ η μανσέτα τοποθετήθηκε 2–3 cm πάνω από τον αγκώνα με το στηθοσκόπιο πάνω από την βραχιόνια αρτηρία. Αμέσως

μετά πραγματοποιούνταν η βαθμονόμηση του συστήματος. Οι δοκιμαζόμενοι διατηρήσαν χαλαρή στάση στο εργόμετρο και, μόλις το σήμα σταθεροποιήθηκε, το λογισμικό ανέλυσε 30 καρδιακούς παλμούς για την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, οι τιμές ΚΣ, ΟΠ και ΚΠ καταγράφηκαν κάθε 10 sec.

2.3.5. Συγκέντρωση γαλακτικού αίματος

Για την μέτρηση του γαλακτικού στο αίμα χρησιμοποιήθηκαν ταινίες γαλακτικού (EKF Diagnostics, Lactate Scout Sensors) και ο μετρητής γαλακτικού Lactate Scout 4. Η συγκέντρωση του γαλακτικού προσδιορίστηκε με ενζυμική-αμπερομετρική μέθοδο, χρησιμοποιώντας γαλακτικής οξειδάση, μετά το τέλος της προθέρμανσης και μετά τη 2η και την 4η επανάληψη στο πρωτόκολλο των 4 λεπτών, καθώς και μετά την 4η και την 8η επανάληψη στο πρωτόκολλο των 2 λεπτών.

2.3.6. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης

Μετά το τέλος κάθε συνεδρίας ζητήθηκε από τους δοκιμαζόμενους να προσδιορίσουν την υποκειμενική τους κόπωση χρησιμοποιώντας την εικοσαβάθμια κλίμακα του Borg (Κλίμακα Υποκειμενικής Αντίληψης της Κόπωσης), η οποία ήταν τοποθετημένη σε πίνακα απέναντι από το δαπεδοεργόμετρο όπου εκτελούσαν την πειραματική συνθήκη. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για να συσχετιστούν τα επίπεδα κόπωσης με τις παραμέτρους καρδιαγγειακής και μεταβολικής απόκρισης σε κάθε πρωτόκολλο άσκησης.

2.4. Στατιστική ανάλυση

Ανεξάρτητες μεταβλητές: το πρόγραμμα άσκησης - διάρκεια των επαναλήψεων και ο αριθμός επανάληψης.

Εξαρτημένες μεταβλητές: η καρδιακή παροχή, ο όγκος παλμού, η κατανάλωση οξυγόνου, η καρδιακή συχνότητα, η αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου, η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.

Ανάλυση δεδομένων. Για την ανάλυση των δεδομένων υπολογίστηκε η μέση τιμή των εξαρτημένων μεταβλητών α) σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των προγραμμάτων (φάσεις άσκησης και φάσεις διαλείμματος) και β) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των επαναλήψεων. Στο πρόγραμμα άσκησης με διάρκεια επαναλήψεων 2 λεπτά,

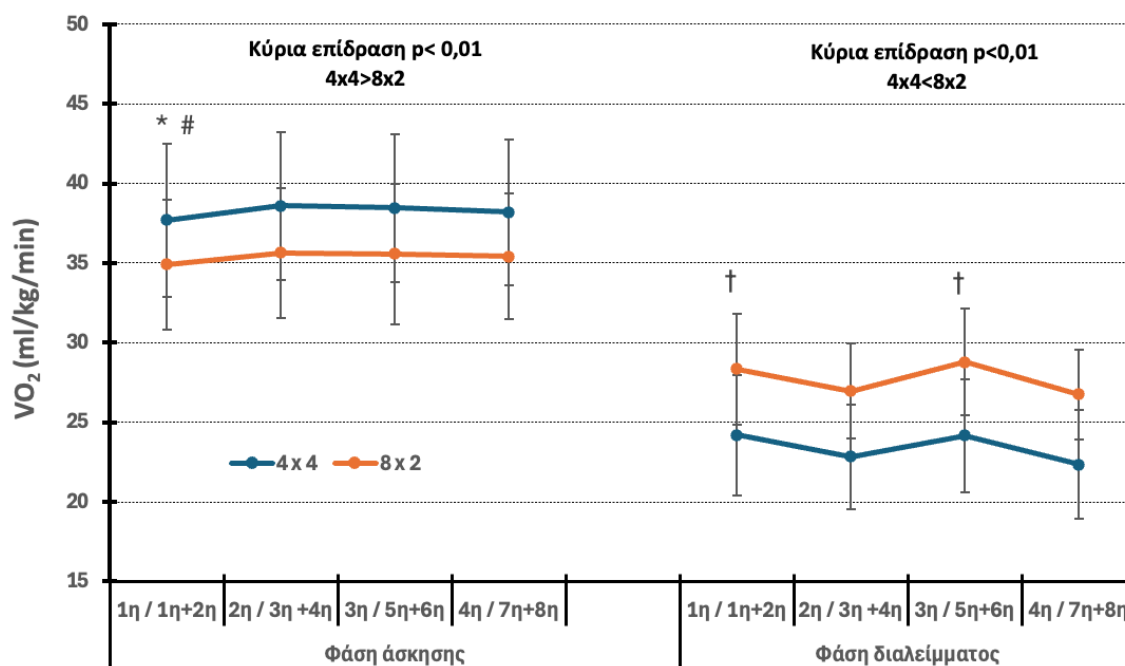
υπολογίστηκε η μέση τιμή ανά δύο επαναλήψεις έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση ανά επανάληψη με το πρόγραμμα όπου οι επαναλήψεις είχαν διάρκεια 4 λεπτά. Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος T για εξαρτημένα δείγματα όπου εξετάστηκε η επίδραση του παράγοντα «διάρκεια επαναλήψεων» (2 ή 4 λεπτά) στη μέση τιμή των εξαρτημένων μεταβλητών σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των προγραμμάτων (φάσεις άσκησης και φάσεις διαλείμματος). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης) με επαναλαμβανόμενους και στους δύο παράγοντες για να εξεταστεί η κύρια επίδραση και η αλληλεπίδραση των παραγόντων «διάρκεια επανάληψης» και «αριθμός επανάληψης» στις τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων εξετάστηκαν με το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων του Tukey. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0,05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Μέση τιμή κατανάλωσης οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33)= 0,05$; $p= 0,984$] στη μέση τιμή της κατανάλωσης οξυγόνου στις φάσεις εκτέλεσης των επαναλήψεων (Σχήμα 1). Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης στην κατανάλωση οξυγόνου κατά την φάση άσκησης [$F(1,11)= 11,42$; $p= 0,006$] με μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται στις επαναλήψεις διάρκειας 4 λεπτών έναντι των 2 λεπτών ($38,23 \pm 4,58$ vs $35,38 \pm 4,10$ ml/kg/min). Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33)= 4,25$; $p= 0,012$] με τις τιμές κατανάλωσης οξυγόνου στην 1^η επανάληψη να είναι χαμηλότερες έναντι της 2^{ης} επανάληψης ($p= 0,001$) και της 3^{ης} επανάληψης ($p= 0,05$).

Δεν υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33)= 0,42$; $p= 0,735$] στη μέση τιμή της κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη φάση των διαλειμμάτων μεταξύ των επαναλήψεων (Σχήμα 1). Στη φάση του διαλλείματος παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης [$F(1,11)= 61,20$; $p< 0,001$], με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται στις επαναλήψεις διάρκειας 2 λεπτών έναντι των 4 λεπτών ($23,39 \pm 3,46$ vs $27,71 \pm 3,03$ ml/kg/min). Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33)= 22,86$; $p< 0,001$] με τις τιμές στην 1^η και στην 3^η επανάληψη να είναι υψηλότερες ($p< 0,001$) συγκριτικά με την 2^η και 4^η επανάληψη.

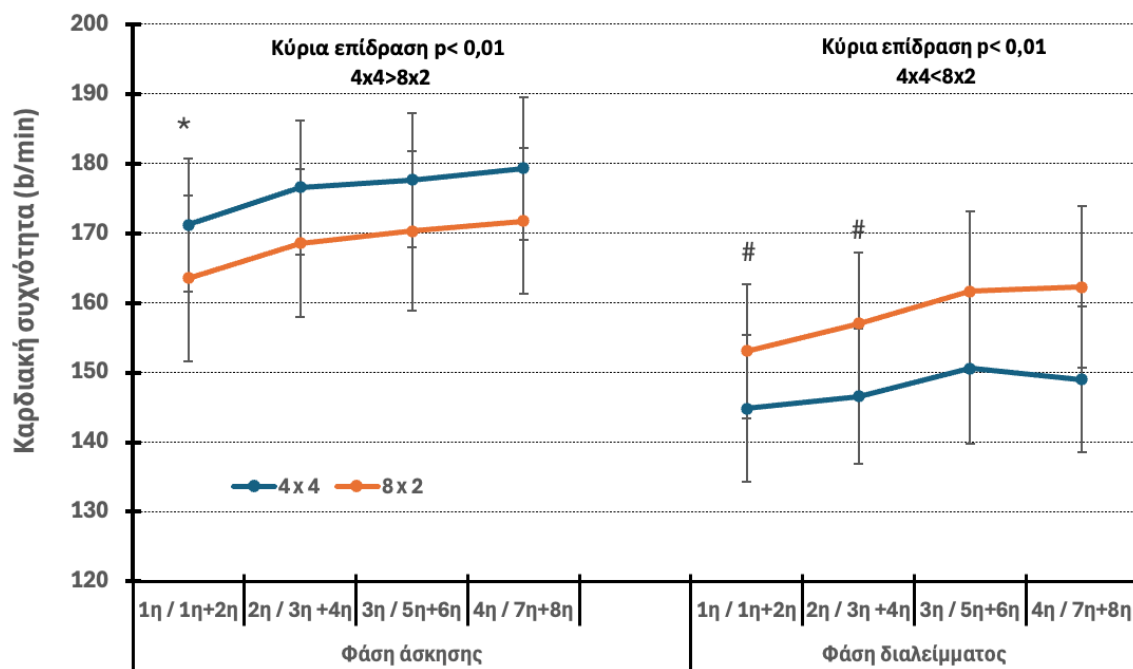


Σχήμα 1. Μέσες τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (* $p=0,001$ μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} επανάληψης, # $p=0,05$ μεταξύ 1^{ης} και 3^{ης} επανάληψης, † $p<0,001$ μεταξύ της 1^{ης} και της 3^{ης} από την 2^η και την 4^η).

3.2. Μέση τιμή καρδιακής συχνότητας στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33)=0,158$; $p=0,924$] στη μέση τιμή της καρδιακής συχνότητας στις φάσεις εκτέλεσης των επαναλήψεων (Σχήμα 2). Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης κατά τη φάση της άσκησης [$F(1,11)=24,85$; $p<0,001$], με τις μεγαλύτερες τιμές να βρίσκονται στις επαναλήψεις διάρκειας 4 λεπτών έναντι των επαναλήψεων των 2 λεπτών (176 ± 9 vs 168 ± 11 bpm). Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33)=57,96$; $p<0,001$], με τις τιμές στην 1^η επανάληψη να είναι χαμηλότερες από την 2^η την 3^η και την 4^η επανάληψη ($p<0,001$).

Υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33)=3,41$; $p=0,029$] στη μέση τιμή της καρδιακής συχνότητας κατά τη φάση των διαλειμμάτων μεταξύ των επαναλήψεων (Σχήμα 2). Στη φάση του διαλείμματος παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης [$F(1,11)=24,00$; $p<0,001$], με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται στις επαναλήψεις διάρκειας 2 λεπτών έναντι των 4 λεπτών (148 ± 10 vs



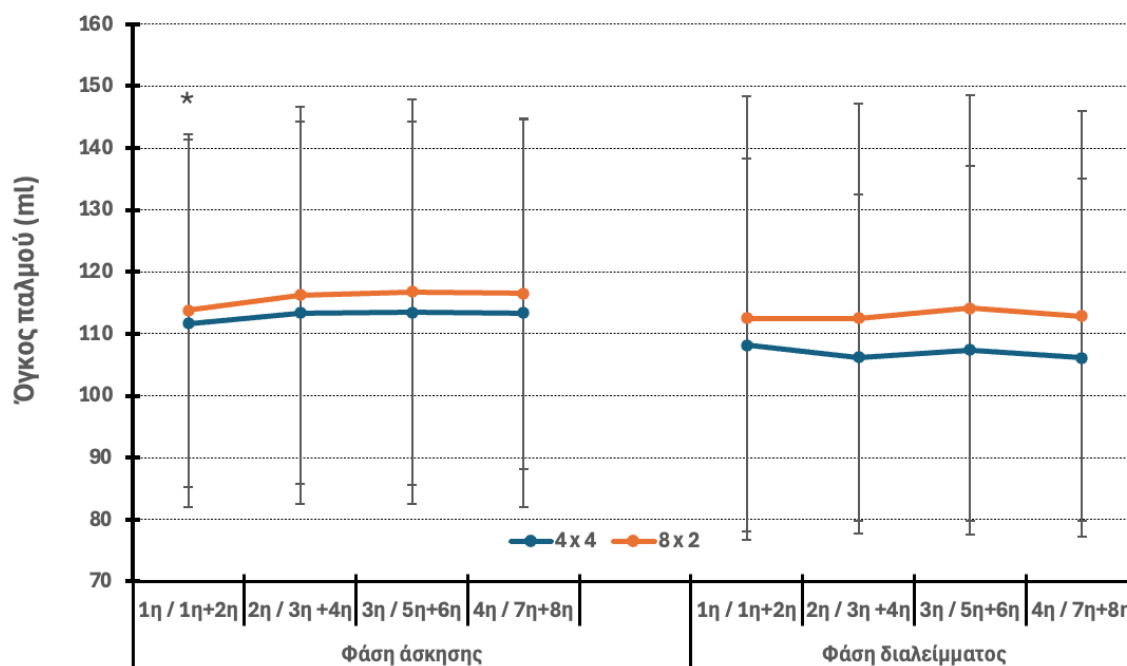
Σχήμα 2. Μέσες τιμές της καρδιακής συχνότητας στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (* $p < 0,001$, η 1^η επανάληψη χαμηλότερη από τις 2^η, 3^η και 4^η, # $p < 0,001$, 1^η και 2^η επανάληψη χαμηλότερες από 3^η και 4^η).

158 ± 10 bpm). Σημαντική επίδραση υπήρξε και στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 50,68$; $p < 0,001$] με τις τιμές στην 1^η και 2^η επανάληψη να είναι χαμηλότερες από την 3^η και 4^η επανάληψη ($p < 0,001$).

3.3. Μέση τιμή όγκου παλμού στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 0,291$; $p = 0,417$] στη μέση τιμή του όγκου παλμού στις φάσεις εκτέλεσης των επαναλήψεων (Σχήμα 3). Δεν παρατηρήθηκε επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης κατά την φάση της άσκησης [$F(1,11) = 0,710$; $p = 0,417$]. Σημαντική κύρια επίδραση υπάρχει στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 2,935$; $p = 0,048$] με τις τιμές στην 1^η επανάληψη να είναι χαμηλότερες από την 2^η την 3^η και 4^η επανάληψη ($p < 0,001$).

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 0,867$; $p = 0,468$] στη μέση τιμή του όγκου παλμού κατά τις φάσεις των διαλειμμάτων (Σχήμα 3). Επίσης, δεν παρατηρήθηκε επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης κατά τις φάσεις των διαλειμμάτων



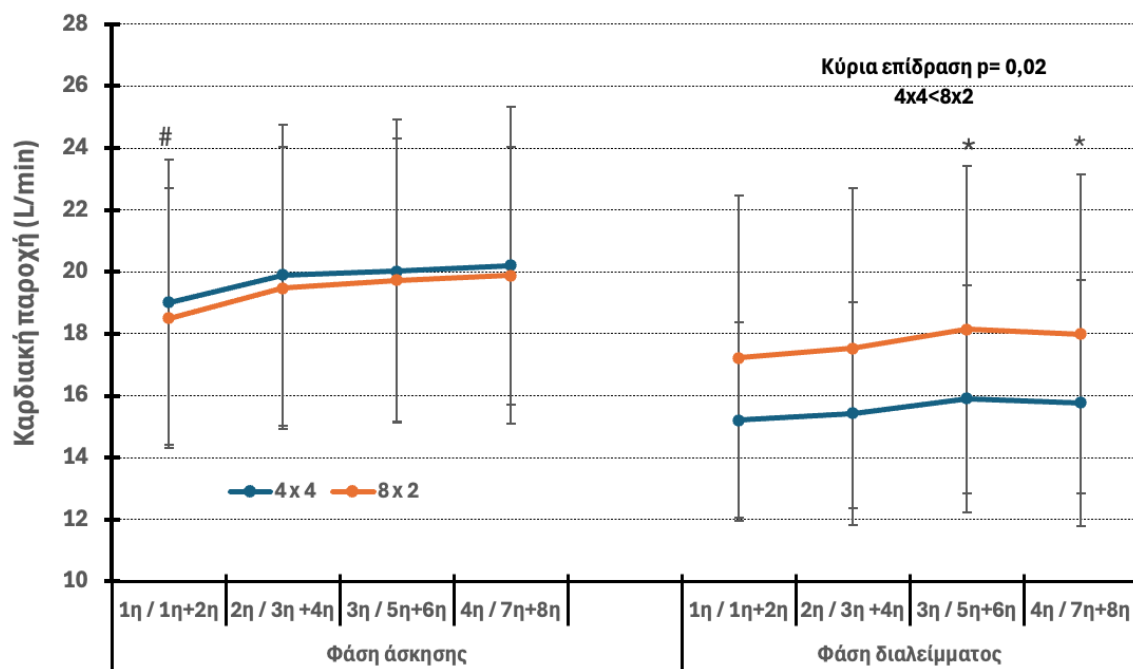
Σχήμα 3. Μέσες τιμές του όγκου παλμού στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (* $p < 0,001$, 1^η επανάληψη χαμηλότερη από 2^η, 3^η και 4^η).

[$F(1,11) = 1,080$; $p = 0,321$], καθώς επίσης και στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 1,261$; $p = 0,304$].

3.4. Μέση τιμή καρδιακής παροχής στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 0,772$; $p = 0,518$] στη μέση τιμή της καρδιακής παροχής στις φάσεις εκτέλεσης των επαναλήψεων (Σχήμα 4). Δεν παρατηρήθηκε επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης κατά την φάση της άσκησης [$F(1,11) = 0,456$; $p = 0,516$]. Σημαντική κύρια επίδραση υπήρξε στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 12,56$; $p < 0,001$] με τις τιμές στην 1^η επανάληψη να είναι χαμηλότερες από την 2^η, την 3^η και την 4^η επανάληψη ($p < 0,001$).

Δεν υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 0,21$; $p = 0,889$] στη μέση τιμή της καρδιακής παροχής κατά τη φάση των διαλειμμάτων μεταξύ των επαναλήψεων (Σχήμα 4). Στη φάση του διαλλείματος παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης [$F(3,33) = 7,27$; $p = 0,021$], με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται στις επαναλήψεις διάρκειας 2 λεπτών έναντι των 4 λεπτών ($17,79 \pm 4,96$

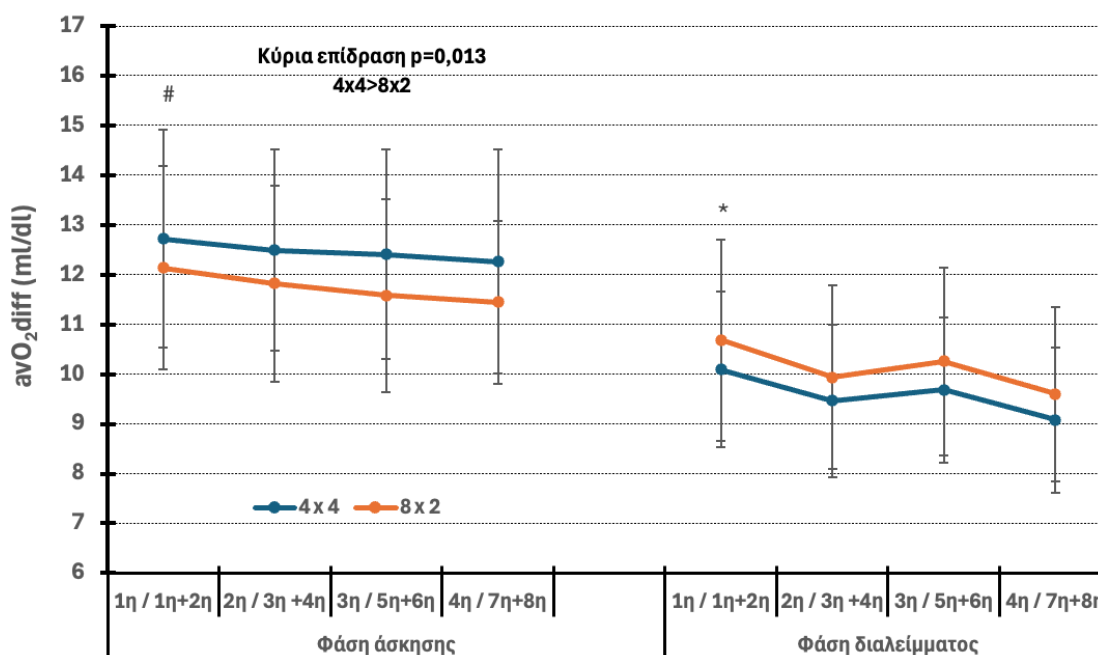


Σχήμα 4. Μέσες τιμές της καρδιακής παροχής στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (# $p < 0,001$, 1^η επανάληψη χαμηλότερη από 2^η, 3^η και 4^η, * $p < 0,001$, 3^η και 4^η επανάληψη υψηλότερες από 1^η και 2^η).

vs $15,58 \pm 3,55$ ml). Επίσης, σημαντική κύρια επίδραση υπήρξε στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 8,77$; $p < 0,001$] με τις τιμές στην 3^η και 4^η επανάληψη να είναι υψηλότερες από την 1^η την 2^η επανάληψη ($p < 0,001$).

3.5. Μέση τιμή αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 0,515$; $p = 0,675$] στη μέση τιμή της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου στις φάσεις εκτέλεσης των επαναλήψεων (Σχήμα 5). Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης στην αρτηριοφλεβική διαφοράς οξυγόνου κατά την φάση άσκησης [$F(1,11) = 8,647$; $p = 0,013$] με μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται στις επαναλήψεις διάρκειας 4 λεπτών έναντι των 2 λεπτών ($12,47 \pm 2,10$ vs $11,74 \pm 1,87$ ml). Σημαντική κύρια επίδραση υπήρξε στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 5,338$; $p = 0,004$] με τις τιμές στην 1^η επανάληψη να είναι υψηλότερες από την 2^η την 3^η και την 4^η επανάληψη ($p < 0,001$).



Σχήμα 5. Μέσες τιμές της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου στις φάσεις άσκησης και διαλείμματος στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης (# $p < 0,001$ με την 1^η επανάληψη υψηλότερη από 2^η, 3^η και 4^η, * $p < 0,001$ 1^η επανάληψη υψηλότερη από 2^η, 3^η και 4^η).

Δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 0,094$; $p = 0,963$] στη μέση τιμή της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου κατά τις φάσεις των διαλειμμάτων (Σχήμα 5). Επίσης, δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης στην αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου κατά την φάση του διαλείμματος [$F(1,11) = 3,248$; $p = 0,099$]. Σημαντική κύρια επίδραση υπήρξε στον παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(3,33) = 26,457$; $P < 0,001$], με τις τιμές στην 1^η επανάληψη να είναι υψηλότερες από την 2^η την 3^η και την 4^η επανάληψη ($p < 0,001$).

3.6. Μέσες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής συχνότητας, όγκου παλμού, καρδιακής παροχής και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των δύο προγραμμάτων διαλειμματικής άσκησης.

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο προγραμμάτων στις μέσες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου [$t(11) = -1,09$, $p = 0,297$], καρδιακής συχνότητας [$t(11) = -0,91$, $p = 0,380$], όγκου παλμού [$t(11) = -1,18$, $p = 0,264$], καρδιακής παροχής [$t(11) = 1,42$, $p = 0,183$], και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου [$t(11) = 0,39$, $p = 0,704$] σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των δύο προγραμμάτων (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Μέσες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής συχνότητας, όγκου παλμού, καρδιακής παροχής και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης (φάσεις άσκησης και διαλείμματος) των δύο προγραμμάτων διαλειμματικής άσκησης.

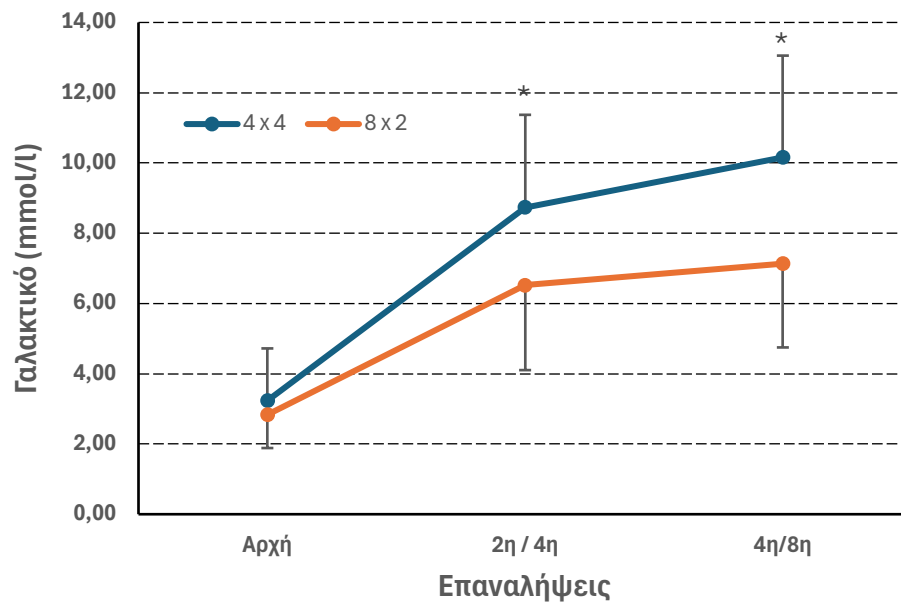
	4 x 4 min	8 x 2 min
Κατανάλωση οξυγόνου (ml/kg/min)	30,81 ± 3,96	31,55 ± 3,48
Καρδιακή συχνότητα (σφυγμοί/min)	161,97 ± 9,63	163,52 ± 10,22
Όγκος παλμού (ml/σφυγμό)	109,97 ± 29,83	114,81 ± 31,83
Καρδιακή παροχή (L/min)	17,68 ± 4,17	18,6 ± 4,63
Αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου (ml/dL)	11,03 ± 1,77	10,93 ± 1,77

3.7. Χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80 και 90% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου

Ο χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη του 80% της μέγιστης ήταν μεγαλύτερος [$t(11)= 2,28$, $p= 0,044$] στο πρόγραμμα 4 x 4 min έναντι του προγράμματος των 8 x 2 min ($773,75 \pm 183,12$ έναντι $659,58 \pm 279,87$ sec). Παρόμοια, ο χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη του 90% της μέγιστης ήταν μεγαλύτερος [$t(11)= 2,34$, $p= 0,034$] στο πρόγραμμα 4 x 4 min έναντι του προγράμματος των 8 x 2 min ($430 \pm 339,83$ έναντι $314,58 \pm 321,39$ sec).

3.8. Συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα

Υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων διάρκεια επανάληψης και αριθμός επανάληψης [$F(2,22)= 10,8$; $p< 0,001$] στη μέση τιμή της συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα (Σχήμα 6). Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα διάρκεια επανάληψης στην συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα κατά την φάση άσκησης [$F(1,11)= 44,8$; $p< 0,001$] καθώς και σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα αριθμός επανάληψης [$F(2,22)= 58,7$; $p< 0,001$]. Η συγκέντρωση του γαλακτικού ήταν υψηλότερη με διάρκεια επαναλήψεων 4 λεπτών έναντι των 2 λεπτών στο μέσο και στο τέλος των προγραμμάτων άσκησης.



Σχήμα 6. Μέσες τιμές συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα στη φάση άσκησης στις δύο πειραματικές συνθήκες στις διαφορετικές χρονικές στιγμές μέτρησης, (* $p < 0,001$, 4 x 4 από 8 x 2)

3.9. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης

Η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης ήταν υψηλότερη [$t(11) = 8,86$, $p = 0,001$] στο πρόγραμμα 4 x 4 min έναντι του προγράμματος των 8 x 2 min ($15,92 \pm 1,73$ έναντι $14,25 \pm 1,66$).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετήσει τις επιδράσεις της διάρκειας των επαναλήψεων κατά την εκτέλεση αερόβιας διαλειμματικής άσκησης, ίσου συνολικού χρόνου άσκησης και αναλογίας διάρκειας άσκησης προς διάρκεια διαλείμματος, στους κεντρικούς (καρδιακή παροχή, καρδιακή συχνότητα και όγκος παλμού) και περιφερικούς (αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου) παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου, στο χρόνο άσκησης με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου και στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα. Τα κύρια ευρήματα είναι ότι οι επαναλήψεις διάρκειας 4 λεπτών οδήγησαν σε σημαντικά υψηλότερες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2), καρδιακής συχνότητας, αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου ($\text{a-vO}_2\text{diff}$) και συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα, κατά την διάρκεια της φάσης άσκησης σε σύγκριση με τις επαναλήψεις των 2 λεπτών. Αντίθετα, κατά τη φάση του διαλείμματος οι τιμές κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2), καρδιακής συχνότητας (HR), αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου ($\text{a-vO}_2\text{ diff}$) ήταν υψηλότερες στις επαναλήψεις των 2 λεπτών από ότι στις 4 λεπτών. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο προγραμμάτων διαλειμματικής άσκησης στις συνολικές τιμές κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2), καρδιακής παροχής (CO), όγκου παλμού (SV), καρδιακής συχνότητας (HR) και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου ($\text{a-vO}_2\text{ diff}$). Ένα άλλο εύρημα της παρούσας εργασίας ήταν ότι ο χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80% και 90% της $\text{VO}_{2\text{max}}$ ήταν μεγαλύτερος στο πρόγραμμα των 4 λεπτών έναντι των 2 λεπτών. Επιπλέον, ο αριθμός επανάληψης επηρέασε σημαντικά τις περισσότερες φυσιολογικές παραμέτρους, με αυξημένες αποκρίσεις στις μεταγενέστερες επαναλήψεις ($2^{\text{η}}$ – $4^{\text{η}}$) σε σύγκριση με την $1^{\text{η}}$. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι τόσο η διάρκεια όσο και ο αριθμός των επαναλήψεων διαμορφώνουν το συνολικό καρδιοαναπνευστικό και μεταβολικό φορτίο του πρωτοκόλλου.

Οι υψηλότερες τιμές που παρατηρήθηκαν στον χρόνο άσκησης πάνω από το 80% και 90% της $\text{VO}_{2\text{max}}$ στις επαναλήψεις διάρκειας 4 λεπτών συμφωνούν με δεδομένα που υποστηρίζουν ότι οι μεγαλύτερης διάρκειας διαλειμματικές προσπάθειες επιτρέπουν μεγαλύτερη χρονική παραμονή σε υψηλά ποσοστά της $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Buchheit & Laursen, 2013; Fleckenstein et al., 2025; Myrkos et al. 2020; Zafeiridis et al., 2010). Οι Wen et al. (2019) ανέδειξαν ότι η ένταση και η διάρκεια των επαναλήψεων αποτελούν κρίσιμους

παράγοντες για τη μεγιστοποίηση του χρόνου παραμονής κοντά στη VO_2max . Οι μεγαλύτερης διάρκειας επαναλήψεις (≥ 2 λεπτά) φαίνεται να επιτρέπουν την επίτευξη και διατήρηση υψηλών ποσοστών της VO_2max , στοιχείο που συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης. Σε δύο πρόσφατες μελέτες (Helgerud et al., 2023; Hov et al., 2023) που έγιναν σε άνδρες και γυναίκες έδειξαν ότι η VO_2max αυξήθηκε σημαντικά περισσότερο μετά από διαλειμματική προπόνηση (4×4 λεπτά σε $\sim 95\%$ μέγιστη αερόβια ταχύτητα με 3 λεπτά ενεργητικά διαλείμματα) σε σύγκριση με δύο προγράμματα διαλειμματικής προπόνησης με σπριντ (8×20 s σε $\sim 150\%$ μέγιστη αερόβια ταχύτητα με 10 s παθητικά διαλείμματα· 10×30 s συνεδρία σε $\sim 175\%$ μέγιστη αερόβια ταχύτητα με 3,5 λεπτά ενεργητικά διαλείμματα). Οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι η αερόβια ένταση (δηλαδή, ο συσσωρευμένος χρόνος που αφιερώνεται $\geq 90\% \text{VO}_2\text{max}$), και όχι η συνολική ένταση (% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας), φαίνεται πρωταρχικής σημασίας για την ενίσχυση της VO_2max . Στο ίδιο συμπέρασμα έφτασαν και δύο μετα-αναλύσεις (Bacon et al. 2013; Milanović et al. 2016), ότι η μεγαλύτερης διάρκειας επαναλήψεις αύξησαν την VO_2max σε μεγαλύτερο βαθμό από τις μικρής διάρκειας επαναλήψεις. Αντίθετα, οι Knuttgen et al. (1973) και Helgerud et al. (2007) ανέφεραν παρόμοιες αυξήσεις στην VO_2max σε προγράμματα HIIT μικρής διάρκειας (15 δευτερόλεπτα) η μεγαλύτερης διάρκειας (3-4 λεπτά).

Στη φάση της αποκατάστασης η VO_2 παρέμεινε υψηλότερη στις 2λεπτες επαναλήψεις. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι το διάλειμμα των 2 λεπτών δεν είναι αρκετό για να μειωθεί περεταίρω η VO_2 , γεγονός που διατηρεί τον μεταβολισμό σε υψηλότερα επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της προπόνησης, αντισταθμίζοντας τη μικρότερη διάρκεια των επαναλήψεων. Επίσης, η VO_2 μειωνόταν περισσότερο κατά τις φάσεις αποκατάστασης στις επαναλήψεις των 4 λεπτών, με αποτέλεσμα ένα μεγάλο εύρος απόκρισης της VO_2 κατά τη διάρκεια της προπονητικής συνεδρίας. Αντιθέτως, στις επαναλήψεις των 2 λεπτών παρατηρήθηκε μόνο μικρή διακύμανση μεταξύ άσκησης και αποκατάστασης. Παρ' όλα αυτά, η συνολική απόκριση του VO_2 και στα δύο πρωτόκολλα δεν διέφερε σημαντικά.

Η μέση τιμή της καρδιακής συχνότητας ήταν υψηλότερη στις επαναλήψεις των 4 λεπτών σε σύγκριση με αυτές των 2 λεπτών κατά την διάρκεια της άσκησης. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι τα μακρύτερης διάρκειας διαστήματα (4 λεπτά) επιβάλλουν μεγαλύτερο καρδιαγγειακό φορτίο, οδηγώντας σε υψηλότερα επίπεδα καρδιακής συχνότητας για

μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το αντίθετό συμβαίνει κατά τη φάση των διαλειμμάτων, όπου η καρδιακή συχνότητα ήταν υψηλότερη στις επαναλήψεις των 2 λεπτών πιθανών λόγω του μικρότερου διαλείμματος.

Παρότι δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά στην καρδιακή παροχή μεταξύ των δύο διαρκειών επαναλήψεων κατά τη φάση της άσκησης, η παράμετρος αυτή επηρεάστηκε από τον αριθμό επανάληψης, με τις χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται στην 1^η επανάληψη και να είναι υψηλότερες στις επόμενες. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η καρδιαγγειακή λειτουργία προσαρμόζεται προοδευτικά στο αυξανόμενο φορτίο της διαλειμματικής άσκησης, αυξάνοντας την παροχή αίματος καθώς προχωρά η προπονητική μονάδα, με αύξηση της καρδιακής συχνότητας μιας και ο όγκος παλμού παρέμενε σταθερός από επανάληψη σε επανάληψη.

Οι Ksoll και συν. (2021), στην έρευνά τους, που είχε ως στόχο να ανιχνεύσει πιθανές διαφορές στην κεντρική και περιφερική αιμοδυναμική σε δύο πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης ίδιου συνολικού χρόνου εργασίας που επιτεύχθηκε με διαφορετικής διάρκειας επαναλήψεις, μικρής (30 x 30 sec) και μεγάλης (3 x 3 min) διάρκειας, βρήκαν υψηλότερες μέγιστες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου και καρδιακής παροχής και συγκεντρώσεις γαλακτικού με τις μεγάλης διάρκειας επαναλήψεις αλλά παρόμοιες μέσες τιμές κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής παροχής και τοπική παροχής οξυγόνου. Στην ίδια έρευνα κατά τη φάση της άσκησης οι τιμές της κατανάλωσης οξυγόνου, καρδιακής συχνότητας και καρδιακής παροχής ήταν υψηλότερες στις επαναλήψεις των 3 λεπτών σε σύγκριση με των 30 δευτερολέπτων, ενώ στην φάση του διαλείμματος οι τιμές ήταν υψηλότερες στις επαναλήψεις των 30 δευτερολέπτων από τις τιμές των 3 λεπτών, κάτι που συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας.

Η σημαντικά υψηλότερη $a-vO_2$ diff κατά τη φάση της άσκησης στις επαναλήψεις των 4 λεπτών σε σχέση με τις 2λεπτες επαναλήψεις υποδηλώνει ενισχυμένη περιφερική διάχυση του οξυγόνου στους μυς, πράγμα που δείχνει μεγαλύτερη συμμετοχή των περιφερικών παραγόντων στον αερόβιο μεταβολισμό.

Η σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ διάρκειας επανάληψης και αριθμού επανάληψης στη συγκέντρωση γαλακτικού καταδεικνύει ότι οι παρατεταμένες επαναλήψεις (4 λεπτά) προκαλούν μεγαλύτερη αναερόβια επιβάρυνση σε σχέση με τις συντομότερες, ιδίως στις τελευταίες επαναλήψεις του πρωτοκόλλου. Το εύρημα αυτό συνάδει με μελέτες που έχουν δείξει ότι η αύξηση της διάρκειας του διαστήματος, σε

δεδομένη ένταση, οδηγεί σε μεγαλύτερη ενεργοποίηση της γλυκολυτικής οδού και συσσώρευση γαλακτικού (Buchheit & Laursen, 2013). Στο ίδιο συμπέρασμα έφτασαν και δύο πρόσφατες μελέτες (Bogdanis et al., 2022; Astorino et al., 2023) που έδειξαν ότι όταν το συνολικό έργο είναι εξισωμένο, οι μεγαλύτερης διάρκειας περίοδοι άσκησης (≥ 60 s) προκαλούν υψηλότερες συγκεντρώσεις γαλακτικού στο αίμα σε σύγκριση με τις μικρότερης διάρκειας (< 60 s) γεγονός που υποδηλώνει μεγαλύτερη εξάρτηση από τη γλυκόλυση και υψηλότερες μεταβολικές διαταραχές.

Η υποκειμενική αντίληψη στην κόπωση ήταν υψηλότερη στις επαναλήψεις των 4 λεπτών κάτι που πιθανόν να συνδέεται με το μεγαλύτερο μεταβολικό στρες σε σύγκριση με τις επαναλήψεις των 2 λεπτών. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα και με αυτά άλλων μελετών (Naves et al., 2019; Scoubeau et al., 2025), οι οποίοι βρήκαν υψηλότερες τιμές στην υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης σε πρωτόκολλα διαλειμματικής άσκησης με τις Επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας. Τα ίδια αποτελέσματα παρατήρησαν και οι Bogdanis et al. (2022) και Astorino et al. (2023) όταν τα πρωτόκολλα ήταν εξισωμένα ως προς το έργο. Οι μεγαλύτερες καρδιοαναπνευστικές και μεταβολικές διαταραχές που συνόδευαν τις επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας προκάλεσαν υψηλότερες τιμές αντιλαμβανόμενης κόπωσης και πιο αρνητικές συναισθηματικές αποκρίσεις μετά την άσκηση.

Αν και φαίνεται στην παρούσα μελέτη ότι το πρωτόκολλο των 4 λεπτών πιθανών να επιφέρει μεγαλύτερες προσαρμογές σε σχέση με αυτό των 2 λεπτών θα είχε ενδιαφέρον να εξεταστεί σε μία νέα έρευνα τι προσαρμογές θα υπάρξουν σε βάθος χρόνου, 6 με 8 εβδομάδες προπόνησης με αυτά τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι η διαλειμματική προπόνηση με μεγάλης διάρκειας διαστήματα αυξάνει τον χρόνο παραμονής σε υψηλά επίπεδα πρόσληψης οξυγόνου (δηλαδή σε υψηλότερους αερόβιους ρυθμούς) και καρδιακής παροχής σε σύγκριση με διαλειμματική προπόνηση μικρής διάρκειας, όταν το συνολικό έργο παραμένει ίδιο. Αυτό υποδηλώνει ότι η προπόνηση με μεγάλα διαστήματα επιβαρύνει πιο έντονα το κεντρικό καρδιαγγειακό σύστημα. Οι διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων εντοπίστηκαν τόσο στις φάσεις άσκησης όσο και στα διαλείμματος όσον αφορά τις κεντρικές αιμοδυναμικές παραμέτρους και την πρόσληψη οξυγόνου, με το πρωτόκολλο των μεγαλύτερων διαστημάτων να προκαλεί ισχυρότερες καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις.

Από την παρούσα έρευνα προκύπτει ότι οι μεγαλύτερης διάρκειας επαναλήψεις (4 min), στη συγκεκριμένη ένταση (90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας), ενεργοποιούν σε μεγαλύτερο βαθμό τόσο ο αερόβιος μεταβολισμός, με μεγαλύτερη συνεισφορά των περιφερικών παραγόντων, όσο και τον αναερόβιο μεταβολισμό. Τα 4λεπτα διαστήματα φαίνεται να παρέχουν ισχυρότερο οξειδωτικό και καρδιαγγειακό ερέθισμα, γεγονός που ενδέχεται να οδηγεί σε ανώτερες προσαρμογές όταν εφαρμόζονται συστηματικά στο πλαίσιο προπονητικού σχεδιασμού.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., et al. (2017). High-intensity interval training increases cardiac output and VO₂max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(2), 265–273.
2. Astorino, T. A., Schubert, M. M., Palumbo, E., Stirling, D., McMillan, D. W., Cooper, C., & Ormsbee, M. J. (2017). Magnitude and time course of changes in maximal oxygen uptake in response to distinct aerobic training regimes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1949–1957. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>
3. Astorino, T. A., White, A. C., & Dalleck, L. C. (2022). Aerobic high-intensity interval training improves VO₂max and cardiac output. *European Journal of Applied Physiology*, 122(3), 671–683. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04864-0>
4. Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., & Joyner, M. J. (2013). VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: A meta-analysis. *PLoS ONE*, 8(9), e73182.
5. Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
6. Bostad, W. L., Johannessen, E. J., Hauge, A., & Seiler, S. (2021). Physiological adaptations to high-intensity interval training: Central versus peripheral contributions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(4), 725–736. <https://doi.org/10.1111/sms.13897>
7. Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
8. Charloux, A., Lonsdorfer-Wolf, E., Richard, R., Lampert, E., Oswald-Mammosser, M., Mettauer, B., Geny, B., & Lonsdorfer, J. (2000). A new impedance cardiograph device for the non-invasive evaluation of cardiac output at rest and during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 313–320.
9. Coe, L. N., & Astorino, T. A. (2024). Sex differences in hemodynamic response to high-intensity interval exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(1), e14495.
10. Daussin, F. N., Ponsot, E., Dufour, S. P., et al. (2007). Improvement of VO₂max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 377–383.

11. Daussin, F. N., Zoll, J., Dufour, S. P., et al. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions. *American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), R264–R272.
12. Demarie, S., Koralsztein, J. P., & Billat, V. L. (2000). Time limit at VO₂max during intermittent running exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 81(5), 409–414.
13. Dupont, G., Blondel, N., & Berthoin, S. (2004). Performance for short intermittent runs: Active recovery vs. passive recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 144–149.
14. Dupuis, M., Noël-Savina, E., Prévot, G., et al. (2018). Determination of cardiac output in pulmonary hypertension using impedance cardiography. *Respiration*, 96, 500–506.
15. Fleckenstein D, Braunstein H, Walter N. Faster intervals, faster recoveries - intensified short VO₂max running intervals are inferior to traditional long intervals in terms of time spent above 90% VO₂max. *Front Sports Act Living*. 2025 Jan 6;6:1507957. doi: 10.3389/fspor.2024.1507957.
16. Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., et al. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665–671.
17. Helgerud, J., Hov, H., Mehus, H., et al. (2023). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than supramaximal sprint intervals in females. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33, 2193–2207.
18. Hood, M. S., Little, J. P., Tarnopolsky, M. A., Myslik, F., & Gibala, M. J. (2011). Low-volume interval training improves muscle oxidative capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1849–1856.
19. Hov, H., Wang, E., Lim, Y. R., et al. (2023). Aerobic high-intensity intervals are superior to sprint intervals in well-trained men. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33, 146–159.
20. Inglis, E. C., Rasica, L., Iannetta, D., et al. (2025). Changes in VO₂max after intensity domain-specific training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 57(8), 1669–1680.
21. Ksoll, K.S.H.; Mühlberger, A.; Stöcker, F. Central and Peripheral Oxygen Distribution in Two Different Modes of Interval Training. *Metabolites* 2021, 11, 790.
22. Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73.
23. Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2006). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. *Sports Medicine*, 36(7), 619–644.

24. Milanovic, Z., Sporis, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training and continuous training for VO₂max improvements. *Sports Medicine*, 45, 1469–1481.
25. Montero, D., & Lundby, C. (2017). Regulation of red blood cell volume with exercise training. *Comprehensive Physiology*, 8(1), 149–164.
26. Mortensen SP, Dawson EA, Yoshiga CC, et al. Limitations to systemic and locomotor limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. *J Physiol*. 2005;566(1):273–85.
27. Murias, J. M., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2010). Speeding of VO₂ kinetics with endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 108(2), 398–406.
28. Myrkos, A., Smilios, I., Zafeiridis, A., Iliopoulos, S., Kokkinou, E.M., Douda, H., Tokmakidis, S.P. Effects of Work and Recovery Duration and Their Ratio on Cardiorespiratory and Metabolic Responses During Aerobic Interval Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 36(8):p 2169-2175, 2022.
29. Naves, J. P. A., Rebelo, A. C. S., Silva, L. R. B. E., et al. (2019). Cardiorespiratory responses of interval vs continuous training. *European Journal of Sport Science*, 19(5), 653–660.
30. O'Brien, B.J., Wibskov, J., Knez, W.L., Paton, C.D. & Harvey, J.T. (2008). The effects of interval–exercise duration and intensity on oxygen consumption during treadmill running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(3), 287–290.
31. Raleigh, J. P., Giles, M. D., Islam, H., et al. (2018). Contribution of central and peripheral adaptations to changes in VO₂max. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(10), 1059–1068.
32. Richard, R., Lonsdorfer-Wolf, E., Charloux, A., et al. (2001). Non-invasive cardiac output evaluation during maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 85, 202–207.
33. Rosenblat, M.A., Granata, C. & Thomas, S.G. Effect of Interval Training on the Factors Influencing Maximal Oxygen Consumption: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 52, 1329–1352 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01624-5>
34. Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Ellefsen, S. (2014). Block periodization of high-intensity aerobic intervals. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 34–42.
35. Scoubeau, C., Carpentier, J., Baudry, S., Faoro, V., & Klass, M. (2025). Comparison of adaptations induced by different high intensity protocols. *Physiological Reports*, 13(7), e70306.

36. Skattebo, Ø., Calbet, J. A. L., Rud, B., Capelli, C., & Hallén, J. (2020). Contribution of oxygen extraction fraction to VO_2max . *Acta Physiologica*, 230(2), e13486.
37. Wagner, P. D. (2010). The physiological basis of reduced VO_2max in ageing. *Journal of Physiology*, 588(23), 4477–4488.
38. Wakefield, B. R., & Glaister, M. (2009). Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of VO_2max during intermittent supramaximal exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 23(9), 2548–2554.
39. Wen, D., Utesch, T., Wu, J., et al. (2019). Effects of different HIIT protocols for VO_2max improvements: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22, 941–947.