



**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
“ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ & ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ”**

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η επίδραση της διάρκειας του διαλείμματος στους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διαλειμματική άσκηση**

**Σταύρος Σικοβάρης [Α.Ε.Μ. 13088]**

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, Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Φ.Α.Α. – Δ.Π.Θ.

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

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

Κομοτηνή, 2023



**DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE**

**SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE**

**DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS SCIENCE**

**POSTGRADUATE PROGRAM**

**"EXERCISE PHYSIOLOGY & SPORTS TRAINING SCIENCE"**

## **MASTER DISSERTATION**

**Effects of recovery duration at central and peripheral factors that determine oxygen consumption during aerobic interval training**

**Stavros Sikovaris [R.N. 13088]**

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, Associate Professor D.P.E.S.S. - DUTH

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

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

Komotini, 2023

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που με στήριξε ηθικά και οικονομικά σε όλες μου τις αποφάσεις όλα αυτά τα χρόνια, λέγοντας μου συνεχώς να κυνηγάω ότι με κάνει ευτυχισμένο. Μου δίδαξαν σημαντικές αρετές και αξίες οι οποίες θα με ακολουθούν στην υπόλοιπη ζωή μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα, τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ηλία Σμήλιο, Αναπληρωτή Καθηγητή ΣΕΦΑΑ ΔΠΘ, που μέσα από τις διαλέξεις του με έκανε να αγαπήσω τη φυσιολογία της άσκησης και να κατανοήσω πως στον αθλητισμό χρειάζεται τόσο η θεωρία όσο και η πράξη. Οφείλω να πω ένα ακόμα ευχαριστώ, επειδή μου έμαθε πως μια έρευνα δεν χρειάζεται να είναι περίπλοκη για να είναι καλή, αλλά να έχει ουσία και καλή δομή.

Επιπλέον, θα ήθελα να δώσω ευχαριστίες στον συνεργάτη μου και υποψήφιο διδάκτορα Περικλή Κάβουρα, ο οποίος με βοήθησε κατά τη διαδικασία εκτέλεσης των μετρήσεων της παρούσας μελέτης.

Τέλος, τους φίλους μου, που ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της χρονιάς και με υποστήριζαν με τον δικό τους τρόπο.

*Σας ευχαριστώ όλους.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Σταύρος Σικοβάρης:** Η επίδραση της διάρκειας του διαλείμματος στους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διαλειμματική άσκηση

(Με την επίβλεψη του Ηλία Σμήλιου, Αναπληρωτή Καθηγητή)

Κατά το σχεδιασμό μιας αερόβιας διαλειμματικής προπόνησης υψηλής έντασης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, μεταξύ άλλων παραγόντων, η διάρκεια του διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων. Η μεταβολή στο χρόνο αποκατάστασης μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην κατανάλωση οξυγόνου και στους παράγοντες που την καθορίζουν, την καρδιακή παροχή και την αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ( $a-vO_2diff$ ). Σκοπός της έρευνας ήταν να μελετήσει τις επιδράσεις της διάρκειας του διαλείμματος κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης στους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου. Εννέα δρομείς αναψυχής (ηλικίας  $21,56 \pm 2,13$  ετών,  $VO_2max$   $53,79 \pm 4,42$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) εκτέλεσαν διαλειμματική άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο, που αποτελούταν από 4 επαναλήψεις των 4 λεπτών με ταχύτητα στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (MAT), με ενεργητική αποκατάσταση 2, 3 ή 4 λεπτά στο 35% της MAT. Κατά τη διάρκεια της άσκησης μετρήθηκαν η κατανάλωση οξυγόνου, η καρδιακή συχνότητα και ο όγκος παλμού και υπολογίστηκαν η καρδιακή παροχή και η  $a-vO_2diff$  βάση της εξίσωσης του Fick. Επιπλέον, μετρήθηκαν η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης. Η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα ήταν παρόμοια ( $p > 0,05$ ) μεταξύ των συνθηκών ενώ η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης ήταν υψηλότερη ( $p < 0,05$ ) με το διάλειμμα των 2 συγκριτικά με των 4 λεπτών. Ο χρόνος άσκησης με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80% του μέγιστου ήταν μικρότερος ( $p < 0,05$ ) με χρόνο διαλείμματος 2 και 3 λεπτά διάλειμμα συγκριτικά με 4 λεπτά, ενώ ο χρόνος άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 80 και 90% της μέγιστης ήταν μεγαλύτερος με το διάλειμμα των 2 λεπτών έναντι των 3 και των 4 λεπτών ( $p < 0,05$ ) και των 3 λεπτών έναντι των 4 λεπτών ( $p = 0,06$ ). Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές ( $p > 0,05$ ) στο χρόνο άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου,  $a-vO_2diff$  και καρδιακή παροχή υψηλότερες από το 80, 90 και 95% του μέγιστου μεταξύ των διαφορετικών χρόνων διαλείμματος. Συμπερασματικά, η μείωση του χρόνου του διαλείμματος δεν επηρεάζει τους παράγοντες που καθορίζουν την

κατανάλωση οξυγόνου. Ωστόσο, παρατηρούνται διαφορετικοί μηχανισμοί διατήρησης υψηλής καρδιακής παροχής, με τον όγκο παλμού και την καρδιακή συχνότητα να συμπεριφέρονται αντιστρόφως ανάλογα όταν η διάρκεια του διαλείμματος μεταβάλλεται.

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

## ABSTRACT

**Stavros Sikovaris:** Effects of recovery duration at central and peripheral factors that determine oxygen consumption during aerobic interval training

(Under the supervision of Ilias Smilios, Associate Professor)

When designing a high-intensity aerobic interval training program, consideration should be given, among other factors, to the recovery duration between repetitions. Alteration in recovery duration may cause changes in oxygen consumption and its determinants, cardiac output and arteriovenous oxygen difference (a-vO<sub>2</sub>diff). The purpose of this study was to examine the effects of recovery duration between repetitions during the execution of an interval exercise session on the central and peripheral factors that determine oxygen consumption. Nine recreational runners (age  $21.56 \pm 2.13$  years, VO<sub>2</sub>max  $53.79 \pm 4.42$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) performed interval exercise on a treadmill, consisting of 4 repetitions of 4 min duration at a speed 90 % of maximum aerobic velocity (MAV), with 2, 3 or 4 min of active recovery at 35% of MAV. During exercise, oxygen consumption, heart rate and stroke volume were measured, and cardiac output and a-vO<sub>2</sub>diff were calculated based on Fick's equation. In addition, blood lactate concentrations and subjective perception of fatigue were measured. Blood lactate concentrations were similar ( $p > 0.05$ ) between sessions while the subjective perception of fatigue was higher ( $p < 0.05$ ) with the 2 compared to the 4 min of recovery duration. Exercise time with stroke volume higher than 80% of maximum was less with a recovery duration of 2 and 3 min ( $p < 0.05$ ) compared to 4 min, while exercise time with heart rate higher than 80 and 90% of maximum was greater ( $p < 0.05$ ) with 2 min recovery duration compared to 3 and 4 min, and for 3 min compared to 4 min recovery duration ( $p = 0.06$ ). No differences ( $p > 0.05$ ) were observed between the different recovery durations in exercise time with oxygen consumption, a-vO<sub>2</sub>diff and cardiac output higher than 80, 90 and 95% of maximum. In conclusion, the reduction of the recovery duration doesn't affect the determinants of oxygen consumption. However, different mechanisms are involved to maintain high cardiac output, with stroke volume and heart rate behaving inversely when the duration of the interval is altered.

**Key words:** interval training, oxygen consumption, cardiac output, arteriovenous oxygen difference

## Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	10
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	11
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	12
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	13
1.1. Σκοπός .....	19
1.2. Ερευνητικές υποθέσεις .....	19
1.3. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί.....	19
1.4. Ορισμοί και Συντομογραφίες.....	20
<b>2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	21
2.1. Δείγμα .....	21
2.2. Πειραματικός σχεδιασμός.....	21
2.4. Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης.....	23
2.4.1. Σωματομετρικές μετρήσεις.....	23
2.4.2. Αρτηριακή πίεση .....	24
2.4.3. Αναπνευστικές παράμετροι .....	24
2.4.4. Αιμοδυναμικοί παράγοντες .....	25
2.4.5. Συγκέντρωση γαλακτικού αίματος.....	28
2.4.6. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.....	29
2.5. Στατιστική ανάλυση .....	30
<b>3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	32
3.1. Συνολικός χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης .....	32
3.2. Συνολικός χρόνος άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης .....	33
3.5. Συνολικός χρόνος άσκησης με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80, 90 και 95% του μέγιστου .....	34
3.6. Συνολικός χρόνος άσκησης με καρδιακή παροχή υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης .....	35



3.7. Συνολικός χρόνος άσκησης με αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης .....	36
3.8. Συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα .....	37
3.9. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.....	38
<b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>39</b>
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>43</b>
<b>6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>44</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1.** Μέγιστες τιμές των καρδιοαναπνευστικών παραμέτρων που επιτεύχθηκαν κατά τη μέγιστη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης..... 19
- Πίνακας 2.** Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης ( $\bar{x} \pm SD$ ) στην εικοσαβάθμια κλίμακα του Borg στο τέλος της 2<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> επανάληψης και με τη δεκαβάθμια κλίμακα είκοσι λεπτά μετά το τέλος της διαλειμματικής άσκησης με την εκτέλεση 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων. .... 31

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

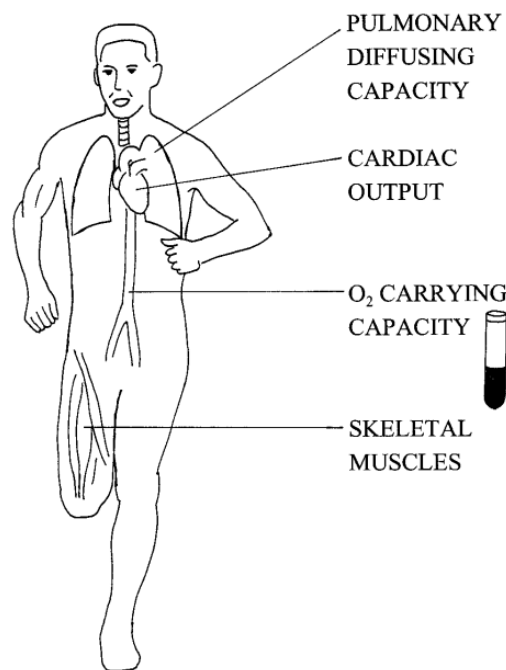
- Σχήμα 1.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη του 80, 90 και 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων. .... 30
- Σχήμα 2.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 80%, το 90% και το 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων (\*  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:3, #  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:4, †  $p = 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:3, ‡  $p = 0,06$  μεταξύ του 4:2 και 4:4)..... 32
- Σχήμα 3.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80%, το 90% και το 95% του μέγιστου κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων (\*  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:4, #  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:3 και 4:4)..... 33
- Σχήμα 4.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με καρδιακή παροχή υψηλότερη από το 80%, το 90% και το 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων..... 34
- Σχήμα 5.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου υψηλότερη από το 80%, το 90% και το 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων. .... 35
- Σχήμα 6.** Συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα ( $\bar{x} \pm SD$ ) πριν την έναρξη της 1<sup>ης</sup> επανάληψης, στο τέλος της 2<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> επανάληψης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων. .... 36

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1.** Φυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ( $VO_2max$ ) στον άνθρωπο κατά την άσκηση. Σχήμα από Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84. .... 12
- Εικόνα 2.** Σχηματική αναπαράσταση των εννέα μεταβλητών (γκρι πλαίσια) που καθορίζουν τη διαλειμματική προπόνηση. Σχήμα από Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). *High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis*. *Sports medicine*, 43(5), 313–338. .... 13
- Εικόνα 3.** Καταγραφή της κατανάλωσης οξυγόνου ( $VO_2$ ), του αποβαλλόμενου διοξειδίου του άνθρακα ( $VCO_2$ ) και του πνευμονικού αερισμού ( $V_E$ ) σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης 4 επαναλήψεων των 4 λεπτών με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων. Στην αρχή της δοκιμασίας απεικονίζεται η προθέρμανση, με ακόλουθες τις 4 επαναλήψεις διαλειμματικού τρεξίματος και παθητικής αποκατάστασης στο τέλος τους. .... 23
- Εικόνα 4.** Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την καταγραφή αιμοδυναμικών παραμέτρων κατά την άσκηση σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (PhysioFlow) ..... 24
- Εικόνα 5.** Τοποθέτηση του εργοσπιρόμετρου και του μη επεμβατικού συστήματος αιμοδυναμικής καταγραφής (PhysioFlow), με τα καλώδια του δεύτερου να σταθεροποιούνται με την χρήση εφαρμοστής αθλητικής μπλούζας σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης. .... 25
- Εικόνα 6.** Μεταβλητές που μετρήθηκαν σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης 4 επαναλήψεων με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων. Στην αρχή της δοκιμασίας απεικονίζεται η προθέρμανση, με ακόλουθες τις 4 επαναλήψεις διαλειμματικού τρεξίματος και παθητικής αποκατάστασης στο τέλος της άσκησης. .... 26
- Εικόνα 7.** Μέτρηση συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα αμέσως μετά την ολοκλήρωση της 2<sup>ης</sup> επανάληψης σε διαλειμματική άσκηση 4 επαναλήψεων με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων. .... 27

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ) δηλώνει τη μέγιστη ποσότητα οξυγόνου που μπορούν να αξιοποιήσουν οι ιστοί του σώματος για την παραγωγή ενέργειας και είναι η συχνότερα αξιολογούμενη παράμετρος της ικανότητας της αντοχής. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός πως η  $VO_{2max}$  σχετίζεται ισχυρά με την αερόβια απόδοση σε μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις (Billat et al., 2000; Brandon, 1995) και εν μέρει στο ότι αντιπροσωπεύει την ικανότητα της καρδιάς για υψηλή καρδιακή παροχή, τη συνολική ποσότητα αιμοσφαιρίνης στο σώμα, την αυξημένη αιματική ροή στους μυς και την ικανότητα τους να αποσπάσουν και να χρησιμοποιήσουν το οξυγόνο, καθώς και την ικανότητα των πνευμόνων να οξυγονώσουν το αίμα κατά την έντονη άσκηση (Εικόνα 1) (Powers et al., 1989; Bassett & Howley, 2000; Dempsey, 1986; Kanstrup & Ekblom, 1984; Mitchell et al., 1958; Saltin & Strange, 1992).



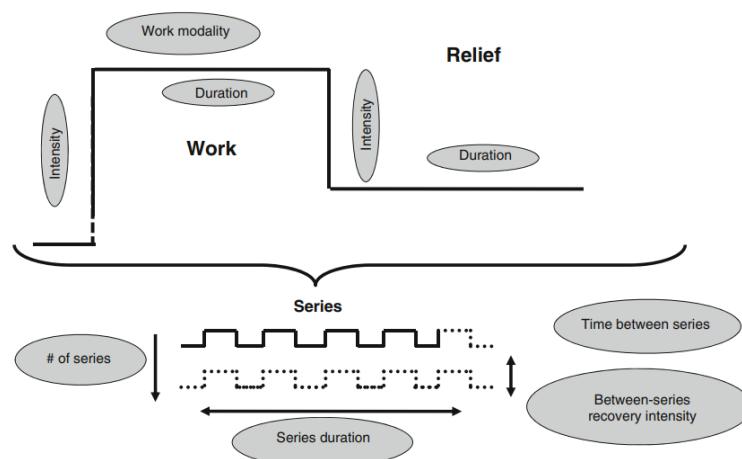
**Εικόνα 1.** Φυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ) στον άνθρωπο κατά την άσκηση. Σχήμα από Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84.

Για τον λόγο αυτό, η  $VO_2\max$  θεωρείται το πιο σημαντικό κριτήριο της βιολογικής αξίας πολλαπλών βιολογικών διεργασιών και εκφράζει τα ανώτατα όρια της προσαρμογής τους στην έντονη σωματική προσπάθεια (Κλεισούρας, 2004). Έτσι, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, προκειμένου να βελτιωθεί η αερόβια αντοχή ενός αθλητή, θα πρέπει να συμβούν προσαρμογές στο καρδιοαναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα, στη μεταβολική λειτουργία των ιστών του αθλητή (Joyner et al., 2008), τα οποία θα τον οδηγήσουν τελικά σε αυξημένη αερόβια σωματική απόδοση.

Η διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης αποτελεί μια χρονικά αποδοτική μέθοδο προπόνησης για τη βελτίωση των παραμέτρων που σχετίζονται με την αντοχή και την αναερόβια απόδοση (Engel et al., 2018). Η διαλειμματική προπόνηση χαρακτηρίζεται από επαναλαμβανόμενες μικρής έως μεγάλης διάρκειας (30 sec έως και 8 min) προσπάθειες υψηλής έντασης (90 - 100% της  $VO_2\max$ ) με παρεμβαλλόμενα διαλείμματα ανάληψης (Billat, 2001α, Buchheit et al., 2013). Αποτελεί μια από τις αποδοτικότερες μεθόδους προπόνησης για τη βελτίωση της καρδιοαναπνευστικής και μεταβολικής λειτουργίας (Buchheit et al., 2013) και κατ' επέκταση της σωματικής απόδοσης αθλητών (Billat, 2001α; Billat, 2001β; Laursen et al., 2002). Συμπεριλαμβάνει μια γκάμα διαλειμματικών πρωτοκόλλων που μπορούν να ποικίλουν σε εννέα διαφορετικές παραμέτρους (Εικόνα 2). Οι παράμετροι αυτοί είναι ο τύπος της αερόβιας άσκησης (π.χ. τρέξιμο ή ποδηλασία), η ένταση και η διάρκεια των επαναλήψεων υψηλής έντασης, η ένταση και η διάρκεια του διαλείμματος, ο αριθμός των σειρών, καθώς και η συνολική διάρκεια τους και η διάρκεια και ένταση του διαλείμματος μεταξύ των σειρών που θα εκτελεστούν στην προπονητική μονάδα.

Ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια των επαναλήψεων και 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, οδηγώντας με το τρόπο αυτό σε βελτίωση της  $VO_2\max$  σε ενήλικες (Laursen et al., 2002).

Η  $VO_2\max$  με την σειρά της καθορίζεται από κάποιους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες. Στους κεντρικούς παράγοντες μπορεί να συγκαταλεχθεί η ικανότητα διάχυσης των αερίων στους πνεύμονες, η αναπνευστική λειτουργία, η μέγιστη καρδιακή παροχή και η ικανότητα του αίματος να μεταφέρει το οξυγόνο (Bassett & Howley, 2000). Οι περιφερικοί δείκτες αποτελούνται κυρίως από παράγοντες που καθορίζουν την



**Εικόνα 2.** Σχηματική αναπαράσταση των εννέα μεταβλητών (γκρι πλαίσια) που καθορίζουν τη διαλειμματική προπόνηση. Σχήμα από Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). *High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis*. *Sports medicine*, 43(5), 313–338.

ικανότητα του εργαζόμενου μυ να καταναλώσει το οξυγόνο που προέχεται από το δίκτυο των τριχοειδών αγγείων και από την επακόλουθη χρήση του για παραγωγή ενέργειας μέσα στα μιτοχόνδρια (Bassett & Howley, 2000). Οι παραπάνω μεταβλητές μπορούν να απλουστευτούν μέσω της εξίσωσης του Fick, η οποία ορίζει πως η συνολική κατανάλωση οξυγόνου αποτελεί το γινόμενο μεταξύ της καρδιακής παροχής (CO) και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου ( $a-vO_2\text{diff}$ ). Η καρδιακή παροχή με την σειρά της αποτελεί το γινόμενο της καρδιακής συχνότητας (HR) και του όγκου παλμού (SV). Έτσι, μέσω της εξίσωσης αυτής μπορούν να υπολογιστούν οι επιμέρους παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου.

Ένας παράγοντας που έχει λάβει αρκετή προσοχή κατά την διαλειμματική άσκηση είναι ο συνολικός χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2\text{max}$ . Έχει προταθεί πως η αποτελεσματικότητα της αερόβιας προπόνησης συνδέεται άμεσα με τον χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2\text{max}$  (>90% της  $VO_2\text{max}$ ) και της συνολικής ποσότητας οξυγόνου που καταναλώνεται κατά την άσκηση (Laursen & Jenkins 2002; Midgley, , McNaughton, 2006; Wenger & Bell 1986; Buchheit & Laursen 2013, Midgley et al., 2006). Πιθανολογείται πως με αυτό τον τρόπο επιβαρύνεται μέγιστα το σύστημα μεταφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου και αυτό ίσως οδηγεί σε αποτελεσματικότερο ερέθισμα για την αύξηση της  $VO_2\text{max}$  (Laursen et al., 2002; Midgley et al., 2006; Midgley et al., 2006). Προκειμένου να

επιτευχθεί περισσότερος χρόνος σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$ , η καταλληλότερη ένταση άσκησης φαίνεται να είναι στο 90 - 100% της MAT (Billat et al., 2000; O'Brien et al., 2008) και η διάρκεια των επαναλήψεων να είναι μεγάλης διάρκειας (3-5 λεπτά) (Bacon et al., 2013; Zafeiridis et al., 2010).

Λόγω της σημαντικότητας που φαίνεται να έχει στην αποδοτικότητα της διαλειμματικής άσκησης οι διάφορες παράμετροι που καθορίζουν την επιβάρυνση, πολλοί ερευνητές έχουν εξετάσει τις επιδράσεις που έχουν στο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  (Millet et al., 2003; Myrkos et al., 2020; Wakefield & Glaister, 2009; Turnes, de Aguiar, Cruz & Caputo, 2016; O'Brien et al., 2008; Zafeiridis et al., 2010). 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 διαλείμματος αλλά κυρίως σε διαλειμματική άσκηση μικρής και μεσαίας διάρκειας (20s-2min) (Millet et al., 2003; Myrkos et al., 2020).

Σε μια έρευνα, ο Zafeiridis et al. (2010) εξέτασαν, μεταξύ άλλων, την επίδραση δύο συνθηκών διαλειμματικής άσκησης με διαφορετική ένταση και χρόνο επαναλήψεων υψηλής έντασης, στο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  και της  $HRmax$ . Παρατήρησαν πως οι επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας (3min έναντι 30s) και χαμηλότερης έντασης (95% της MAT έναντι 110% της MAT) επιτρέπουν αυξημένο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  (>80, 85, 90, 95% της  $VO_2max$ ) αλλά ταυτόχρονα παρόμοιο χρόνο άσκησης με HR 81-90% της  $HRmax$ . Παρομοίως, οι Wakefield & Glaister (2009) έδειξαν πως κατά τη διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης, η χρήση της MAT επιτρέπει αυξημένο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  σε σύγκριση με υψηλότερες εντάσεις (>100% της MAT). Οι ερευνητές σύγκριναν τρεις διαφορετικές συνθήκες διαλειμματικής άσκησης (με αναλογία έργο : διάλειμμα, 20 s : 20 s, 25 s : 20 s, 30 s : 20 s) σε δύο διαφορετικές ταχύτητες (105% της MAT και 115% της MAT). Αν και βρήκαν μεγαλύτερο χρόνο άσκησης με τιμές >95%  $VO_2max$  στις επαναλήψεις με τον μεγαλύτερο χρόνο (30 s έναντι 20 s και 25 s), δεν βρήκαν διαφορές στην μέση HR κατά τη διάρκεια της άσκησης μεταξύ των συνθηκών. Σε αντίστοιχο συμπέρασμα κατέληξαν και ο O'Brien et al. (2008), όταν παρατήρησαν αυξημένο χρόνο άσκησης με τιμές >90%  $VO_2max$  στις επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας (5 x 2 min έναντι 10 x 1 min) κατά τη διαλειμματική άσκηση, όταν αυτές εκτελέστηκαν με ένταση που αντιστοιχούσε στη MAT.



Μέσα από αυτές τις μελέτες, φαίνεται πως τόσο η ένταση, όσο και η διάρκεια των επαναλήψεων υψηλής έντασης κατά τη διαλειμματική άσκηση, αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$ .

Ένας ακόμα παράγοντας που έχει λάβει αρκετή προσοχή είναι και η αναλογία του χρόνου του έργου-διαλείμματος κατά τη διαλειμματική άσκηση. Στην έρευνα του, ο Millet et al. (2003), εξέτασαν την επίδραση της αναλογίας του χρόνου του έργου-διαλείμματος μεταξύ τριών συνθηκών άσκησης (με αναλογία έργο : διάλειμμα, 30 s : 30 s, 60 s : 30 s,  $\frac{1}{2}T_{lim} : \frac{1}{2}T_{lim}$ ) με ένταση που αντιστοιχούσε στη MAT και συμπέραναν πως η διαλειμματική άσκηση με επαναλήψεις μεγαλύτερης διάρκειας οδήγησε σε αυξημένο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  (>90 και 95% της  $VO_2max$ ), καθώς και σε αυξημένο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $HR_{max}$  (>90 και 95% της  $HR_{max}$ ). Χαρακτηριστικά, σε μεταγενέστερη έρευνα, ο Myrkos et al. (2020) απέδειξαν πως κατά τη διαλειμματική άσκηση όταν οι επαναλήψεις υψηλής έντασης είναι μεγαλύτερης διάρκειας (2min), παρουσιάζεται αυξημένος χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  και της  $HR_{max}$  (>80% της  $VO_2max$  και της  $HR_{max}$ ) ανεξαρτήτως της αναλογίας έργου-διαλείμματος (1:1 ή 2:1) σε σύγκριση με τις επαναλήψεις μικρότερης διάρκειας (1 min). Αντιθέτως, σε επαναλήψεις μικρότερης διάρκειας, η αναλογία έργου - διαλείμματος επηρεάζει τον χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$ , όπου το μικρότερο διάλειμμα (αναλογία 2:1) επιτρέπει αυξημένο χρόνο σε τιμές κατανάλωσης οξυγόνου κοντά στην  $VO_2max$ . Έτσι, φαίνεται πως ο χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  επηρεάζεται από τη διάρκεια του διαλείμματος όταν η διάρκεια των επαναλήψεων υψηλής έντασης είναι μικρής διάρκειας (20 s – 1 min), αλλά δεν επηρεάζεται από τη διάρκεια του διαλείμματος όταν η διάρκεια των επαναλήψεων υψηλής έντασης είναι μεγαλύτερης διάρκειας ( $\geq 2$  min). Ωστόσο, η έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο ερώτημα που δημιουργείται είναι περιορισμένη.

Φαίνεται λοιπόν, πως η διαλειμματική άσκηση σε ταχύτητες κοντά στη μέγιστη αερόβια ταχύτητα (MAT) πιθανά μεγιστοποιούν τη βελτίωση της  $VO_2max$ , ενώ οδηγούν και σε σημαντική αύξηση της πυκνότητας των μιτοχονδρίων. Ο Daussin et al. (2008) βρήκαν ότι η αύξηση της  $VO_2max$  μετά από πρόγραμμα διαλειμματικής προπόνησης οδήγησε σε βελτίωση τόσο στους κεντρικούς (καρδιακή παροχή) όσο και στους περιφερικούς παράγοντες (πυκνότητα τριχοειδών και μιτοχονδριακές προσαρμογές) που καθορίζουν την  $VO_2max$ . Μάλιστα, έχει αναφερθεί ότι επιπλέον σε αυτά τα προπονητικά οφέλη, η

διαλειμματική προπόνηση διεγείρει τον ρυθμό απομάκρυνσης του γαλακτικού ο οποίος εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωσή του, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι συγκέντρωση τόσο μεγαλύτερη είναι και η απομάκρυνση του (Brooks et al., 2004). Επομένως, όταν κατά την προπόνηση αυξάνεται η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα, διεγείρονται και βελτιώνονται οι μηχανισμοί απομάκρυνσης του γαλακτικού. Για το λόγο αυτό, ο Brooks και οι συνεργάτες (2004) συστήνουν ενεργητική αποκατάσταση κατά τη διαλειμματική άσκηση, προκειμένου να διεγερθούν σε μεγαλύτερο βαθμό οι μηχανισμοί απομάκρυνσης του γαλακτικού και να μειωθεί η συσσώρευσή του.

Βασισμένοι στο σκεπτικό πως ο αυξημένος χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_{2max}$  επιφέρει μακροπρόθεσμα βελτίωση στην αερόβια απόδοση, ο Smilios et al. (2018) θέλησαν να ερευνήσουν την επίδραση της διάρκειας του διαλείμματος στο χρόνο άσκησης με υψηλά ποσοστά της  $VO_{2max}$  και της  $HR_{max}$ , και στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα κατά τη διαλειμματική άσκηση με μεγαλύτερη διάρκεια επαναλήψεων υψηλής έντασης (4 min). Χρησιμοποίησαν διαλειμματική άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο που αποτελούνταν από 4 επαναλήψεις των 4 λεπτών με ένταση στο 90% της MAT, με ενεργητική αποκατάσταση στο 35% της MAT για 2, 3 ή 4 λεπτά. Κατέληξαν πως ενεργητικό διάλειμμα διάρκειας 2, 3 ή 4 λεπτών ενεργοποιεί σε παρόμοιο βαθμό το αερόβιο σύστημα παραγωγής ενέργειας καθώς δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο χρόνο άσκησης με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου (>80, 90 και 95% της  $VO_{2max}$ ). Ωστόσο, ο χρόνος άσκησης με υψηλές τιμές καρδιακής συχνότητας (>80 και 90% της  $HR_{max}$ ) ήταν μεγαλύτερος με το μικρότερο χρόνο διαλείμματος όπως και η συγκέντρωση του γαλακτικού. Αν ο χρόνος άσκησης με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου παρέμεινε σταθερός, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε ο χρόνος άσκησης με υψηλές τιμές καρδιακής συχνότητας, θα μπορούσε να υποδηλώνει πως με την αλλαγή του χρόνου διαλείμματος (από 2 σε 4min) παρατηρούνται διαφορετικοί μηχανισμοί μεταφοράς (όγκος παλμού και καρδιακή παροχή) ή απορρόφησης του οξυγόνου στο σώμα (αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου), έχοντας ωστόσο παρόμοιο αποτέλεσμα στην φυσιολογική επιβάρυνση (παρόμοιο χρόνο σε υψηλές τιμές της  $VO_{2max}$ ). Καθώς η κατανάλωση οξυγόνου είναι το γινόμενο της καρδιακής συχνότητας, του όγκου παλμού και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου, δημιουργείται το ερώτημα αν η διάρκεια του διαλλείματος διαφοροποιεί τη συνεισφορά αυτών των φυσιολογικών παραμέτρων στην επίτευξη παρόμοιας κατανάλωσης οξυγόνου κατά τη διαλειμματική άσκηση. Δεν έχει εξεταστεί μέχρι σήμερα αν επηρεάζεται η

συνεισφορά των κεντρικών (καρδιακή παροχή και όγκος παλμού) και περιφερικών (αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου) παραμέτρων της κατανάλωσης οξυγόνου σε μια διαλειμματική προπόνηση με μικρή ή μεγαλύτερη διάρκεια διαλείμματος.

### **1.1. Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετήσει τις επιδράσεις της διάρκειας του διαλλείματος κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης στους κεντρικούς (καρδιακή παροχή, καρδιακή συχνότητα και όγκος παλμού) και περιφερικούς (αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου) παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου.

### **1.2. Ερευνητικές υποθέσεις**

Δεν θα υπάρχει επίδραση στον συνολικό χρόνο άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου, καρδιακή παροχή, αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου, καρδιακή συχνότητα και όγκο παλμού με τιμές μεγαλύτερες του 80, 90 και 95% του μέγιστου στη διαλειμματική άσκηση με τη μικρότερη διάρκεια διαλλείματος (2 λεπτά) σε σύγκριση με τη μεγαλύτερη διάρκεια διαλλείματος (3 και 4 λεπτά). 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 μικρότερη διάρκεια διαλλείματος (2 λεπτά) σε σύγκριση με τη μεγαλύτερη διάρκεια διαλλείματος (3 και 4 λεπτά).

### **1.3. Οριοθετήσεις και Περιορισμοί**

Οι οριοθετήσεις της παρούσας μελέτης ήταν:

- *Ως προς την επιλογή των συμμετεχόντων:* στην έρευνα συμμετείχαν νεαροί δρομείς αναψυχής, φοιτητές της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, μη-καπνιστές και με απουσία καρδιο-αναπνευστικών παθήσεων.
- *Ως προς την προπονητική εμπειρία:* οι συμμετέχοντες εκτελούσαν συστηματικά αερόβια δρομική προπόνηση το τελευταίο 1 έτος
- *Ως προς την φυσική κατάσταση:* οι αρένες συμμετέχοντες θα έπρεπε να έχουν μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου  $>50$  ml/kg/min και οι θήλεις συμμετέχουσες  $>43$  ml/kg/min.

- Ως προς την ξεκούραση: Ο χρόνος ύπνου των δοκιμαζόμενων πρωτίτερα της μέτρησης έπρεπε να ξεπερνάει τις 6 ώρες.
- Ως προς την ώρα διεξαγωγής της μέτρησης: η μέτρηση γινόταν πρωινές ώρες, με τους δοκιμαζόμενους να απέχουν τουλάχιστον 48 ώρες από οποιαδήποτε φυσική δραστηριότητα / άσκηση υψηλής έντασης.
- Ως προς την διατροφή: Η διατροφική πρόσληψη των συμμετεχόντων πρωτίτερα της μέτρησης δεν εξετάστηκε.

#### 1.4. Ορισμοί και Συντομογραφίες

- Διαλειμματική άσκηση 4x4: διαλειμματική άσκηση που αποτελείται από 4 προσπάθειες των 4 λεπτών σε ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 90% της MAT με ενεργητική αποκατάσταση για 2, 3 ή 4 λεπτά στο 35% της MAT.
- Μέγιστη Αερόβια Ταχύτητα (MAT): Η μέγιστη ταχύτητα που επιτυγχάνεται σε δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης 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.
- Όγκος Παλμού (SV): Ο συνολικός όγκος αίματος που εξωθείται από την αριστερή κοιλία της καρδιάς σε έναν παλμό.
- Καρδιακή Παροχή (CO): 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

Εννέα δρομείς αναψυχής (7 άνδρες και 2 γυναίκες, ηλικία:  $21,56 \pm 2,13$  ετών, ύψος:  $1,73 \pm 0,05$  m, σωματική μάζα:  $69,5 \pm 7,88$  kg,  $VO_2\max$ :  $53,79 \pm 4,42$  ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>) εκτέλεσαν σε δαπεδοεργόμετρο διαλειμματική άσκηση. Τα κριτήρια συμμετοχής ήταν τα άτομα να είναι υγιή, με απουσία καρδιοαναπνευστικών παθήσεων, μη-καπνιστές, και να εκτελούν προπόνηση αντοχής με τρέξιμο το τελευταίο 1 έτος. Τα κριτήρια αποκλεισμού ήταν να έχουν μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου <50 ml/kg/min οι άνδρες και <43 ml/kg/min οι γυναίκες. Όλοι οι δοκιμαζόμενοι υπέγραψαν έντυπο εθελοντικής συμμετοχής στη μελέτη αφού πρώτα τους δόθηκε, γραπτώς και προφορικός, αναλυτική περιγραφή των διαδικασιών.

### 2.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Οι ασκούμενοι εκτέλεσαν διαλειμματική άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο που αποτελούνταν από 4 επαναλήψεις των 4 λεπτών με ταχύτητα στο 90% της MAT και ενεργητική αποκατάσταση 2, 3 ή 4 λεπτά στο 35% της MAT. Μετρήθηκαν σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση των συνθηκών άσκησης με διαφορετικό χρόνο διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων, η  $VO_2$ , η HR και ο SV, και υπολογίστηκαν η CO και a- $vO_2$ diff. Επιπλέον, μετρήθηκαν 5 λεπτά μετά το τέλος της προθέρμανσης (7,5 λεπτά στο 60% της MAT και 0,5 λεπτά στο 100% της MAT) και μετά τη 2<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> επανάληψη, η συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα. Επίσης, μετρήθηκε και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης μετά τη 2<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> επανάληψη καθώς και 20 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης. Όλες οι δοκιμασίες ολοκληρώθηκαν σε συνθήκες εργαστηρίου, με θερμοκρασία 22-25 °C και υγρασία 30-40%. Προκειμένου να μην επηρεάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης από τη σειρά εκτέλεσης των συνθηκών άσκησης, η σειρά εκτέλεσης τους έγινε με τυχαία επιλογή και με αντιστάθμιση.

### 2.3. Μετρήσεις

#### 2.3.1. Εξοικείωση

Πριν την έναρξη των μετρήσεων, όλοι οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν 1 έως 3 προπονήσεις σε δαπεδοεργόμετρο προκειμένου να εξοικειωθούν τόσο με τον διάδρομο

όσο και με τον αναλυτή αερίων. Επιπλέον, ενημερώθηκαν για τις διαδικασίες των μετρήσεων και συμφώνησαν να συμμετέχουν στη μελέτη. Οι προπονήσεις εξοικείωσης απείχαν μεταξύ τους τουλάχιστον 48 ώρες.

### 2.3.2. Μέγιστη δοκιμασία σταδιακά αυξανόμενης επιβάρυνσης

Οι δοκιμαζόμενοι εκτέλεσαν στο δαπεδοεργόμετρο (hp cosmos, Quasar) μια μέγιστη δοκιμασία σταδιακά αυξανόμενης έντασης, προκειμένου να μετρηθούν η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου ( $VO_2max$ ), ο μέγιστος όγκος παλμού (ΟΠ) και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (ΚΣ), ενώ υπολογίστηκαν η μέγιστη καρδιακή παροχή (ΚΠ) και η μέγιστη αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ( $a-vO_2diff$ ) μέσω της εξίσωσης του Fick:

$$VO_2 = ΚΠ (ΚΣ \times ΟΠ) \times a-vO_2diff$$

Οι τιμές των μεταβλητών υπολογίστηκαν σε χρονικά διαστήματα 30 sec και ως μέγιστες τιμές θεωρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές που καταγράφηκαν στη διάρκεια της δοκιμασίας. Επιπλέον, μετρήθηκε και η μέγιστη αερόβια ταχύτητα (MAT) με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$MAT = \text{Ταχύτητα στο τελευταίο ολοκληρωμένο στάδιο} + (\text{δευτερόλεπτα τρεξίματος στο τελευταίο στάδιο} / 120)$$

Εκτελέστηκε προθέρμανση για 5 λεπτά στα 7 km/h με θετική κλίση 1% και ακολούθησε αποκατάσταση για 5 λεπτά. Στην συνέχεια, εκτελέστηκε η μέγιστη δοκιμασία σταδιακά αυξανόμενης έντασης που αποτελούνταν από στάδια διάρκειας 2 λεπτών, με θετική κλίση του διαδρόμου στο 1% καθ' όλη τη διάρκεια του πρωτοκόλλου. Το αρχικό στάδιο ξεκινούσε με ταχύτητα τρεξίματος τα 8 km/h για τους άνδρες και τα 7 km/h για τις γυναίκες και αυξανόταν ανά 1 km/h. Η δοκιμασία ολοκληρωνόταν μόλις ο δοκιμαζόμενος πληρούσε τουλάχιστον 3 από τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ορατή εξάντληση του δοκιμαζόμενου
- Μέγιστη καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 90% της προβλεπόμενης μέγιστης καρδιακής συχνότητας με βάση την ηλικία ( $220 - \text{ηλικία}$ )
- Πλατό στην κατανάλωση οξυγόνου (αύξηση  $< 2,5 \text{ ml/kg/min}$ ) παρά την αύξηση της επιβάρυνσης

- Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης 19-20 στα 20.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές των φυσιολογικών παραμέτρων που μετρήθηκαν κατά τη δοκιμασία προοδευτικά αυξανόμενης επιβάρυνσης.

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

VO <sub>2</sub> max (L/min)	3,74 ± 0,03
VO <sub>2</sub> max (mL/min/kg)	53,79 ± 4,42
MAT (km/h)	14,48 ± 1,2
HR <sub>max</sub> (bpm)	198,9 ± 4
SV <sub>max</sub> (mL)	126,71 ± 17,15
% MAT στην SV <sub>max</sub> (%)	78,00 ± 14,91
%VO <sub>2</sub> max στην SV <sub>max</sub> (%)	84,62 ± 10,89
CO <sub>max</sub> (L/min)	25,62 ± 3,54
a-vO <sub>2</sub> diff <sub>max</sub> (dL/dL)	0,175 ± 0,025

## 2.4. Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης

### 2.4.1. Σωματομετρικές μετρήσεις

Για την αξιολόγηση της σωματικής μάζας των συμμετεχόντων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός ζυγός (Seca, 767). Ο κάθε δοκιμαζόμενος, αφού είχε αφαιρέσει τα υποδήματά του, στεκόταν ακίνητος στο κέντρο τις πλατφόρμας του ζυγού, κοιτάζοντας μπροστά και χωρίς να στηρίζεται κάπου, φορώντας κοντό παντελονάκι και αθλητική φανέλα. Η μάζα του σώματός του μετρήθηκε με ακρίβεια 0,1 kg. Για την αξιολόγηση του ύψους, ο εξεταζόμενος στεκόταν σε όρθια θέση με τις φτέρνες ενωμένες χωρίς να φοράει υποδήματα και με το κεφάλι να κοιτάει ευθεία μπροστά. Η μέτρηση του ύψους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φορητού αναστημόμετρου (Seca 213) στον κατακόρυφο άξονα του οποίου ήταν προσαρμοσμένος ένας οριζόντιος χάρακας που ερχόταν σε επαφή

με το υψηλότερο σημείο του κεφαλιού του δοκιμαζόμενου. Η καταγραφή του σωματικού ύψους γινόταν με ακρίβεια 0,01 m.

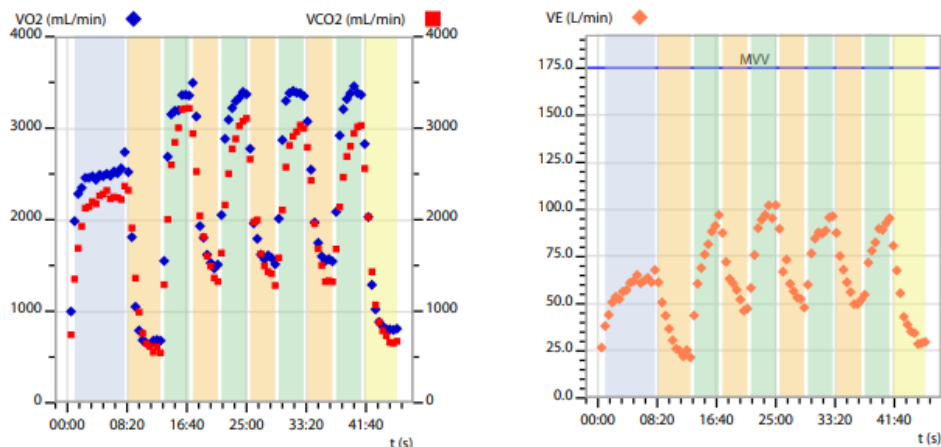
#### **2.4.2. Αρτηριακή πίεση**

Μετά την προσέλευση των συμμετεχόντων στο εργαστήριο, μετρήθηκε η αρτηριακή πίεση στο αριστερό άνω άκρο, με την χρήση τροχήλατου πιεσόμετρου (Welch Allgh, Tygos 767), προκειμένου να βαθμονομηθεί σε επόμενο χρόνο το μη επεμβατικό σύστημα αιμοδυναμικής καταγραφής σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Κατά τη μέτρηση, οι δοκιμαζόμενοι στεκόντουσαν σε όρθια θέση, έχοντας σταθεροποιημένο το αριστερό τους χέρι με τον αγκώνα σε πλήρη έκταση και την παλάμη να βρίσκεται στο ύψος της καρδιάς. Η περιχειρίδα ήταν τοποθετημένη στον βραχίονα, με το ακουστικό να βρίσκεται πάνω απ' την βραχιόνια αρτηρία, όπου και εντοπίστηκε η συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση.

#### **2.4.3. Αναπνευστικές παράμετροι**

Τόσο κατά τη μέγιστη δοκιμασία σταδιακά αυξανόμενης έντασης όσο και κατά τις συνθήκες άσκησης, χρησιμοποιήθηκε εργοσπιρόμετρο (Cosmed, Quark RMR-CPET) για την καταμέτρηση του όγκου του πνευμονικού αερισμού ( $V_E$ ), του προσλαμβανόμενου οξυγόνου ( $VO_2$ ) και του αποβαλούμενου διοξειδίου του άνθρακα ( $VCO_2$ ). Πριν την έναρξη της άσκησης πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση των αναλυτών οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα του εργοσπιρομέτρου με τη χρήση αερίων γνωστής ποσοστιαίας συγκέντρωσης οξυγόνου ( $O_2$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) από φιάλη συμπιεσμένου αέρια (συγκέντρωση  $O_2$ : 16,15%,  $CO_2$ : 5,01% και αζώτου: 78,84%) με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή. Στη συνέχεια, γινόταν βαθμονόμηση του ροόμετρου του αναλυτή για τη μέτρηση του όγκου του αέρα, με τη χρήση σύριγγας 3L με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ύστερα, προσαρμοζόταν ο αναλυτής στους συμμετέχοντες και ξεκινούσε η άσκηση, με το εργοσπιρόμετρο να καταγράφει τις τιμές των ανταλασσόμενων αερίων με ακρίβεια δύο δεκαδικών. Στην εικόνα 4 απεικονίζεται μια καταγραφή του εργοσπιρομέτρου κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης, 4 επαναλήψεις των 4 λεπτών με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων.





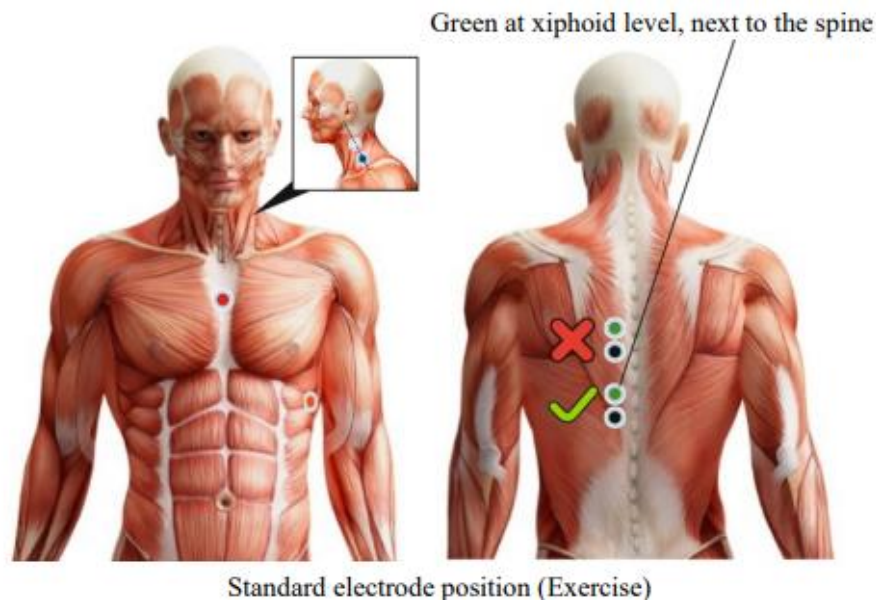
**Εικόνα 3.** Καταγραφή της κατανάλωσης οξυγόνου ( $VO_2$ ), του αποβαλούμενου διοξειδίου του άνθρακα ( $VCO_2$ ) και του πνευμονικού αερισμού ( $V_E$ ) σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης 4 επαναλήψεων των 4 λεπτών με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων. Στην αρχή της δοκιμασίας απεικονίζεται η προθέρμανση, με ακόλουθες τις 4 επαναλήψεις διαλειμματικού τρεξίματος και παθητικής αποκατάστασης στο τέλος τους.

#### 2.4.4. Αιμοδυναμικοί παράγοντες

Για την αξιολόγηση του SV και της HR και κατά προέκταση της CO και της  $a-vO_2diff$  χρησιμοποιήθηκε μη επεμβατικό σύστημα αιμοδυναμικής καταγραφής (PhysioFlow, Enduro). Προκειμένου να αξιολογήσει τις συγκεκριμένες μεταβλητές, το συγκεκριμένο σύστημα καταγραφής χρησιμοποιεί τη μέθοδο της υψηλής ευκρίνειας μορφολογίας σήματος καρδιογραφίας εμπέδησης (θωρακική ηλεκτρική βιοεμπέδηση).

Αρχικά, ζητήθηκε από τους ασκούμενους να ξυρίσουν τον άνω κορμό τους, το βράδυ που προηγούταν της μέτρησης, ενώ τη μέρα της μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ξυραφάκι προκειμένου να επαναληφθεί η διαδικασία σε συγκεκριμένες περιοχές του θώρακα. Πριν την τοποθέτηση του συστήματος παρακολούθησης, ζητήθηκε από τους ασκούμενους να αφαιρέσουν μεταλλικά αντικείμενα όπως σκουλαρίκια και περιδέραια και πραγματοποιήθηκε εντριβή με οινόπνευμα προκειμένου να προετοιμαστεί το δέρμα για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων (Ambu, BlueSensor L). 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 δελτοειδή 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 ιερωνωτιαίων μυών. Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, απεικονίζεται στην Εικόνα 5.



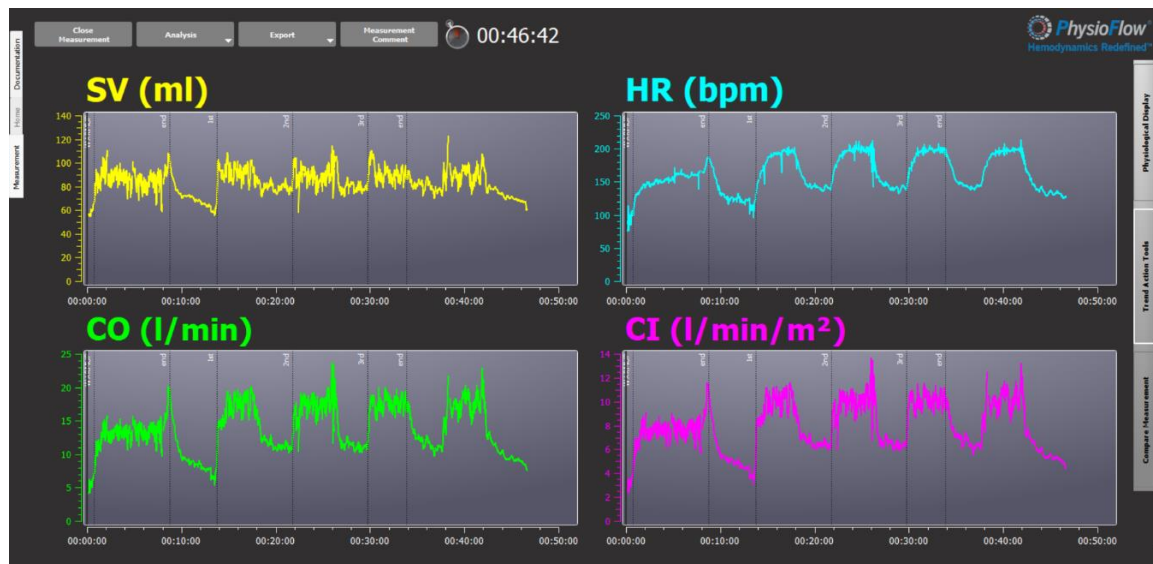
**Εικόνα 4.** Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων για την καταγραφή αιμοδυναμικών παραμέτρων κατά την άσκηση σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (PhysioFlow).

Μόλις ολοκληρωνόταν η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, συνδεόταν το καλώδιο του ασθενή με το σύστημα αιμοδυναμικής καταγραφής. Προκειμένου τα καλώδια να παραμένουν σταθερά κατά την διαδικασία της μέτρησης, οι δοκιμαζόμενοι φορούσαν εφαρμοστές αθλητικές μπλούζες ή ελαστικούς θωρακικούς επιδέσμους κατά τις δοκιμασίες, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.



**Εικόνα 5.** Τοποθέτηση του εργοσπιρόμετρου και του μη επεμβατικού συστήματος αιμοδυναμικής καταγραφής (PhysioFlow), με τα καλώδια του δεύτερου να σταθεροποιούνται με την χρήση εφαρμοστής αθλητικής μπλούζας σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης.

Αργότερα, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του συστήματος, με τους δοκιμαζόμενους να βρίσκονται χαλαροί στην όρθια θέση, χωρίς εξωτερική στήριξη, αποφεύγοντας να κάνουν απότομες κινήσεις και οποιαδήποτε μορφή συζήτησης/ομιλίας κατά τη διαδικασία αυτή. Μόλις ολοκληρωνόταν η βαθμονόμηση, οι ασκούμενοι ξεκινούσαν τις δοκιμασίες. Στην Εικόνα 7 απεικονίζεται μια καταγραφή του συστήματος αιμοδυναμικής παρακολούθησης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης.



**Εικόνα 6.** Μεταβλητές που μετρήθηκαν σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης 4 επαναλήψεων με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων. Στην αρχή της δοκιμασίας απεικονίζεται η προθέρμανση, με ακόλουθες τις 4 επαναλήψεις διαλειμματικού τρεξίματος και παθητικής αποκατάστασης στο τέλος της άσκησης.

#### 2.4.5. Συγκέντρωση γαλακτικού αίματος

Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, 20 λεπτά πριν την έναρξη της δοκιμασίας αφαιρέθηκαν από το χώρο ψύξης (4 °C) οι ταινίες γαλακτικού (EKF Diagnostics, Lactate Scout Sensors). Ύστερα, ρυθμίστηκε ο κωδικός του μετρητή γαλακτικού (Lactate Scout 4) έτσι ώστε να ταιριάζει με αυτόν που αναγράφεται στις ταινίες. Ο μετρητής γαλακτικού μπορούσε να ανιχνεύσει την συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα σε εύρος μεταξύ 0,5 και 25 mmol γαλακτικού για κάθε λίτρο αίματος βάσει ενζυμικής - αμπερομετρικής ανίχνευσης με χρήση γαλακτικής οξειδάσης. Στο τέλος της προθέρμανσης και ένα λεπτό πριν την εκκίνηση της πρώτης επανάληψης της διαλειμματικής άσκησης, ζητήθηκε από τους ασκούμενους ενώ βρισκόντουσαν σε στάση, να προβάλουν το δεξί τους χέρι σε ύπτια θέση και να το στηρίξουν στην πλαϊνή βάση του δαπεδοεργόμετρου. Έπειτα, καθαρίστηκε σχολαστικά η τελευταία φάλαγγα του δείκτη με βαμβάκι εμποτισμένο με οινόπνευμα ενώ στη συνέχεια καθαρίστηκε το ίδιο σημείο με ένα καθαρό βαμβάκι προκειμένου να μην απομείνουν υπολείμματα αλκοόλ στην περιοχή. Με τη χρήση βελόνας μιας χρήσης (B Braun, Solofix 1,5 mm) δημιουργήθηκε μια μικρή οπή στο δέρμα προκειμένου να απομονωθεί μια σταγόνα αίμα. Στην συνέχεια, με πίεση του δακτύλου εμφανιζόταν μια πρώτη σταγόνα αίματος η οποία καθαρίζονταν και με νέα πίεση του



**Εικόνα 7.** Μέτρηση συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα αμέσως μετά την ολοκλήρωση της 2<sup>ης</sup> επανάληψης σε διαλειμματική άσκηση 4 επαναλήψεων με διάλειμμα 4 λεπτά μεταξύ των επαναλήψεων.

δακτύλου χρησιμοποιούνταν η δεύτερη σταγόνα αίματος. Για την μέτρηση, τοποθετούνταν η άκρη της ταινίας επάνω στην σταγόνα αίματος, μέσω της οποίας γινόταν λήψη 0,2 μL αίματος από τον ειδικό τριχοειδικό σωλήνα της ταινίας για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού. Για τη μέτρηση του γαλακτικού στα επόμενα στάδια, οι ασκούμενοι στηριζόντουσαν στις πλαϊνές βάσεις του διαδρόμου μόλις ολοκλήρωναν τα τέσσερα λεπτά άσκησης της 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> επανάληψης και πατούσαν στις ράγες, δεξιά και αριστερά από τον ιμάντα του διαδρόμου, προκειμένου να είναι ακίνητοι και σταθεροί για την λήψη της σταγόνας αίματος. Στην εικόνα 8 απεικονίζεται η διαδικασία λήψης αίματος για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού ενδιάμεσα της δοκιμασίας. Ο συνολικός χρόνος από τη στιγμή που ο ασκούμενος σταματούσε την άσκηση στο τέλος της 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> επανάληψης έως και την στιγμή λήψης της τιμής του γαλακτικού, δεν ξεπερνούσε το χρονικό διάστημα των 45 δευτερολέπτων.

#### **2.4.6. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης**

Στα τελευταία 30 δευτερόλεπτα της 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> επανάληψης της διαλειμματικής άσκησης, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να προσδιορίσουν την αντιλαμβανόμενη κόπωση με τη χρήση της εικοσαβάθμιας κλίμακας του Borg (Κλίμακα Υποκειμενικής

Αντίληψης της Κόπωσης). Τοποθετήθηκε ένας πίνακας μεγάλων διαστάσεων που έφερε την κλίμακα με ευδιάκριτους αριθμούς και γράμματα, μεταφρασμένος στην ελληνική γλώσσα, ο οποίος βρισκόταν απέναντι από τους δοκιμαζόμενους κατά τις διάφορες διαλειμματικές δοκιμασίες. Είκοσι λεπτά μετά το πέρας της δοκιμασίας, οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν πόσο δύσκολη ένοιωσαν να είναι η διαλειμματική δοκιμασία που εκτέλεσαν και κλήθηκαν να αντιστοιχήσουν την δυσκολία με έναν από τους αριθμούς στην δεκαβάθμια κλίμακα του Borg.

## 2.5. Στατιστική ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση ορίστηκαν οι παρακάτω μεταβλητές:

*Ανεξάρτητες μεταβλητές της μελέτης:* Ανεξάρτητες μεταβλητές αποτέλεσαν η διάρκεια του ενεργητικού διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων και η χρονική στιγμή μέτρησης των εξαρτημένων μεταβλητών.

*Εξαρτημένες μεταβλητές της μελέτης:* Εξαρτημένες μεταβλητές αποτέλεσαν ο συνολικός χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου, καρδιακής παροχής, όγκου παλμού, καρδιακής συχνότητας και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου υψηλότερη από το 80 και 90% του μέγιστου, η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα, και η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης.

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις όπου εξετάστηκε η επίδραση του παράγοντα «διάρκεια διαλείμματος» (2, 3 ή 4 λεπτά) στο συνολικό χρόνο άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου, καρδιακής παροχής, όγκου παλμού, καρδιακής συχνότητας και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου υψηλότερη από το 80 και 90% του μέγιστου. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (διάρκεια διαλείμματος και χρονική στιγμή μέτρησης) με επαναλαμβανόμενους και στους δύο παράγοντες για να εξεταστεί η κύρια επίδραση και η αλληλεπίδραση των παραγόντων «διάρκεια διαλείμματος» και «χρονική στιγμή μέτρησης» (στο τέλος της προθέρμανσης, της 2<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> επανάληψης) στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα και στην υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων εξετάστηκαν με το τεστ πολλαπλών συγκρίσεων του Tukey. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο  $p < 0,05$ . Το μέγεθος επίδρασης (ME) των διαφορών μεταξύ των μέσων όρων καθορίστηκε χρησιμοποιώντας τις Cohen's  $d$  τιμές, όπου:

$$d = \frac{(\text{μέσος όρος συνθήκης A} - \text{μέσος όρος συνθήκης B})}{\sqrt{[(\text{τυπική απόκλιση συνθήκης B})^2 + (\text{τυπική απόκλιση συνθήκης A})^2] / 2}}$$

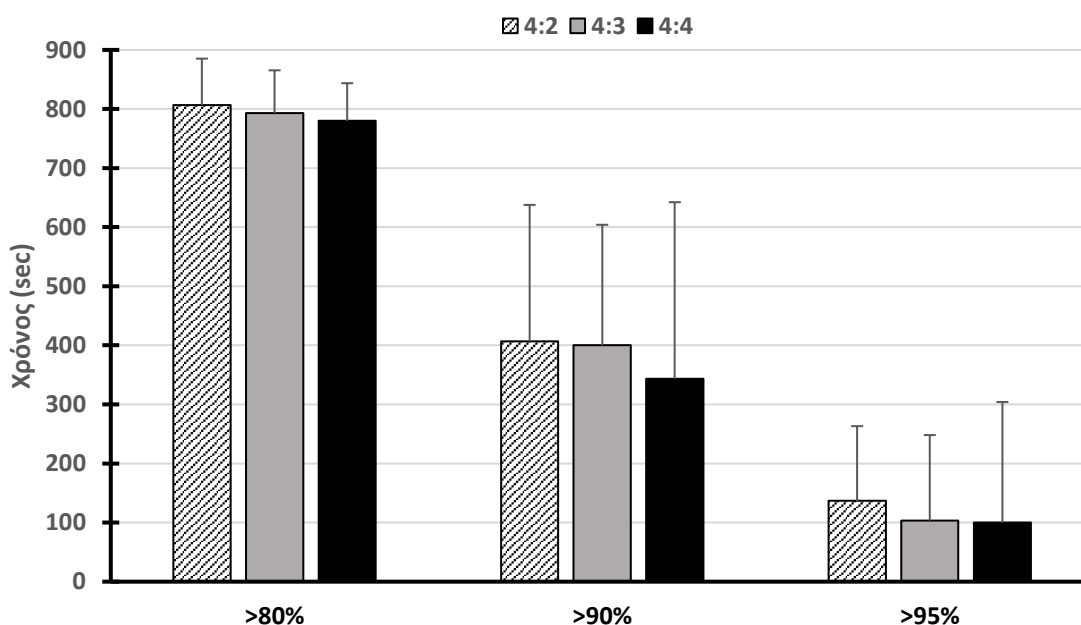
Μέγεθος επίδρασης μεγαλύτερο από 0,2, 0,5 και 0,8 ερμηνεύτηκε ως μικρό, μεσαίο και μεγάλο, αντίστοιχα.



### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1. Συνολικός χρόνος άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης

Δεν υπήρξε σημαντική επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' στο συνολικό χρόνο άσκησης με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη από το 80% [ $F(2,16)=0,56$ ;  $p=0,58$ ; ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,18, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,38, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,20], το 90% [ $F(2,16)=0,32$ ;  $p=0,73$ ; ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,03, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,24, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,23] και το 95% [ $F(2,16)=0,57$ ;  $p=0,58$ ; ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,25, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,22, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,02,] της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου (Σχήμα 1).

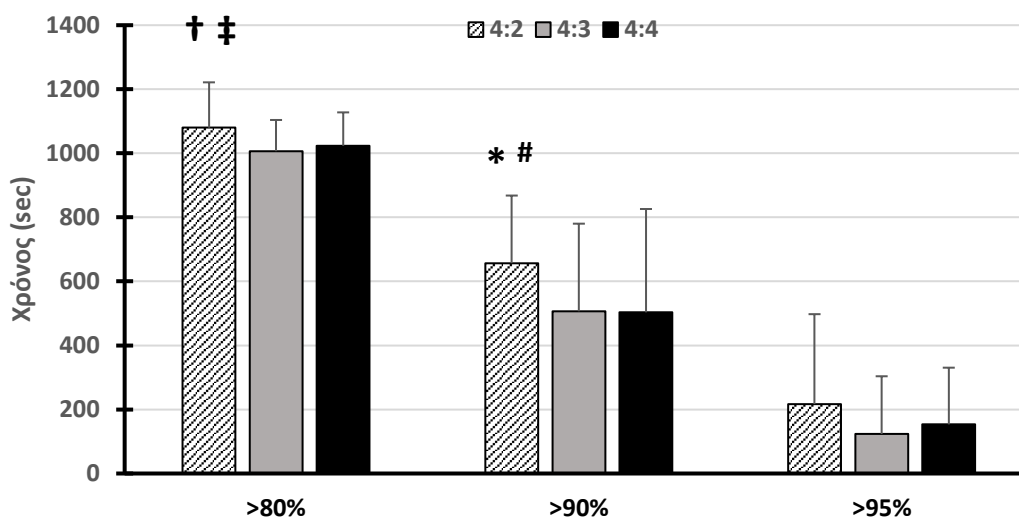


**Σχήμα 1.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με κατανάλωση οξυγόνου υψηλότερη του 80, 90 και 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων.



### 3.2. Συνολικός χρόνος άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης

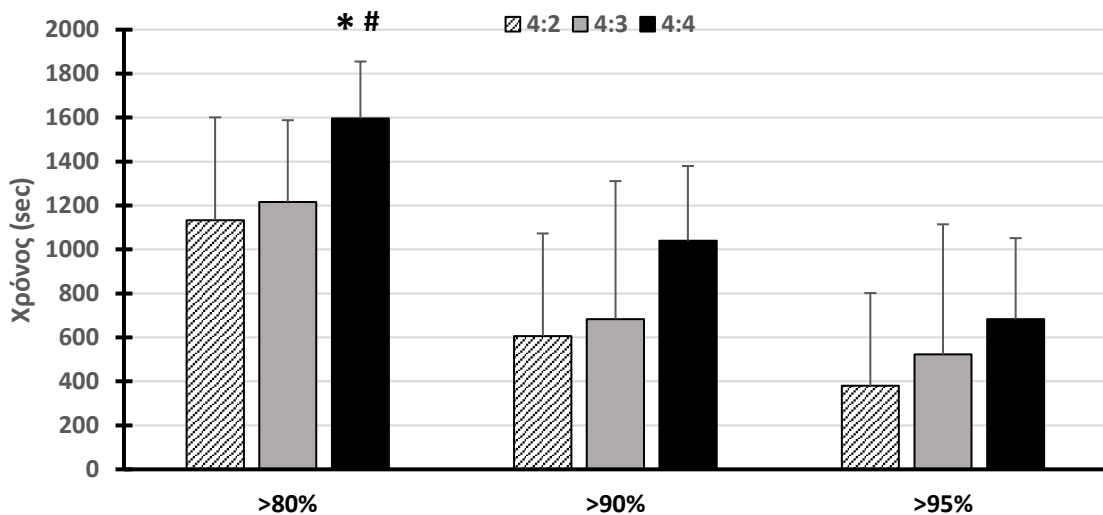
Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι ο συνολικός χρόνος άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 80% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας είχε την τάση να είναι αυξημένος [ $F(2,16)= 3,23$ ;  $p= 0,066$ ] όταν ο χρόνος διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων ήταν 2 λεπτά συγκριτικά με όταν ήταν 3 και 4 λεπτά (ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,61, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,46, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,17). Στο χρόνο άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 90% της μέγιστης βρέθηκε σημαντική επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' [ $F(2,16)= 4,52$ ;  $p= 0,028$ ]. Ο χρόνος άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 90% ήταν περισσότερος με χρόνο διαλείμματος 2 λεπτά συγκριτικά με 3 (ME= -0,62) και 4 λεπτά (ME= -0,57) ενώ δεν διέφερε μεταξύ των 3 και των 4 λεπτών (ME= -0,01). Δεν παρατηρήθηκε επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' [ $F(2,16)= 1,39$ ;  $p= 0,28$ ] στο συνολικό χρόνο άσκησης με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 95% της μέγιστης (ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,40, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,28, ME 3 έναντι 4 λεπτών= 0,17, Σχήμα 2).



**Σχήμα 2.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 80%, το 90% και το 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων (\*  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:3, #  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:4, †  $p = 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:3, ‡  $p = 0,06$  μεταξύ του 4:2 και 4:4).

### 3.5. Συνολικός χρόνος άσκησης με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80, 90 και 95% του μέγιστου

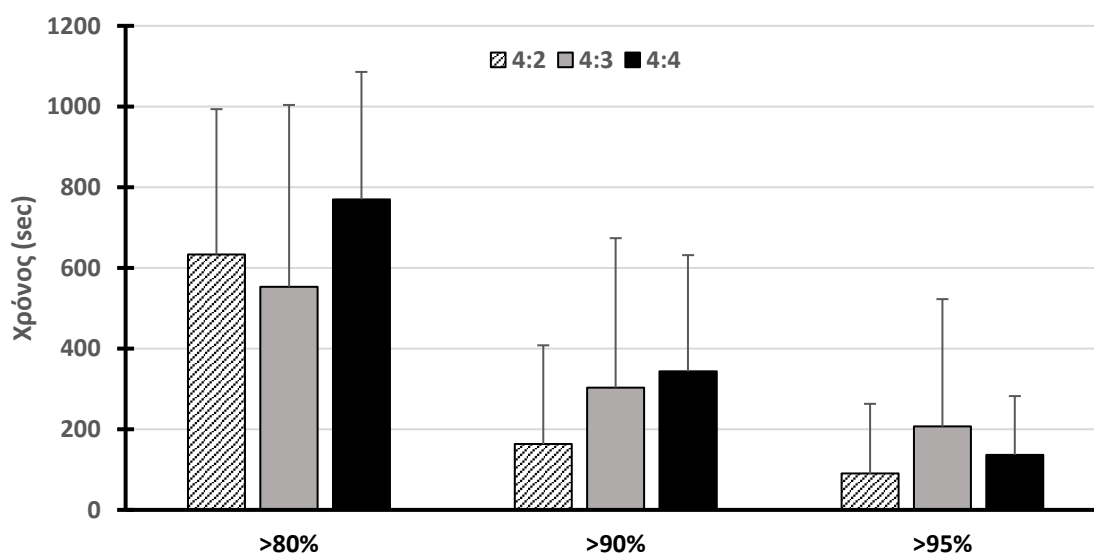
Παρατηρήθηκε κύρια επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' [ $F(2,16)=6,75$ ;  $p=0,007$ ] στο συνολικό χρόνο άσκησης με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80% του μέγιστου. Οι επιμέρους αναλύσεις έδειξαν πως δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ των διαλειμμάτων των 2 και των 3 λεπτών ( $ME=0,2$ ), αλλά ο χρόνος άσκησης με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80% του μέγιστου ήταν μεγαλύτερος με το διάλειμμα των 4 λεπτών σε σύγκριση τόσο με το διάλειμμα των 2 λεπτών ( $ME=1,28$ ) όσο και με το διάλειμμα των 3 λεπτών ( $ME=1,21$ ). Δεν βρέθηκε επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' στο συνολικό χρόνο άσκησης με όγκο παλμού υψηλότερο από το 90% [ $F(2,16)=2,58$ ;  $p=0,11$ ;  $ME$  2 έναντι 3 λεπτών= $0,14$ ,  $ME$  2 έναντι 4 λεπτών= $1,08$ ,  $ME$  3 έναντι 4 λεπτών= $0,74$ ] και το 95% [ $F(2,16)=1,20$ ;  $p=0,33$ ;  $ME$  2 έναντι 3 λεπτών= $0,28$ ,  $ME$  2 έναντι 4 λεπτών= $0,77$ ,  $ME$  3 έναντι 4 λεπτών= $0,33$ , του μέγιστου (Σχήμα 3).



**Σχήμα 3.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με όγκο παλμού υψηλότερο από το 80%, το 90% και το 95% του μέγιστου κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων (\*  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και 4:4, #  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:3 και 4:4).

### 3.6. Συνολικός χρόνος άσκησης με καρδιακή παροχή υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης

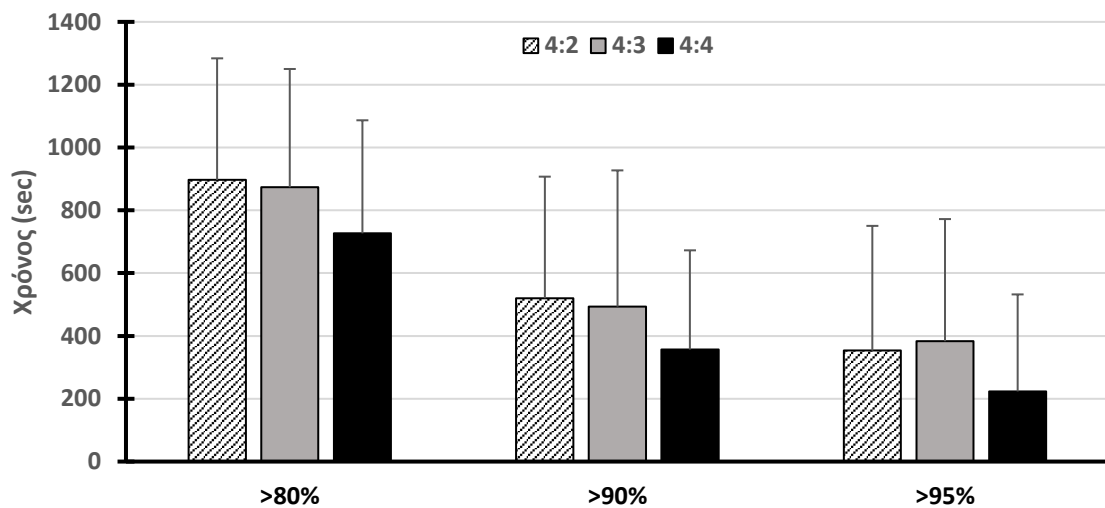
Δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών διαλειμμάτων στο συνολικό χρόνο άσκησης με καρδιακή παροχή μεγαλύτερη από το 80% [F(2,16)= 1,33; p= 0,29; ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,20, ME 2 έναντι 4 λεπτών= 0,40, ME 3 έναντι 4 λεπτών= 0,57], το 90% [F(2,16)= 0,99; p= 0,4; ME 2 έναντι 3 λεπτών= 0,46, ME 2 έναντι 4 λεπτών= 0,68, ME 3 έναντι 4 λεπτών= 0,12] και το 95% [F(2,16)= 0,61; p= 0,56] της μέγιστης (ME 2 έναντι 3 λεπτών= 0,48, ME 2 έναντι 4 λεπτών= 0,29, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,30. Σχήμα 4).



**Σχήμα 4.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με καρδιακή παροχή υψηλότερη από το 80%, το 90% και το 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων.

### 3.7. Συνολικός χρόνος άσκησης με αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου υψηλότερη από το 80, 90 και 95% της μέγιστης

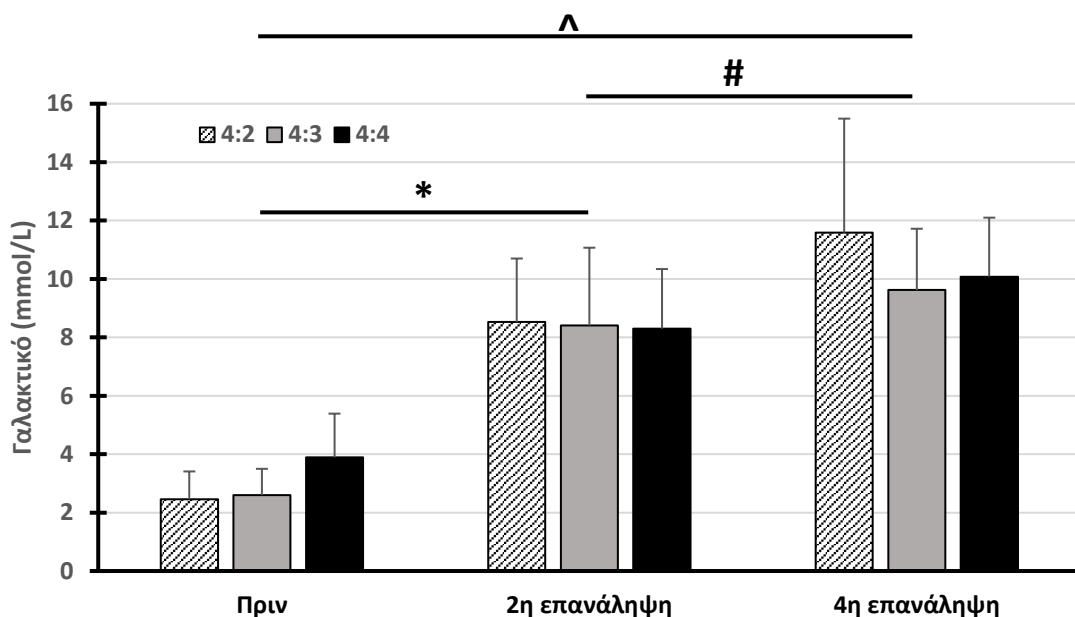
Δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των διαφορετικών διαρκειών διαλείμματος στο συνολικό χρόνο άσκησης με αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου υψηλότερη από το 80% [F(2,16)= 1,06; p=0,37; ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,06, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,46, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,40], το 90% [F(2,16)= 0,70; p= 0,51; ME 2 έναντι 3 λεπτών= -0,06, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,46, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,36] και το 95% [F(2,16)= 0,79; p= 0,47; ME 2 έναντι 3 λεπτών= 0,08, ME 2 έναντι 4 λεπτών= -0,37, ME 3 έναντι 4 λεπτών= -0,46] του μέγιστου (Σχήμα 5).



**Σχήμα 5.** Συνολικός χρόνος άσκησης ( $\bar{x} \pm SD$ ) με αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου υψηλότερη από το 80%, το 90% και το 95% της μέγιστης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων.

### 3.8. Συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα

Η ανάλυση της διακύμανσης δύο παραγόντων έδειξε πως δεν υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση [ $F(4,32)= 1,77$ ;  $p= 0,16$ ] μεταξύ των παραγόντων 'διάρκεια διαλείμματος' και 'χρονική στιγμή μέτρησης'. Επιπλέον, δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' [ $F(2,16)= 0,58$ ;  $p= 0,57$ ]. Ωστόσο, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F(2,16)=106,23$ ;  $P= 0,001$ ] με τη συγκέντρωση του γαλακτικού να αυξάνεται και να είναι υψηλότερη μετά τη 2<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> επανάληψη συγκριτικά με πριν την έναρξη της άσκησης αλλά και μετά την 4<sup>η</sup> επανάληψη συγκριτικά με μετά τη 2<sup>η</sup> επανάληψη (Σχήμα 6).



**Σχήμα 6.** Συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα ( $\bar{x} \pm SD$ ) πριν την έναρξη της 1<sup>ης</sup> επανάληψης, στο τέλος της 2<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> επανάληψης κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης των 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων (\*  $p < 0,05$  μεταξύ του πριν και της 2<sup>ης</sup> επανάληψης, ^  $p < 0,05$  μεταξύ του πριν και της 4<sup>ης</sup> επανάληψης, #  $p < 0,05$  και της 2<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> επανάληψης).

### 3.9. Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης

Η ανάλυση της διακύμανσης δεν έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση [ $F(2,16)=0,06$ ;  $p=0,94$ ] μεταξύ των παραγόντων 'διάρκεια διαλείμματος' και 'χρονική στιγμή μέτρησης' στην υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης μετά την 2<sup>η</sup> και την 4<sup>η</sup> επανάληψη. Αντιθέτως, παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα 'χρονική στιγμή μέτρησης' [ $F(1,8)=64$ ;  $p=0,001$ ], όπου η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης ήταν υψηλότερη μετά την 4<sup>η</sup> επανάληψη συγκριτικά με μετά τη 2<sup>η</sup> επανάληψη, και του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' [ $F(2,16)=4,33$ ;  $p=0,03$ ] όπου η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης ήταν υψηλότερη με το διάλειμμα των 2 και των 3 λεπτών έναντι των 4 λεπτών. Επιπροσθέτως, υπήρξε επίδραση του παράγοντα 'διάρκεια διαλείμματος' [ $F(2,16)=5,09$ ;  $p=0,02$ ] στη βαθμολόγηση του πόσο δύσκολη ένοιωσαν οι δοκιμαζόμενοι να είναι η διαλειμματική δοκιμασία που εκτέλεσαν, όπου η αντίληψη της κόπωσης 20 λεπτά μετά το τέλος της άσκησης με το διάλειμμα 2 λεπτών να είναι υψηλότερη από ότι με τα 3 και τα 4 λεπτά αλλά και με το διάλειμμα των 3 λεπτών έναντι του διαλείμματος των 4 λεπτών.

**Πίνακας 2.** Υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης ( $\bar{x} \pm SD$ ) στην εικοσαβάθμια κλίμακα του Borg στο τέλος της 2<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> επανάληψης και με τη δεκαβάθμια κλίμακα είκοσι λεπτά μετά το τέλος της διαλειμματικής άσκησης με την εκτέλεση 4 επαναλήψεων στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας με διάλειμμα 2 (4:2), 3 (4:3) ή 4 (4:4) λεπτά ενεργητικής αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων.

	Πρόγραμμα άσκησης		
	4:2	4:3	4:4
Τέλος 2 <sup>ης</sup> επανάληψης	14,67 ± 1,94	14,56 ± 1,81	13,67 ± 2,18
Τέλος 4 <sup>ης</sup> επανάληψης	17,44 ± 1,88	17,33 ± 1,66	16,56 ± 2,3
20 <sup>ο</sup> λεπτό της αποκατάστασης	7,44 ± 2,3	6,56 ± 2,19#	6,11 ± 2,03*

\*  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:2 και των 4:3 και 4:4, #  $p < 0,05$  μεταξύ του 4:3 και του 4:4

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει τις επιδράσεις της διάρκειας του διαλείματος κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης στους κεντρικούς και περιφερικούς παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου. Τα κυριότερα ευρήματα είναι πως η διάρκεια του διαλείματος (2, 3, ή 4 λεπτά) δεν επηρεάζει το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της κατανάλωσης οξυγόνου (μεγαλύτερη από 80, 90 και 95% της  $VO_2max$ ), αλλά επηρεάζει το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά του μέγιστου όγκου παλμού, με το μεγαλύτερο διάλειμμα να οδηγεί σε αυξημένο χρόνο με υψηλές τιμές όγκου παλμού (μεγαλύτερο από 80% του μέγιστου), αλλά ταυτόχρονα σε μειωμένο χρόνο με υψηλές τιμές καρδιακής συχνότητας (μεγαλύτερη από 80 και 90% του μέγιστου). Επιπλέον, παρατηρείται πως η διάρκεια του διαλείματος δεν επηρεάζει σημαντικά το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της μέγιστης καρδιακής παροχής και αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου (μεγαλύτερη από 80, 90 και 95% των μέγιστων τιμών), ωστόσο παρατηρούνται τάσεις για αυξημένη καρδιακή παροχή και μειωμένη αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου με το μεγαλύτερο χρόνο διαλείματος.

Η διάρκεια του διαλείματος καθώς και η αναλογία έργου - διαλείματος είναι σημαντικές μεταβλητές οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπό όψη κατά το σχεδιασμό μιας διαλειμματικής προπόνησης. Απ' όσο γνωρίζουμε, αυτή είναι η πρώτη έρευνα που μελετά τις επιδράσεις που προκαλεί η διάρκεια του διαλείματος σε μια διαλειμματική άσκηση μεγάλης διάρκειας στους παράγοντες που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου. Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν πως ο συνολικός χρόνος άσκησης σε υψηλές τιμές της  $VO_2max$  είναι ένας σημαντικός δείκτης της αποτελεσματικότητας της αερόβιας προπόνησης (Laurson & Jenkins 2002; Midgley & McNaughton, 2006; Wenger & Bell 1986; Buchheit & Laurson 2013, Midgley et al., 2006). Έχει αποδειχθεί πως ο χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$  κατά τη διαλειμματική άσκηση καθορίζεται από παράγοντες όπως η ένταση, η διάρκεια και ο αριθμός των προσπαθειών υψηλής έντασης, καθώς και από τον τύπο του διαλείματος (ενεργητικό ή παθητικό), την διάρκεια και την ένταση αυτού (Buchheit & Laurson 2013).

Ωστόσο, αν και υπάρχουν έρευνες που να συγκρίνουν την επίδραση της διάρκειας του διαλείματος (κυρίως ως αναλογία έργου-διαλείματος) στο χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_2max$ , αυτές έχουν επικεντρωθεί κυρίως σε επαναλήψεις υψηλής

έντασης που χαρακτηρίζονται από μικρή και μεσαία διάρκεια (20 s – 2 min) (Millet et al., 2003; Myrkos et al., 2020). Φαίνεται πως στις επαναλήψεις μικρής διάρκειας, η αναλογία έργου-διαλείμματος επηρεάζει τον χρόνο άσκησης σε υψηλές τιμές της  $VO_{2max}$ , όπου μικρότερο διάλειμμα επιφέρει αυξημένο χρόνο σε υψηλά ποσοστά της  $VO_{2max}$ . Αντιθέτως, όταν η διάρκεια των επαναλήψεων υψηλής έντασης είναι μεγαλύτερης διάρκειας ( $\geq 2$  min), ο χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_{2max}$  δεν επηρεάζεται από τη διάρκεια του διαλείμματος. Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξαν ο Myrkos et al. (2020), οι οποίοι έδειξαν πως η διάρκεια του διαλείμματος δεν φαίνεται να επιδρά στο χρόνο άσκησης με υψηλές τιμές της  $VO_{2max}$ , όταν οι επαναλήψεις της διαλειμματικής άσκησης είχαν μεγαλύτερη διάρκεια (2 min). Αντίστοιχα, ο Smilios et al. (2018) κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα, όσον αφορά τον χρόνο άσκησης με υψηλές τιμές της  $VO_{2max}$ . Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν διαλειμματική άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο που αποτελούνταν από 4 επαναλήψεις των 4 λεπτών (90% της MAT), με ενεργητική αποκατάσταση (35% της MAT) για 2, 3, ή 4 λεπτά. Ανεξαρτήτως του χρόνου αποκατάστασης, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο χρόνο άσκησης με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου (>80, 90 και 95% της  $VO_{2max}$ ), αλλά βρέθηκε αυξημένος χρόνος άσκησης με υψηλές τιμές καρδιακής συχνότητας (>80 και 90% της  $HR_{max}$ ) με το μικρότερο χρόνο διαλείμματος (2 min έναντι 4 min). Η παρούσα έρευνα έρχεται σε συμφωνία με το εύρημα αυτό, επαληθεύοντας πως ο συνολικός χρόνος άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $VO_{2max}$  δεν επηρεάζεται από τη διάρκεια του διαλείμματος, ενώ η καρδιακή συχνότητα δεν φτάνει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλές τιμές με την αύξηση του χρόνου του διαλείμματος, μεταξύ των επαναλήψεων κατά τη διαλειμματική άσκηση με επαναλήψεις υψηλής έντασης μεγάλης διάρκειας (4 min). Ωστόσο, η παρούσα μελέτη διευρύνει τη μελέτη των μηχανισμών που καθορίζουν τη μεταφορά αίματος και οξυγόνου στους ιστούς και δείχνει για πρώτη φορά ότι η διάρκεια του διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων επηρεάζει το χρόνο άσκησης με υψηλές τιμές όγκου παλμού ο οποίος είναι περισσότερος όταν αυξάνεται η διάρκεια του. Ο αυξημένος χρόνος σε υψηλές τιμές του  $SV_{max}$  και η τάση για μειωμένο χρόνο σε υψηλές τιμές της  $HR_{max}$  με το μεγαλύτερο διάλειμμα, αποδεικνύουν πως ενώ ο χρόνος άσκησης με υψηλή κατανάλωση οξυγόνου παρέμεινε σταθερός, η αλλαγή του χρόνου διαλείμματος (από 2 σε 4 min) ενεργοποίησε διαφορετικούς μηχανισμούς μεταφοράς και κατανομής του οξυγόνου στο σώμα, έχοντας ωστόσο



παρόμοιο αποτέλεσμα στην φυσιολογική επιβάρυνση (παρόμοιο χρόνο σε υψηλές τιμές της  $\dot{V}O_2\max$ ).

Αν και δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών διαλειμμάτων, εμφανίστηκαν ορισμένες τάσεις διαφοροποίησης βάσει του χρόνου του διαλείμματος μεταξύ των επαναλήψεων σε ορισμένες παραμέτρους που μετρήθηκαν στη μελέτη. Ένα μειονέκτημα της παρούσας μελέτης αποτέλεσε ο μικρός αριθμός των συμμετεχόντων που έλαβαν μέρος στην διαδικασία των μετρήσεων και περιόρισαν τη στατιστική ισχύ προκειμένου να εμφανιστούν σημαντικές μεταβολές στους εξεταζόμενους δείκτες. Τα αποτελέσματα έδειξαν πρωτίστως, πως το μεγαλύτερο διάλειμμα οδηγούσε σε αυξημένο χρόνο με υψηλή καρδιακή παροχή, όπως φαίνεται και από τον αυξημένο χρόνο άσκησης με καρδιακή παροχή μεγαλύτερη του 90% του μέγιστου ανάμεσα στα 2 και 4 λεπτά διάλειμμα, όπου εμφανίστηκε μια μικρή τάση με ένα μέτριο προς υψηλό ME ( $p=0,34$ ,  $ME=0,68$ ). Λόγω του ανωτέρω, φαίνεται πως ο οργανισμός επιδρά στους παράγοντες της μεταφοράς και διανομής του οξυγόνου στο σώμα, όταν ο χρόνος της αποκατάστασης αυξάνεται. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται και από την μεγάλη αύξηση που παρατηρήθηκε στον χρόνο άσκησης με όγκο παλμού μεγαλύτερου από 80% του μέγιστου, όπου εντοπίστηκε μεγαλύτερος χρόνος με υψηλό όγκο παλμού στο διάλειμμα 4 λεπτά σε σύγκριση με το διάλειμμα 2 λεπτά ( $ME= 1,28$ ), όπως και στο διάλειμμα 4 λεπτά συγκριτικά με 3 λεπτά ( $ME=1,21$ ). Αντίθετη πορεία ακολούθησε η καρδιακή συχνότητα, η οποία εμφάνισε μειωμένο χρόνο σε υψηλά ποσοστά κατά την άσκηση (μεγαλύτερη από 80 και 90% του μέγιστου), όταν το διάλειμμα αυξανόταν ( $ME\ 2\ \acute{\epsilon}\nuαντι\ 4\ λεπτών = -0,46$  και  $= -0,57$  για τιμές μεγαλύτερες από 80 και 90% του μέγιστου αντίστοιχα). Επειδή ωστόσο, η αύξηση του όγκου παλμού ήταν σημαντικά μεγαλύτερη και αντιστρόφως ανάλογη από την μείωση της καρδιακής συχνότητας, φαίνεται πως οι παράγοντες αυτοί λειτουργούν αντισταθμιστικά, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια μικρή αύξηση της καρδιακής παροχής με το μεγαλύτερο χρόνο διαλείμματος, δεδομένου πως η καρδιακή παροχή αποτελεί το γινόμενο της καρδιακής συχνότητας και του όγκου παλμού. Ενδιαφέρον είναι και το γεγονός, πως υπήρχε τάση για μειωμένο χρόνο άσκησης σε υψηλές τιμές της  $a-vO_2\text{diff}$  με το μεγαλύτερο διάλειμμα, το οποίο υποδηλώνει πως με μικρότερο χρόνο αποκατάστασης, διεγείρονται σε μεγαλύτερο βαθμό οι μηχανισμοί διάχυσης του οξυγόνου στους σκελετικούς μύες, καθώς και η επακόλουθη καύση του για παραγωγή ενέργειας στα μιτοχόνδρια των κυττάρων.

Στην παρούσα μελέτη η αλλαγή στην διάρκεια του διαλείμματος δεν επηρέασε τη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα. Ωστόσο, βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στο γαλακτικό όταν αυτό συγκρίθηκε πριν, μετά τη 2<sup>η</sup> και μετά την 4<sup>η</sup> επανάληψη, ανεξάρτητα από τον χρόνο διαλείμματος. Το εύρημα αυτό μπορεί να υποδεικνύει πως η ποσοστιαία συνεισφορά του αερόβιου και αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας δεν επηρεάζεται από την διάρκεια του διαλείμματος, όταν εκτελείται διαλειμματική άσκηση με επαναλήψεις μεγάλης διάρκειας. Στην έρευνα του Smilios et al. (2018) βρέθηκαν διαφορές μετά την 4<sup>η</sup> επανάληψη, όπου η συγκέντρωση του γαλακτικού ήταν σημαντικά μεγαλύτερη με τα 2 λεπτά διάλειμμα σε σύγκριση με τα 4 λεπτά. Η διαφορά μεταξύ των δύο μελετών μπορεί να οφείλεται στο μικρότερο αριθμό των συμμετεχόντων στην παρούσα μελέτη. Αντιθέτως, η αυξημένη υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης, έρχεται σε συμφωνία με τα ευρήματα του Smilios et al. (2018) οι οποίοι συμπέραναν πως η συνολική φυσιολογική επιβάρυνση που δέχεται το σώμα πιθανά είναι μεγαλύτερη με το μικρότερο διάλειμμα αποκατάστασης μεταξύ των διαστημάτων υψηλής έντασης.

Αν και τα ευρήματα της παρούσας μελέτης είναι σημαντικά, προτείνουμε να επαναληφθεί η συγκεκριμένη μελέτη συγκεντρώνοντας μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων, προκειμένου να μελετηθεί ακριβέστερα αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές και σε άλλες φυσιολογικές παραμέτρους βάσει της διάρκειας των διαστημάτων αποκατάστασης κατά την εκτέλεση αερόβιας διαλειμματικής άσκησης.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- α) Η διάρκεια του διαλείμματος δεν επηρεάζει το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της κατανάλωσης οξυγόνου.
- β) Η διάρκεια του διαλείμματος δεν επηρεάζει το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της καρδιακής παροχής και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς οξυγόνου.
- γ) Η διάρκεια του διαλείμματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά του μέγιστου όγκου παλμού, με το μεγαλύτερο διάλειμμα να οδηγεί σε αυξημένες τιμές όγκου παλμού, αλλά ταυτόχρονα σε μειωμένες τιμές καρδιακής συχνότητας.

Η παρούσα μελέτη δείχνει πως η διάρκεια του διαλείμματος επηρεάζει τους παράγοντες που καθορίζουν την μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει τον συνολικό χρόνο άσκησης σε υψηλά ποσοστά της  $\dot{V}O_2\max$ . Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται διαφορετικοί μηχανισμοί διατήρησης υψηλής καρδιακής παροχής, με την καρδιακή συχνότητα και τον όγκο παλμού να αλλάζουν σημαντικά, ανάλογα με την διάρκεια του διαλείμματος, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται παρόμοιες τιμές σε υψηλά ποσοστά της μέγιστης καρδιακής παροχής.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., & Joyner, M. J. (2013). VO<sub>2</sub>max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PLoS one*, 8(9), e73182.
2. Bassett, D.R. & Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84.
3. Billat, V.L. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle-and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Medicine*, 31(1), 13-31.
4. Billat, V.L. (2001). Interval Training for Performance: A Scientific and Empirical Practice: Special Recommendations for Middle-and Long-Distance Running. Part II: Anaerobic Interval Training. *Sports Medicine*, 31(2), 75-90.
5. Billat, V.L., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P. & Koralsztein, J.P. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *European Journal of Applied Physiology*, 81(3), 188- 196.
6. Brandon, L.J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine*, 19(4), 268-277.
7. Brooks, G.A., Fahey, T.D., Baldwin, K.M. (2004). *EXERCISE PHYSIOLOGY, Human Bioenergetics and Its Applications*. 4<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill Education.
8. Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 313–338.
9. Daussin, F. N., Zoll, J., Dufour, S. P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Geny, B., & Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 295(1), R264–R272.
10. Dempsey, J.A. (1986). JB Wolffe Memorial Lecture. Is the Lung Built for Exercise?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(2), 143-155.

11. Engel, F.A., Ackermann, A., Chtourou, H., & Sperlich, B. (2018). High-intensity interval training performed by young athletes: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 1012.
12. Joyner, M.J. & Coyle, E.F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35-44.
13. Κλεισούρας, Β. (2004). Εργοφυσιολογία 1. Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.
14. Kanstrup, I.L., & Ekblom, B.J.Ö.R.N. (1984). Blood volume and hemoglobin concentration as determinants of maximal aerobic power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(3), 256-262.
15. Laursen, P.B. & Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
16. Midgley, A.W. & McNaughton, L.R. (2006). Time at or near VO<sub>2</sub>max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO<sub>2</sub>max. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 1–14.
17. Midgley, A.W., McNaughton, L.R. & Wilkinson, M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?. *Sports Medicine*, 36(2), 117-132.
18. Millet, G. P., Candau, R., Fattori, P., Bignet, F., & Varray, A. (2003). VO<sub>2</sub> responses to different intermittent runs at velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Canadian journal of applied physiology*, 28(3), 410–423.
19. Mitchell, J.H., Sproule, B.J. & Chapman, C.B. (1958). The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *The Journal of Clinical Investigation*, 37(4), 538-547.
20. Myrkos, A., Smilios, I., Zafeiridis, A., Iliopoulos, S., Kokkinou, E. M., Douda, H., & Tokmakidis, S. P. (2020). 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), 2169–2175.
21. 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.

22. Powers, S. K., Lawler, J., Dempsey, J. A., Dodd, S., & Landry, G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO<sub>2</sub> max. *Journal of applied physiology*, 66(6), 2491–2495.
23. Saltin, B. & Strange, S.Ø.R.E.N. (1992). Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1), 30-37.
24. Smilios, I., Myrkos, A., Zafeiridis, A., Toubekis, A., Spassis, A., & Tokmakidis, S. P. (2018). The Effects of Recovery Duration During High-Intensity Interval Exercise on Time Spent at High Rates of Oxygen Consumption, Oxygen Kinetics, and Blood Lactate. *Journal of strength and conditioning research*, 32(8), 2183–2189.
25. Turnes, T., de Aguiar, R. A., Cruz, R. S., & Caputo, F. (2016). Interval training in the boundaries of severe domain: effects on aerobic parameters. *European journal of applied physiology*, 116(1), 161–169.
26. Wakefield, B. R., & Glaister, M. (2009). Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of VO<sub>2</sub>max during intermittent supramaximal exercise. *Journal of strength and conditioning research*, 23(9), 2548–2554.
27. Wenger, H. A., & Bell, G. J. (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports medicine*, 3, 346-356.