ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

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

Προσαρμογή στην κινητική της κατανάλωσης οξυγόνου και της οξυγόνωσης του μυός κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης μετά από την εφαρμογή βραχυπρόθεσμης διάρκειας αερόβιας προπόνησης

Ιωάννης Τζανετάκης [Α.Ε.Μ. 13001]

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

3ο Μέλος: Ελένη Δούδα, Καθηγήτρια 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

Adaptations in oxygen consumption and muscle oxygenation kinetics during interval exercise after the implementation of short-term aerobic training

Ioannis Tzanetakis [R.N. 13001]

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. - DUTH

Member 3: Helen Douda, Professor D.P.E.S.S. - DUTH

Komotini, 2023

Στους γονείς μου…

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης κ. Ηλία Σμήλιο, ο οποίος ήταν και ο κύριος επιβλέπων της εργασίας. Τον ευχαριστώ θερμά για τη συνεχή ασχολία του για τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης μελέτης, την προθυμία και την υπομονή του να διορθώσει τα όποια λάθη μου και να λύσει τις απορίες μου αλλά και για την κατανόηση, την υπομονή και τη γενικότερη καθοδήγηση του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ηλιόπουλο Στυλιανό του Εργαστηρίου Φυσικής Αγωγής και Άθλησης του Τ.Ε.Φ.Α.Α. του Δ.Π.Θ. για τη βοήθεια και τη συμπαράσταση κατά τη διεκπεραίωση της μελέτης. Οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην σύζυγό μου για την ηθική και ψυχολογική στήριξη που μου παρείχε αυτά τα ώριμα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τζανετάκης Ιωάννης: Προσαρμογές στην κινητική της κατανάλωσης οξυγόνου και της οξυγόνωσης του μυός κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης μετά από την εφαρμογή βραχυπρόθεσμης διάρκειας αερόβιας προπόνησης

(Με την επίβλεψη του κ. Ηλία Σμήλιου, Αναπληρωτή Καθηγητή)

Σκοπός της μελέτης ήταν να εξεταστούν οι προσαρμογές στην κινητική της κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2) και στην κινητική της οξυγόνωσης του μυός κατά την εκτέλεση αερόβιας διαλειμματικής άσκησης πριν και μετά από συστηματική προπόνηση με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Δώδεκα άτομα (ηλικίας: 22,8±3,6 χρόνων) προπονήθηκαν για 6 εβδομάδες, 3 φορές την εβδομάδα, με την διαλειμματική μέθοδο, εκτελώντας επαναλήψεις με ένταση στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας (ΜΑΤ), διάρκειας ίσης με το ¼ της διάρκειας του χρόνου αντοχής στο 90% της ΜΑΤ, και διάλειμμα ίσο με τα 2/3 του χρόνου άσκησης και τόσες επαναλήψεις μέχρι να δηλώσουν επίπεδο κόπωσης 17 στην 20βάθμια κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης. Η πρώτη και η τελευταία προπόνηση εκτελέστηκαν στην ίδια απόλυτη δρομική ταχύτητα (90% της αρχικής ΜΑΤ) και κατά τη διάρκεια τους καταγραφήκαν η κατανάλωση οξυγόνου και η οξυγόνωση του έξω πλατύ μυός. Συγκρίθηκαν η κινητική της VO_2 και της αποξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (HHb) μεταξύ της πρώτης και τελευταίας προπόνησης στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων (πρώτη, μεσαία και τελευταία επανάληψη) και στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων (πρώτη, μεσαία και τελευταία επανάληψη της πρώτης προπόνησης). Οι παράμετροι κινητικής που αναλύθηκαν ήταν η τιμή βάσης, η τελική τιμή των παραμέτρων, το εύρος αύξησης, η σταθερά του χρόνου αύξησης και ο χρόνος υστέρησης. Παρατηρήθηκε αύξηση ($p< 0,05$] της VO_2max, της ΜΑΤ και του αριθμού των επαναλήψεων που εκτελέστηκαν στην τελευταία προπόνηση μετά από την προπονητική περίοδο. Δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές ($p> 0,05$) στις παραμέτρους της κινητικής της VO_2 και της HHb στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων της πρώτης και τελευταίας προπόνησης, ενώ στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων μειώθηκε ($p< 0,05$) ο χρόνος υστέρησης της VO_2. Συμπεραίνεται πως η δυνατότητα εκτέλεσης μεγαλύτερου αριθμού επαναλήψεων σε πολύ υψηλής έντασης διαλειμματική αερόβια άσκηση οφείλεται συνδυαστικά στη

μεταβολή της μέγιστης αερόβιας ισχύος (VO_2max) και περιφερικών παραγόντων (κινητική VO_2) που καθορίζουν την κατανάλωση οξυγόνου.

Λέξεις κλειδιά: *κινητική οξυγόνωσης μυός, φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου, διαλειμματική άσκηση, κινητική οξυγόνου, πρόσληψη οξυγόνου,*

ABSTRACT

Tzanetakis Ioannis: Adaptations in oxygen consumption and muscle oxygenation kinetics during interval exercise after the implementation of short-term aerobic training

(Under the supervision of Ilias Smilios, Assistant Professor)

The aim of this study was to examine the adaptations in the kinetics of oxygen consumption (VO_2) and the kinetics of local muscle oxygenation during aerobic interval training before and after systematic training with this method. Twelve subjects (age: 22.8±3.6 years old) were trained for 6 weeks, 3 times a week, with the interval training method performing repetitions with intensity at 90% of maximal aerobic speed (MAV), duration equal to ¼ of the duration of the time to exhaustion at 90% of MAV, rest interval equal to 2/3 of the exercise time and as many repetitions until they reported a fatigue level of 17 on a 20-point scale of subjective perception of fatigue. The first and last workout were performed at the same absolute running speed (90% of the initial MAT) and during them oxygen consumption and oxygenation of the vastus lateralis muscle were recorded. VO_2 and deoxygenated hemoglobin (HHb) kinetics were compared between the two workouts at the same relative number of repetitions (first, middle and last repetition) and at the same absolute number of repetitions (first, middle and last repetition of the first workout). The kinetics parameters analyzed were baseline value, final value, amplitude of increase, time constant of increase and delay time. There was an increase ($p< 0.05$] in VO_2max, MAV and the number of repetitions performed in the last training session after the training period. No changes ($p> 0.05$) were observed in the VO_2 and HHb kinetics at the same relative number of repetitions of the first and the last training session, while at the same absolute number of repetitions, VO_2 time delay values decreased ($p< 0.05$). It is concluded that the ability to perform a greater number of repetitions in high-intensity intermittent aerobic exercise is due to a combination of changes in maximal aerobic power (VO_2max) and in peripheral factors (VO_2 kinetics) that determine oxygen consumption.

Key words: *high intensity interval training, oxygen kinetics, muscle oxygenation kinetics, near infrared spectroscopy*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 5

ABSTRACT 7

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 8

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ..... 9

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... 10

1.1. Σκοπός 14

1.2. Ερευνητικές υποθέσεις 15

1.3. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας 15

1.4. Ορισμοί και συντομογραφίες 15

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 16

2.1. Δείγμα 16

2.2. Πειραματικός σχεδιασμός 16

2.3. Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης 17

2.4. Στατιστική ανάλυση 20

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 21

3.1. Αριθμός επαναλήψεων πρώτης και τελευταίας προπόνησης 21

3.2. Μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου και μέγιστη αερόβια ταχύτητα 21

3.3. Κινητική της κατανάλωσης του οξυγόνου 21

3.4. Κινητική της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) 25

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ..... 29

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 33

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 34

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής του οξυγόνου κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων …… 23

Πίνακας 2. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής του οξυγόνου κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων …….. 24

Πίνακας 3. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής της αποξυγονομένης αιμοσφαιρίνης κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων …….. 26

Πίνακας 4. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής της αποξυγονομένης αιμοσφαιρίνης κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων …….. 27

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κινητική της πρόσληψης οξυγόνου είναι καθοριστικός και προσδιοριστικός παράγοντας της προσαρμογής του οργανισμού κατά την έναρξη της άσκησης καθώς και στις εναλλαγές της έντασης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της (Cerretelli & diPrampero, 1987; diPrampero, 1986). Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που προσδιορίζουν την κινητική της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου ($ΚινO_2$) με την έναρξη της άσκησης, πιθανά εδράζονται στους μύες και πιο συγκεκριμένα στην αλληλεπίδραση μεταξύ της υδρόλυσης της φωσφοκρεατίνης (PCr) και της γλυκόλυσης με σχηματισμό γαλακτικού, οι οποίες εμποδίζουν μια γρηγορότερη ενεργοποίηση της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης (Grassi, 2014). Η δυνατότητα μέτρησης της κινητικής του οξυγόνου σε μέτριες έως υπομέγιστες εντάσεις και της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2max), που δηλώνει το μέγιστο επίπεδο έντασης του αερόβιου μεταβολισμού, επιτρέπει μια πληρέστερη αξιολόγηση του οξειδωτικού μεταβολισμού. Η VO_2max περιορίζεται κυρίως από την ικανότητα του κυκλοφορικού συστήματος να μεταφέρει και να παραδίδει οξυγόνο στους ασκούμενους μύες (Bassett & Howley, 2000), ενώ η ανάλυση της κινητικής του οξυγόνου δίνει μια πιο εξειδικευμένη αξιολόγηση που σχετίζεται με το μεταβολισμό στους ασκούμενους μύες (Poole & Jones, 2012).

Η κινητική του οξυγόνου είναι η μεταβολή πρόσληψής του σε σχέση με τον χρόνο. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγησή της περιγράφονται εντός των τριών φάσεων. Η πρώτη φάση, είναι η καρδιοδυναμική φάση στην οποία παρατηρείται μια απότομη αύξηση της πρόσληψης του οξυγόνου με την έναρξη της άσκησης. Σχετίζεται με την αντανακλαστική, άμεση αύξηση της καρδιακής παροχής και διαρκεί τόσο χρόνο όσος είναι και ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά του όγκου αίματος από τους μύες ως τον πνεύμονα. Κατά τη δεύτερη φάση, που δηλώνει την εκθετική περίοδο αύξησης στην πρόσληψη οξυγόνου μετά από τη Φάση Ι με διάρκεια μέχρι την επίτευξη κατάστασης ισορροπίας, πριν ξεκινήσει η φάση ΙΙΙ. Όσον αφορά τη σταθερά αυξανόμενη πρόσληψη οξυγόνου περιγράφεται με τη σταθερά χρόνου (τ) μιας μονοεκθετικής καμπύλης. Σε σταθερή υπομέγιστη προσπάθεια, εκφράζει τον χρόνο που χρειάζεται το καρδιαγγειακό σύστημα τα μεταφέρει το οξυγόνο στους μύες ώστε εκείνοι να το χρησιμοποιήσουν στις νέες αυξημένες απαιτήσεις του έργου. Μικρότερες τιμές της σταθεράς του χρόνου δηλώνει γρηγορότερη μεταφορά του οξυγόνου στους μύες και αποτελεσματικότερη

χρήση του από αυτούς. Η φάση ΙΙΙ είναι η κατάσταση ισορροπίας, με την ενεργειακή δαπάνη να ικανοποιείται με το προσλαμβανόμενο οξυγόνο του οποίου οι τιμές σταθεροποιούνται περίπου μετά το 3^{ο} λεπτό άσκησης σε μέτριας έντασης άσκηση. Ο μέσος χρόνος απόκρισης είναι η σταθερά χρόνου που εφαρμόζεται σε όλη τη διάρκεια του σταθερού υπομέγιστου έργου. Στην τρίτη φάση, σε υψηλής έντασης άσκηση, δεν παρατηρείται σταθεροποίηση της κατανάλωσης O_2 μετά το 3^{ο} λεπτό αλλά μικρή αύξησή του και σταθεροποίησή του σε ένα υψηλότερο επίπεδο αρκετά λεπτά μετά υποδηλώνοντας μια υψηλότερη, από την αναμενόμενη, ενεργειακή δαπάνη. Σε πολύ υψηλής έντασης άσκηση, στην τρίτη φάση παρατηρείται μια σταθερά αυξανόμενη πρόσληψη O_2 (βραδεία συνιστώσα της κινητικής του O_2) μετά τα 3 πρώτα λεπτά της άσκησης. Εκτός από την σταθερά χρόνου, άλλοι παράμετροι αξιολόγησης της κινητικής του O_2 που χρησιμοποιούνται είναι το εύρος αύξησης των τιμών του από την έναρξη της μεταβολής της έντασης σε υψηλότερα επίπεδα ως την σταθεροποίησή του σε αυτά και ο χρόνος υστέρησης που αφορά τον χρόνο από την έναρξη της μεταβολής - αύξησης της μηχανικής επιβάρυνσης ως την χρονική στιγμή έναρξης της αύξησης του $O_{2.}$κατά τη δεύτερη φάση (Ροδίτης, 2008; Jones & Burnley, 2009).

Η βελτίωση της κινητικής οξυγόνου φαίνεται να σχετίζεται με την ενζυμική δραστηριότητα καθώς παράλληλα με την αύξηση της μέγιστης δραστηριότητας των μιτοχονδριακών αερόβιων ενζύμων επέρχεται και γρηγορότερη κινητική του οξυγόνου μετά από αερόβια διαλειμματική προπόνηση (Krustrup et al., 2004). Η μακροχρόνια αερόβια άσκηση δείχνει να μειώνει τη σταθερά χρόνου και να περιορίζει τη βραδεία συνιστώσα της κινητικής του οξυγόνου (Caputo & Benadai, 2004 ; Xu & Rhodes, 2012).

Ο όρος διαλειμματική άσκηση υψηλής έντασης περιγράφει τη φυσική άσκηση, η οποία χαρακτηρίζεται από σύντομες περιόδους έντονου σωματικού έργου με περιόδους ανάπαυσης ή χαμηλής έντασης άσκηση να παρεμβάλλεται ανάμεσα σε αυτές. Οι Duffield et al. (2006) εξέτασαν τις φυσιολογικές προσαρμογές μιας προπονητικής παρέμβασης που περιελάβανε διαλειμματική προπόνηση σε ποδήλατο με επαναλαμβανόμενες προσπάθειες 2 λεπτών υψηλής έντασης άσκηση με ενδιάμεση ενεργητική αποκατάσταση 1 λεπτού. Η προπονητική συχνότητα ήταν 3 φορές την εβδομάδα και η συνολική διάρκεια της παρέμβασης 8 εβδομάδες. Προκλήθηκε σημαντική βελτίωση στη VO_2max, στη μέγιστη αερόβια ισχύ, στο εύρος αύξησης του οξυγόνου κατά την πρώτη φάση της κινητικής του, ενώ δεν υπήρξαν διαφορές στη σταθερά του χρόνου σε καμία από τις δύο φάσεις και στο

εύρος αύξησης της βραδείας συνιστώσας της κινητικής του οξυγόνου. Επίσης, μειώθηκαν από κοινού το συσσωρευμένο έλλειμμα οξυγόνου και η συνεισφορά του αναερόβιο μηχανισμού. Οι Carter et al. (2000) εκπόνησαν μια μελέτη 6 εβδομάδων, κατά την οποία οι ασκούμενοί προπονήθηκαν με συνεχόμενη και διαλειμματική προπόνηση αντοχής 2 - 5 φορές την εβδομάδα, για χρονική διάρκεια της κάθε προπονητικής συνεδρίας από 20 – 30 λεπτά. Παρατηρήθηκε ότι ενώ η συνεχόμενη προπόνηση αντοχής δεν είχε στατιστικά σημαντική επίδραση στην κινητική του οξυγόνου, η διαλειμματική προπόνηση προκάλεσε σημαντική μείωση στο εύρος αύξησης της βραδείας συνιστώσας. Η σταθερά του χρόνου και το εύρος αύξησης της ταχείας συνιστώσας δεν επηρεάσθηκαν σημαντικά από την προπόνηση. Σε άλλη μελέτη (Berger et al., 2006) η διαλειμματική προπόνηση επέφερε μείωση της σταθεράς του χρόνου στη $2^{η}$ φάση της κινητικής του O_2, τόσο σε μέτριας όσο και σε υψηλής έντασης έργου, καθώς και μείωση του εύρους αύξησης της βραδείας συνιστώσας στην $3^{η}$ φάση της κινητικής του O_2. Η διάρκεια της συγκεκριμένης προπονητικής παρέμβασης ήταν 6 εβδομάδες και αφορούσε απροπόνητα άτομα. Επίσης, έχει παρατηρηθεί μείωση της σταθεράς χρόνου του O_2 κατά 20% μόλις μετά από δύο προπονητικές συνεδρίες και κατά 40% μετά από οκτώ (McKay et al., 2009).

Η φασματοσκοπία εγγύς υπέρυθρου (Near Infrared Spectroscopy -NIRS) είναι μία μη επεμβατική μέθοδος, δια μέσου της οποίας μπορούμε να δούμε τη σχέση μεταξύ της διαθεσιμότητας οξυγόνου στους ασκούμενους σκελετικούς μύες και τη χρήση του από αυτούς (Quaresima et al. 2003). Σε αντίθεση με την ακτινοβολία στο φάσμα του ορατού φωτός με το μικρότερο μήκος κύματος, το οποίο δεν έχει μεγάλη ικανότητα διείσδυσης στους ιστούς, στο φάσμα του εγγύς υπέρυθρου υπάρχει η δυνατότητα μεγαλύτερης διείσδυσης και απορρόφησης από τα χρωμοφόρα των σκελετικών μυών, δηλαδή τη μυοσφαιρίνη, την αιμοσφαιρίνη και το κυτόχρωμα οξειδάση. Ο πυρήνας σιδήρου, ο οποίος εμπεριέχεται τόσο στην αιμοσφαιρίνη όσο και στην μυοσφαιρίνη, διαφοροποιείται στην απορρόφηση φωτός ανάλογα με το αν έχει δεσμευμένο οξυγόνο ή όχι. Αναφορικά με το κυτόχρωμα οξειδάση, επειδή η συγκέντρωση του στους μύες των θηλαστικών κυμαίνεται περί του 5%, η κύρια πηγή σήματος NIRS είναι η αιμοσφαιρίνη και μυοσφαιρίνη (Balaban, Mootha & Arai, 1996; Davis & Barstow, 2013). Η χρήση της μεθόδου NIRS δίνει στοιχεία για τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο, τον όγκο αυτής, την παράδοσή του οξυγόνου στους μύες και συχνά ως υποκατάστατο μέτρησης του αερόβιου μεταβολισμού αυτών. Οι παράμετροι που μετρούνται και αξιολογούνται με την

τεχνική NIRS είναι η οξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (O_2Hb) και η αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη (HHb), που εκφράζουν τη διαθεσιμότητα και την αποδέσμευση του οξυγόνου, αντίστοιχα. Ο κορεσμός του O_2 στους μύες αντιπροσωπεύει την δυναμική ισορροπία ανάμεσα στην παροχή και κατανάλωσή του στα μικρά αγγεία, όπως τα τριχοειδή, τα αρτηρίδια και τα φλεβίδια (Ferrari et al., 2004).

Όπως αναφέρουν οι Turner et al. (2006), σε μια μελέτη όπου εξετάστηκαν διαφορετικά πρωτόκολλα διαλειμματικής ποδηλατικής προσπάθειας, η αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη αυξήθηκε προοδευτικά κατά τη διάρκεια της φάσης του ποδηλατικού έργου και έφτασε στην κορύφωση της μερικά δευτερόλεπτα μετά την έναρξη της ακόλουθης φάσης της παθητικής αποκατάστασης. Στη συνέχεια, μειώθηκε μέχρι του σημείου που παίρνει την χαμηλότερη τιμή της μερικά δευτερόλεπτα μετά την έναρξη της φάσης του ποδηλατικού έργου. Επίσης, επισημάνθηκε ότι η διακύμανση μεταξύ των εναλλαγών έργου και παθητικής αποκατάστασης στην κατανάλωση οξυγόνου (VO_2) παρουσίασε όμοια ποιοτικά χαρακτηριστικά με τη διακύμανση της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, αν και με διακριτά μεγαλύτερη χρονική καθυστέρηση. Αυτό αποδίδεται στην αγγειακή καθυστέρηση από τον μυ στον πνεύμονα. Η δε αύξηση που παρατηρήθηκε στην συνολική αιμοσφαιρίνη κατά τη διάρκεια της φάσης παθητικής αποκατάστασης σε κάθε επανάληψη, είναι υποδηλωτική της μετά-ασκησιογενούς υπεραιμίας.

Όσον αφορά μελέτες μεγαλύτερης διάρκειας (>2 εβδομάδες) η απόκριση - προσαρμογή του οργανισμού στην προπόνηση έντονης διαλειμματικής άσκησης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και στο χρόνο ως την εξάντληση σε προκαθορισμένο, μέγιστο ασκησιογενές φορτίο. Η αναπνευστική ικανότητα των σκελετικών μυών αυξάνεται πιθανά εξ αιτίας της επέκτασης του δικτύου των μιτοχονδρίων, και της ικανότητας της μιτοχονδριακής βιογέννεσης (αύξηση του μεγέθους και πιθανά του αριθμού των μιτοχονδρίων) όπως αυτό εκτιμάται από την αυξημένη δραστηριότητα του κυτόχρωμα οξειδάση. Παρατηρείται αύξηση της αποξυγόνωσης των σκελετικών μυών, ενώ ταυτόχρονα η μέγιστη καρδιακή παροχή, η ολική αιμοσφαιρίνη, ο όγκος πλάσματος, ο συνολικός όγκος αίματος και οι σχετικές με την αντίσταση στην περιφερική κόπωση μετρήσεις παραμένουν αμετάβλητες (Jacobs et al., 2013). Οι McKay et al. (2009) δεν παρατήρησαν αλλαγές στη σταθερά της κινητικής της HHb κατά το χρονικό διάστημα των 19 ημερών που χρειάστηκε για να περατωθούν οι οκτώ προπονήσεις που

υπήρχαν στον σχεδιασμό της μελέτης. Τόσο με την διαλειμματική υψηλής έντασης, όσο και με την συνεχόμενη μέτριας έντασης προπόνηση.

Παρ' ότι υπάρχουν έρευνες που έχουν εξετάσει τις προσαρμογές στην κινητική της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου κατά την διάρκεια της άσκησης, όπως αυτή μετριέται σε κεντρικό επίπεδο με την ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων, είναι χρήσιμο να μελετώνται όσο το δυνατόν περισσότερες και διαφορετικές περιπτώσεις προπονητικών παρεμβάσεων. Ειδικότερο ενδιαφέρον έχουν οι αερόβιες διαλειμματικές προπονήσεις πολύ υψηλής έντασης καθώς παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αυξημένη ολική κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης και στην ταχύτερη ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων. Όσο αυξάνεται δηλαδή το ερέθισμα της αερόβιας μορφής άσκησης τόσο αυξάνονται και οι απαιτήσεις στην κατανάλωση οξυγόνου και της καλύτερης ανταλλαγής των αναπνευστικών αερίων. Επιπλέον αυξάνεται η απαίτηση πρόσληψης οξυγόνου από τους μύες. Σε αντίθεση με την κινητική των πνευμονικών αερίων, δεν υπάρχουν μελέτες που να έχουν εξετάσει τις προσαρμογές στην κινητική του οξυγόνου στο περιφερικό επίπεδο των εργαζόμενων μυών μετά από την εκτέλεση αερόβιας διαλειμματικής άσκησης πολύ υψηλής έντασης. Θα ήταν χρήσιμο λοιπόν να εξεταστεί η κινητική των πνευμονικών αερίων στις ίδιες απόλυτες εντάσεις και τόσο στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων όσο και στον ίδιο σχετικό αριθμό πριν και μετά από μια προπονητική περίοδο. Η βελτίωση της κινητική των πνευμονικών αερίων δηλώνει καλύτερη μεταφορά οξυγόνου προς τους μύες κινητικής με στόχο την καλύτερη τροφοδοσία τους και η βελτίωση της κινητικής του οξυγόνου σε επίπεδο μυϊκού ιστού καλύτερη χρήση του έτσι ώστε να ανταπεξέλθει στο μηχανικό έργο.

1.1. Σκοπός

Σκοπός της έρευνας ήταν είναι να εξετάσει τις προσαρμογές στην κινητική της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου, μετρημένη σε κεντρικό επίπεδο στην ανταλλαγή αερίων στους πνεύμονες, και στην κινητική της οξυγόνωσης του μυός κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης πριν και μετά από συστηματική προπόνηση με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Εξετάστηκε αν θα μεταβληθούν παράμετροι της κινητικής της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου ($ΚινO_2$) και της κινητικής της τοπικής αποδέσμευσης οξυγόνου στο μυ, με την ανάλυση της κινητικής της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (ΚινHHb), κατά την εκτέλεση μιας διαλειμματικής προπονητικής μονάδας ίδιου απόλυτου ή σχετικού

αριθμού επαναλήψεων, με την ίδια μηχανική επιβάρυνση, μετά από την πάροδο 6 εβδομάδων προπόνησης.

1.2. Ερευνητικές υποθέσεις

Η προπονητική παρέμβαση των 6 εβδομάδων με τη διαλειμματική μέθοδο θα επιφέρει βελτίωση στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και στη μέγιστη αερόβια ταχύτητα ενώ θα υπάρξει βελτίωση και στις παραμέτρους της κινητική της πρόσληψης οξυγόνου και της HHb του έξω πλατύ μυ.

1.3. Οριοθετήσεις και περιορισμοί

Οι οριοθετήσεις της παρούσας έρευνας αναφέρονται παρακάτω:

- Το δείγμα αποτελούν άτομα νεαρής ηλικίας 18-30 ετών (24 ± 8,45).
- Το δείγμα γυμνάζονταν με αερόβια δρομική προπόνηση τους τελευταίους 6 μήνες.
- Το διάλειμμα μεταξύ των επαναλήψεων είναι παθητικό.
- Το πέρας της προπόνησης ορίζεται, όταν το υποκειμενικό αίσθημα κόπωσης αγγίζει τον αριθμό 17 στην αντίστοιχη εικοσαβάθμια κλίμακα.

1.4. Ορισμοί και συντομογραφίες

- NIRS: Φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (Near infrared spectroscopy)
- HHb: Αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη
- VO_2: Κατανάλωση οξυγόνου
- VO_2max: Μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου
- VO_2p: Πνευμονική πρόσληψη οξυγόνου
- ΕΥΑ: Εύρος αύξησης
- ΣΧΑ: Σταθερά χρόνου αύξησης
- ΧΥ: Χρονική υστέρηση
- ΜΑΤ: Μέγιστη αερόβια ταχύτητα
- ΥΑΚ: Υποκειμενική αντίληψη κόπωσης
- ΚινO_2 : Κινητικής της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου
- ΚινHHb : Κινητική της από-οξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1. Δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν 8 υγιή άτομα (4 άνδρες, 4 γυναίκες) ηλικίας 24 ± 8 έτη, με VO_2max 57,6 ± 7,4 ml/kg/min και μέγιστη αερόβια ταχύτητα (ΜΑΤ) 14,68 ± 1,7 km/h. Προϋπόθεση ήταν οι συμμετέχοντες να γυμνάζονται με αερόβια δρομική προπόνηση τους τελευταίους 3 μήνες κατ' ελάχιστον 2 φορές την εβδομάδα.

2.2. Πειραματικός σχεδιασμός

Οι δοκιμαζόμενοι υποβλήθηκαν στην έναρξη και το πέρας της παρεμβατικής προπονητικής προσέγγισης σε διαβαθμισμένη, προοδευτικά αυξανόμενης έντασης δρομική δοκιμασία για τον προσδιορισμό της VO_2max και της ΜΑΤ. Επίσης, εκτελέστηκε δρομική δοκιμασία στο 90% της αρχικής ΜΑΤ ως την εξάντληση, για την εξεύρεση του χρόνου αντοχής σε αυτό το επίπεδο έντασης και να διαμορφωθεί το προπονητικό πρόγραμμα.

Οι ασκούμενοι προπονήθηκαν για 6 εβδομάδες και η προπονητική παρέμβαση αφορούσε δρομική διαλειμματική προπόνηση, κατά την οποία η προσπάθεια εκτελούνταν στο 90% της ΜΑΤ και για διάρκεια ίση με το ¼ της διάρκειας του χρόνου αντοχής στο 90% της ΜΑΤ. Το διάλειμμα παθητικής αποκατάστασης ανάμεσα στις προσπάθειας ήταν ίσο με τα 2/3 του χρόνου άσκησης. Οι ασκούμενοι εκτελούσαν σε κάθε προπόνηση τόσες επαναλήψεις μέχρι να δηλώσουν επίπεδο κόπωσης 17 σε μια 20βάθμια κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης. Η εβδομαδιαία συχνότητα των προπονητικών συνεδριών ήταν τρεις.

Η πρώτη και η τελευταία προπόνηση εκτελέστηκαν στην ίδια απόλυτη δρομική ταχύτητα (90% της αρχικής ΜΑΤ) και κατά τη διάρκεια τους καταγραφήκαν η κατανάλωση οξυγόνου και η οξυγόνωση του έξω πλατύ μυός σε όλες τις επαναλήψεις. Επειδή λόγω των προσαρμογών από την προπόνηση οι ασκούμενοι εκτέλεσαν περισσότερες επαναλήψεις στην τελευταία προπόνηση, έγινε σύγκριση της κινητική της VO_2 και της αποξυγονομένης αιμοσφαιρίνης (HHb) μεταξύ των δύο προπονήσεων με δύο τρόπους: α) στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων, στην πρώτη, τη μεσαία και την τελευταία δρομική επανάληψη των δύο προπονήσεων και β) στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων, στην πρώτη, τη μεσαία και την τελευταία επανάληψη της πρώτης

προπόνησης και στον αντίστοιχο αριθμό επανάληψης στην τελευταία προπόνηση. Οι παράμετροι κινητικής που αναλύθηκαν ήταν η τιμή βάσης, η τελική τιμή των παραμέτρων, το εύρος αύξησης, η σταθερά του χρόνου αύξησης και ο χρόνος υστέρησης.

2.3. Περιγραφή μετρήσεων και όργανα μέτρησης

2.3.1. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2max) και μέγιστη αερόβια ταχύτητα (ΜΑΤ)

Πραγματοποιήθηκε μέτρηση στον εργοδιάδρομο για να προσδιοριστεί η VO_2max και η ΜΑΤ. Η κλίση του διαδρόμου ήταν σταθερά στο 1% για την εξουδετέρωση της αντίστασης του αέρα σε τρέξιμο εκτός εργαστηριακού περιβάλλοντος (Jones & Doust, 1996). Η αρχική ταχύτητα για τη μέτρηση ορίστηκε στα 8 km/h και η ταχύτητα αυξανόταν κατά 1,5 km/h κάθε 3 λεπτά έως την εξάντληση του δοκιμαζόμενου. Η πρόσληψη οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα καταγράφονταν σε όλη τη διάρκεια των δοκιμασιών. Η επίτευξη της VO_2max θεωρήθηκε επιτυχής όταν επιτεύχθηκαν τουλάχιστον τρία από τα παρακάτω κριτήρια: 1) ορατή εξάντληση του δοκιμαζόμενου, 2) μέγιστη καρδιακή συχνότητα υψηλότερη από το 90% της προβλεπόμενης μέγιστης καρδιακής συχνότητας με βάση την ηλικία (220 – ηλικία), 3) λόγος ανταλλαγής αναπνευστικών αερίων >1,10 και 4) αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου <2 $ml^{-1} \bullet kg^{-1} \bullet min^{-1}$ παρά την αύξηση της δρομικής ταχύτητας. Η ΜΑΤ υπολογίστηκε με βάση τον παρακάτω τύπο:

ΜΑΤ= Ταχύτητα στο τελευταίο ολοκληρωμένο στάδιο + (δευτερόλεπτα τρεξίματος στο τελευταίο στάδιο / 180)

2.3.2. Μεταβολή της οξυγόνωσης του μυός

Κατά τη διάρκεια της $1^{ης}$ και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης, γινόταν καταγραφή με την μέθοδο του NIRS στον έξω πλατύ του δεξιού μηρού της μεταβολής στην απορρόφηση του εγγύς υπερύθρου φάσματος ακτινοβολίας. Αυτές οι μετρήσεις αφορούσαν τις μεταβολές στην ολική, οξυγονωμένη και αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και στην παρούσα μελέτη αναλύθηκαν τα δεδομένα της αποξυγονομένης αιμοσφαιρίνης. Στον έξω πλατύ του δεξιού μηρού κάθε ασκούμενου του δείγματος τοποθετήθηκε ζευγάρι καναλιών οπτικών ινών εγγύς υπερύθρου φάσματος ακτινοβολίας. Η προαναφερθείσα διάταξη ήταν σταθεροποιημένη σε ειδική πλαστική υποδοχή, η οποία με την σειρά της

προσαρμοζόταν στην επιφάνεια του δέρματος πάνω από τον υπό εξέταση μυ. Διαφανής υποαλλεργική αυτοκόλλητη ταινία χρησιμοποιήθηκε για την σταθεροποίηση της πλαστική υποδοχής και των οπτικών ινών, καθώς και κοινός επίδεσμος περίδεσης για τον βέλτιστο αποκλεισμό του εξωτερικού φωτός. Το κέντρο της απόστασης των οπτικών ινών τοποθετήθηκε στο 1/3 της απόστασης από την πρόσθια λαγόνια άκανθα ως το μέσο της εξωτερικής πλευράς της επιγονατίδας. Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι προτάσεις του κατασκευαστή της συσκευής NIRS που χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη ποιότητα σήματος (5%-7%), η απόσταση των οπτικών μυών ήταν 30-40 mm ανάλογα με το πάχος της δερματοπτυχής του έξω πλατύ του κάθε ασκούμενου. Το πάχος της δερματοπτυχής μετρήθηκε με δερματοπτυχόμετρο στο σημείο τοποθέτησης των οπτικών ινών της συσκευής NIRS σε κάθε ασκούμενο. Χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη μορφή του νόμου Beer-Lambert με τη χρήση της μεταβολής, ως προς το χρόνο, της οπτικής πυκνότητας συνεχούς εκπεμπόμενου κύματος υπέρυθρου φωτός σε μήκη 760 και 835 mm για τον υπολογισμό της μικρογραμμομοριακής μεταβολής στον ιστό της HHb. Η καταγραφή των δεδομένων από το σύστημα NIRS (Oxymon III) γίνονταν με συχνότητα δειγματοληψίας 50 Hz και μεταφέρονταν σε υπολογιστή με ειδικό λογισμικό (Oxysoft 2.1.6). Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές διαστημάτων 1 sec.

2.3.3. Ανάλυση της κινητικής της κατανάλωσης οξυγόνου και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των επαναλήψεων στην πρώτη και τελευταία προπόνηση γίνονταν συνεχής καταγραφή της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου ανά αναπνοή στο επίπεδο πνευμόνων. Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν στην κάθε επανάληψη, αρχικά εξετάστηκαν ώστε να εξαιρεθούν από την ανάλυση τιμές που απείχαν περισσότερο από 3 μονάδες τυπικής απόκλισης από τη μέση τιμή των τεσσάρων προηγούμενων τιμών και στη συνέχεια με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής μετατράπηκαν σε τιμές ανά δευτερόλεπτο. Για να αποφευχθεί η επίδραση της καρδιοδυναμικής φάσης (φάση I) στις τιμές των παραμέτρων της κινητικής του οξυγόνου, αφαιρέθηκαν από την ανάλυση οι τιμές των πρώτων 20 sec. Κατόπιν, υπολογίστηκαν οι παράμετροι της κινητικής του οξυγόνου με μοντελοποίηση της κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων βάσει της εξίσωσης:

$$VO_2\ (t) = VO_2\ \text{βάσης} + \text{ΕΥΑ} * (1\text{-}e^{-(t\text{-}\text{ΧΥ}) / \text{ΣΧΑ}})$$

Όπου, VO_2 βάσης η κατανάλωση οξυγόνου τα τελευταία 20 sec πριν την έναρξη της άσκησης, ΕΥΑ το εύρος αύξησης, ΧΥ ο χρόνος υστέρησης (η χρονική διάρκεια από την έναρξη της άσκησης ή από μία σταθερή κατάσταση έως την έναρξη της εκθετικής αύξησης της κατανάλωσης οξυγόνου) και ΣΧΑ η σταθερά χρόνου (ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η κατανάλωση οξυγόνου το 63% της τελικής τιμής για την αντίστοιχη φάση) της φάσης αύξησης της κατανάλωσης οξυγόνου.

Για την ανάλυση της κινητικής της HHb έγινε εξαγωγή των τιμών ανά δευτερόλεπτο. Λόγω του φαινομένου της μυϊκής αντλίας κατά την έναρξη μιας σωματικής προσπάθειας, οι τιμές της HHb παρουσιάζουν αρχικά μια μείωση και στη συνέχεια απότομη αύξηση. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη χρονική στιγμή από την οποία άρχιζε η αύξηση της HHb που προσδιορίστηκε σε κάθε μέτρηση με οπτική παρατήρηση. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της κινητικής της HHb εφαρμόστηκε το ίδιο μαθηματικό μοντέλο με την κινητική της κατανάλωσης οξυγόνου.

2.3.4. Όργανα μέτρησης

Αναλυτής αερίων. Για τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου χρησιμοποιήθηκε το εργοσπιρόμετρο Sensor Medics Vmax 229. Οι αναλυτές αερίων βαθμονομούνταν πριν από κάθε δοκιμασία με τη χρήση αερίων γνωστής ποσοστιαίας συγκέντρωσης O_2 και CO_2 με βάση της οδηγίες του κατασκευαστή. Επίσης, πριν από κάθε δοκιμασία γίνονταν βαθμονόμηση του ροόμετρου του εργοσπιρόμετρου με τη χρήση σύριγγας όγκου 3 L με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Σύστημα τηλεμετρικής καταγραφής της καρδιακής συχνότητας. Η καταγραφή της καρδιακής συχνότητας έγινε τηλεμετρικά με το σύστημα Polar RS400 (Polar Electro, Finland).

Δερματοπτυχόμετρο: Για να προσδιοριστεί το πάχος της δερματοπτυχής στο σημείο εφαρμογής των οπτικών ινών του NIRS χρησιμοποιήθηκε δερματοπτυχόμετρο Hardened Ltd.

Εργοδιάδρομος: Οι δοκιμασίες εκτελέστηκαν στο εργοδιάδρομο H/P Cosmos pulsar 3p.

Σύστημα εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS). Για την μέτρηση της μεταβολής της οξυγόνωσης του έξω πλατύ μυ χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα Oximon MKIII (Artinis, Netherland).

2.4. Στατιστική ανάλυση

Ανεξάρτητες μεταβλητές. Ανεξάρτητες μεταβλητές στην παρούσα μελέτη αποτέλεσαν η προπόνηση (πρώτη και τελευταία προπόνηση) και ο αριθμός των επαναλήψεων [πρώτη, μεσαία και τελευταία επανάληψη (σχετικός αριθμός επαναλήψεων) καθώς και πρώτη, μεσαία, τελευταία και η αντίστοιχη της μεσαίας και τελευταίας επανάληψης κατά την πρώτη προπόνηση στην τελευταία προπόνηση απόλυτος αριθμός επαναλήψεων)].

Εξαρτημένες μεταβλητές. Εξαρτημένες μεταβλητές στην παρούσα μελέτη αποτέλεσαν η τιμή βάσης, η τελική τιμή των παραμέτρων, το εύρος αύξησης, η σταθερά του χρόνου αύξησης και ο χρόνος υστέρησης της κινητικής της μεταβολής της VO_2 και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) στον έξω πλατύ μυ.

Ανάλυση των δεδομένων. Για τη διερεύνηση της μεταβολής της της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας και του αριθμού των επαναλήψεων που εκτελέστηκαν στην πρώτη και την τελευταία διαλειμματική προπονητική μονάδα χρησιμοποιήθηκε το t – test για ζευγαρωτές παρατηρήσεις. Επίσης, για τη διερεύνηση της κύριας επίδρασης και της αλληλεπίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών στις εξαρτημένες μεταβλητές πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων (προπόνηση και αριθμός επανάληψης) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και στους δύο παράγοντες. Επιμέρους διαφορές μεταξύ των μέσων όρων εντοπίστηκαν με το τεστ του Tukey. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p< 0,05$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Αριθμός επαναλήψεων πρώτης και τελευταίας προπόνησης

Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση [t(7)= 4,01; p= 0,01] του αριθμού των επαναλήψεων που εκτελέστηκαν στην τελευταία προπόνηση στην ίδια απόλυτη ταχύτητα με την οποία εκτελέστηκε η πρώτη προπόνηση (αντιστοιχούσε στο 90% της αρχικής ΜΑΤ στην πρώτη προπόνηση και στο 82,9 ± 2,4% της τελικής ΜΑΤ στην τελευταία προπόνηση), από τις 7,4 ± 4,4 στις 14,9 ± 9,2 επαναλήψεις.

3.2. Μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου και μέγιστη αερόβια ταχύτητα

Παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση [t(7)= 3,08; p= 0,02] της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου με την εφαρμογή του διαλειμματικού προγράμματος προπόνησης, διάρκειας 6 εβδομάδων, από τα 58,5 ± 9,5 στα 61,9 ± 11,0 ml/kg/min. Παρόμοια, στατιστικά σημαντική αύξηση [t(7)= 8,49; p= 0,001] παρατηρήθηκε στη μέγιστη αερόβια ταχύτητα από τα 14,8 ± 2,0 στα 16,0 ± 2,2 km/h.

3.3. Κινητική της κατανάλωσης του οξυγόνου

3.3.1. Τιμή βάσης οξυγόνου

Διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(2,14)= 15,47; p=0,001] στην τιμή βάσης οξυγόνου του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων, μη σημαντική κύρια επίδραση [F(1,7)= 0,25; p= 0,63] του παράγοντα προπόνηση και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 5,07; p= 0,02] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων. Στην πρώτη προπόνηση, η τιμή βάσης του οξυγόνου ήταν χαμηλότερη στην 1^{η} επανάληψη συγκριτικά με τη μεσαία και την τελευταία επανάληψη. Επίσης, η τιμή βάσης του οξυγόνου στην 1^{η} επανάληψη της πρώτης προπόνησης ήταν χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή της τελευταίας προπόνησης (Πίνακας 1).

Διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(2,14)= 20,2; p=0,001] του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων με τις τιμές βάσης του οξυγόνου να είναι χαμηλότερες στην 1^{η} επανάληψη συγκριτικά με τη μεσαία και την τελευταία επανάληψη. Επίσης, βρέθηκε μη σημαντική κύρια επίδραση [F(1,7)= 1,12; p= 0,33] του παράγοντα προπόνηση

και μη σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 2,91; p= 0,09] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 2).

3.3.2. Τελική τιμή οξυγόνου

Διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(2,14)= 25,80; p= 0,001] του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων με την τελική τιμή του οξυγόνου να είναι χαμηλότερη στην 1^{η} επανάληψη συγκριτικά με τη μεσαία και την τελευταία επανάληψη. Δεν διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(1,7)= 0,03; p= 0,87] του παράγοντα προπόνηση αλλά ούτε και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 1,51; p= 0,25] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 1).

Παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(2,14)= 47,86; p= 0,001] του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων με την τελική τιμή του οξυγόνου να είναι χαμηλότερη στην 1^{η} επανάληψη συγκριτικά με τη μεσαία επανάληψη και την τελευταία επανάληψη αλλά και της μεσαίας από την τελευταία επανάληψη. Δεν παρατηρήθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(1,7)= 0,93; p= 0,37] του παράγοντα προπόνηση καθώς και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 1,02; p= 0,39] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 2).

3.3.3. Εύρος αύξησης οξυγόνου

Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση στο εύρος αύξησης οξυγόνου του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,02; p= 0,89], του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,43; p= 0,66] καθώς και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 1,67; p= 0,22] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 1).

Επίσης, δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,43; p= 0,53], του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 1,82; p= 0,20] και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 3,07; p= 0,08] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 2).

Πίνακας 1. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής του οξυγόνου κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων.

	1η επανάληψη	**Μεσαία επανάληψη (ίδιος απόλυτος αριθμός)**	**Τελευταία επανάληψη (ίδιος απόλυτος αριθμός)**
Τιμή βάσης (ml/kg/min)			
Πρώτη προπόνηση	12,23 ± 3,33	18,75 ± 3,89*	19,34 ± 2,99*
Τελευταία προπόνηση	15,09 ± 2,95	16,04 ± 2,21	17,88 ± 3,73*
Τελική τιμή (ml/kg/min)			
Πρώτη προπόνηση	51,32 ± 5,72	55,17 ± 6,18*	56,96 ± 7,17*
Τελευταία προπόνηση	52,42 ± 7,14	54,12 ± 7,51*	56,05 ± 8,16*
Εύρος αύξησης (ml/kg/min)			
Πρώτη προπόνηση	39,09 ± 4,84	36,42 ± 7,95	37,62 ± 7,44
Τελευταία προπόνηση	37,33 ± 5,23	38,09 ± 6,33	38,17 ± 8,98
Σταθερά χρόνου (sec)			
Πρώτη προπόνηση	22,51 ± 2,71	23,05 ± 4,66	21,29 ± 3,68
Τελευταία προπόνηση	22,31 ± 6,22	23,08 ± 4,36	22,80 ± 4,43
Χρόνος υστέρησης (sec)			
Πρώτη προπόνηση	4,76 ± 2,68	8,21 ± 4,40	8,99 ± 4,57
Τελευταία προπόνηση	5,46 ± 5,12#	4,14 ± 2,80#	4,73 ± 3,26#

** p< 0,05 από την 1η επανάληψη, # p< 0,05 από την 1η προπόνηση*

3.3.4. Σταθερά χρόνου του οξυγόνου

Αναφορικά στην σταθερά χρόνου του οξυγόνου δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,23; p= 0,65], του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,22; p= 0,81] καθώς και αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,13; p= 0,88] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 1) .

Επίσης, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 1,18; p= 0,31], του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,03; p= 0,97] και αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,93; p= 0,42] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 2).

3.3.5. Χρόνος υστέρησης οξυγόνου

Διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 8,01; p= 0,03] με τον χρόνο υστέρησης να είναι μικρότερος στην τελευταία προπόνηση. Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,78; p= 0,48]. Επίσης, δεν διαπιστώθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 2,38; p= 0,13] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 1).

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,37; p= 0,56] και του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 1,91; p= 0,18] καθώς και αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,95; p= 0,41] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής του οξυγόνου κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων.

	1η επανάληψη	**Μεσαία επανάληψη (ίδιος σχετικός αριθμός)**	**Τελευταία επανάληψη (ίδιος σχετικός αριθμός)**
Τιμή βάσης (ml/kg/min)			
Πρώτη προπόνηση	12,23 ± 3,33	18,75 ± 3,89*	19,34 ± 2,99*
Τελευταία προπόνηση	15,09 ± 2,95	18,77 ± 2,83*	19,70 ± 4,04*
Τελική τιμή (ml/kg/min)			
Πρώτη προπόνηση	51,32 ± 5,73	55,17 ± 6,18*	56,96 ± 7,17*
Τελευταία προπόνηση	52,42 ± 7,14	56,33 ± 7,91*	60,09 ± 8,08*
Εύρος αύξησης (ml/kg/min)			
Πρώτη προπόνηση	39,09 ± 4,84	36,42 ± 7,95	37,62 ± 7,44
Τελευταία προπόνηση	37,33 ± 5,23	37,56 ± 7,65	40,39 ± 7,47
Σταθερά χρόνου (sec)			
Πρώτη προπόνηση	22,51 ± 2,71	23,05 ± 4,66	21,29 ± 3,68
Τελευταία προπόνηση	22,31 ± 6,22	22,66 ± 6,03	24,55 ± 5,03
Χρόνος υστέρησης (sec)			
Πρώτη προπόνηση	4,76 ± 2,68	8,21 ± 4,40	8,99 ± 4,57
Τελευταία προπόνηση	5,46 ± 5,12	8,84 ± 5,90	6,14 ± 3,34

** p< 0,05 από την 1η επανάληψη*

3.4. Κινητική της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb)

3.4.1. Τιμή βάσης αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(2,14)= 8,88; p= 0,001] του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων αλλά μη σημαντική κύρια επίδραση [F(1,7)= 0,70; p= 0,43] του παράγοντα προπόνηση. Ωστόσο, παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 17,31; p= 0,01] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων. Η τιμή βάσης της HHb ήταν χαμηλότερη στην 1^{η} επανάληψη συγκριτικά με την μεσαία και την τελευταία επανάληψη τόσο στην πρώτη όσο και στην τελευταία προπόνηση. Επίσης, η τιμή βάσης της HHb ήταν χαμηλότερη στη μεσαία και στην τελευταία επανάληψη στην τελευταία προπόνηση συγκριτικά με την πρώτη προπόνηση (Πίνακας 3).

Διαπιστώθηκε σημαντική κύρια επίδραση [F(2,14)= 9,54; p= 0,001] του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων αλλά μη σημαντική κύρια επίδραση [F(1,7)= 0,63; p= 0,45] του παράγοντα προπόνηση. Παρατηρήθηκε, επίσης, σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 11,88; p= 0,01] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων. Η τιμή βάσης της HHb ήταν χαμηλότερη στην 1^{η} επανάληψη συγκριτικά με την μεσαία και την τελευταία επανάληψη τόσο στην πρώτη όσο και στην τελευταία προπόνηση. Επίσης, η τιμή βάσης της HHb ήταν χαμηλότερη στη μεσαία και στην τελευταία επανάληψη στην τελευταία προπόνηση συγκριτικά με την πρώτη προπόνηση (Πίνακας 4).

3.4.2. Εύρος αύξησης αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,03; p= 0,86] και του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,91; p= 0,43] καθώς και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,82; p= 0,46] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων στο εύρος αύξησης αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (Πίνακας 3).

Επίσης, δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,04; p= 0,85], του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,77; p= 0,48] καθώς και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,97; p= 0,40] των

Πίνακας 3. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων.

	1η επανάληψη	**Μεσαία επανάληψη (ίδιος απόλυτος αριθμός)**	**Τελευταία επανάληψη (ίδιος απόλυτος αριθμός)**
Τιμή βάσης (μmol)			
Πρώτη προπόνηση	-4,21±2,53	-0,40±2,98*	-0,24±2,65*
Τελευταία προπόνηση	-4,72±4,48	-3,38±5,09*#	-3,31±5,66*#
Εύρος αύξησης (μmol)			
Πρώτη προπόνηση	14,68±11,40	11,22±10,77	16,06±12,04
Τελευταία προπόνηση	14,20±10,04	13,50±10,81	13,91±11,50
Σταθερά χρόνου (sec)			
Πρώτη προπόνηση	11,91±3,32	16,16±5,30	15,33±3,77
Τελευταία προπόνηση	14,56±3,68	16,84±4,97	16,54±6,34
Χρόνος υστέρησης (sec)			
Πρώτη προπόνηση	17,36±13,95	18,05±19,60	16,09±12,62
Τελευταία προπόνηση	15,60±16,00	17,20±15,94	16,56±13,32

** p< 0,05 από την 1η επανάληψη, # p< 0,05 από την 1η προπόνηση*

παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων στο εύρος αύξησης αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (Πίνακας 4).

3.4.4. Σταθερά χρόνου της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 3,42; p= 0,11], του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 2,49; p= 0,12] καθώς και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,46; p= 0,64] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων στη σταθερά χρόνου της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (Πίνακας 3).

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,67; p= 0,44] και του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 1,40; p= 0,28] αλλά παρατηρήθηκε τάση σημαντικής αλληλεπίδρασης [F(2,14)=

Πίνακας 4. Μεταβολή των παραμέτρων της κινητικής της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης κατά την εκτέλεση της πρώτης και της τελευταίας διαλειμματικής προπόνησης στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων.

	1η επανάληψη	**Μεσαία επανάληψη (ίδιος σχετικός αριθμός)**	**Τελευταία επανάληψη (ίδιος σχετικός αριθμός)**
Τιμή βάσης (μmol)			
Πρώτη προπόνηση	-4,21±-0,40	-0,40±2,98*	-0,24±2,65*
Τελευταία προπόνηση	-4,72±4,48	-3,33±5,37*	-3,03±5,21*
Εύρος αύξησης (μmol)			
Πρώτη προπόνηση	14,68±11,40	11,22±10,77	16,06±12,04
Τελευταία προπόνηση	14,20±10,04	13,69±10,71	13,74±11,62
Σταθερά χρόνου (sec)			
Πρώτη προπόνηση	11,91±3,32	16,16±5,30*	15,33±3,77*
Τελευταία προπόνηση	14,56±3,68	14,74±4,15	14,09±3,60
Χρόνος υστέρησης (sec)			
Πρώτη προπόνηση	17,36±13,95	18,05±19,60	16,09±12,62
Τελευταία προπόνηση	15,60±16,00	17,36±15,19	15,75±13,56

** p< 0,05 από την 1η επανάληψη*

3,34; p= 0,07] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων στη σταθερά χρόνου της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης. Οι τιμές της σταθεράς χρόνου της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης ήταν μικρότερος στην 1η επανάληψη έναντι της μεσαίας και της τελευταίας επανάληψης στην πρώτη προπόνηση (Πίνακας 4).

3.4.5. Χρόνος υστέρησης της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης

Δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 0,01; p= 0,92], του παράγοντα απόλυτος αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,22; p= 0,81 και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,18; p= 0,84] των παραγόντων προπόνηση και απόλυτος αριθμός επαναλήψεων στο χρόνο υστέρησης της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (Πίνακας 3).

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική κύρια επίδραση του παράγοντα προπόνηση [F(1,7)= 1,23; p= 0,30], του παράγοντα σχετικός αριθμός επαναλήψεων [F(2,14)= 0,19; p= 0,83] και σημαντική αλληλεπίδραση [F(2,14)= 0,62; p= 0,55] των παραγόντων προπόνηση και σχετικός αριθμός επαναλήψεων στο χρόνο υστέρησης της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (Πίνακας 4).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν οι προσαρμογές στην κινητική της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου σε κεντρικό επίπεδο στους πνεύμονες (VO_2) και της τοπικής οξυγόνωσης του μυός μέσω της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης (HHb) κατά την εκτέλεση διαλειμματικής άσκησης ίδιου απόλυτου ή σχετικού αριθμού επαναλήψεων, με την ίδια μηχανική επιβάρυνση, πριν και μετά από συστηματική προπόνηση 6 εβδομάδων με τη συγκεκριμένη μέθοδο. Τα βασικά ευρήματα μελέτης είναι ότι με την εφαρμογή ενός βραχυπρόθεσμου προγράμματος αερόβιας προπόνησης πολύ υψηλής έντασης δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στις παραμέτρους της κινητικής του οξυγόνου και της HHb αιμοσφαιρίνης (τιμή βάσης, εύρος αύξησης, τελικές τιμές, σταθερά χρόνου και χρόνος υστέρησης) στον ίδιο σχετικό αριθμό επαναλήψεων της πρώτης και τελευταίας προπόνησης (ο αριθμός επαναλήψεων ήταν μεγαλύτερος στην τελευταία προπόνηση) ενώ στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων παρατηρήθηκε μείωση στο χρόνο υστέρησης της κατανάλωσης οξυγόνου και των τιμών βάσης της HHb. Ο λόγος που οι ασκούμενοι κατάφεραν και εκτέλεσαν μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων ενώ δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην κινητική του οξυγόνου, πιθανά να οφείλεται στην προσαρμογή του καρδιαγγειακού συστήματος στο επικείμενο έργο, στη βελτίωση της αγγειοδιαστολής και μικροαγγειακής λειτουργίας καθώς και στην ταχύτερη μεταφορά και δέσμευση του οξυγόνου από τους μυς.

Οι Jones & Burnley (2009) επισημαίνουν ότι ο ρυθμός με τον οποίο η κατανάλωση οξυγόνου προσαρμόζεται στις καινούριες ενεργειακές απαιτήσεις, ακολουθώντας ένα νέο επίπεδο έντασης, έχει ισχυρή επίδραση στο αποκαλούμενο «έλλειμμα οξυγόνου» χωρίς, ωστόσο, οι παράγοντες οι οποίοι υπαγορεύουν τα χαρακτηριστικά τόσο της ταχείας όσο και της βραδείας απόκρισης – προσαρμογής της κατανάλωσης οξυγόνου να είναι μέχρι στιγμής απολύτως ξεκάθαροι. Παρ' όλα αυτά, η κινητική του οξυγόνου φαίνεται να επηρεάζει την αθλητική απόδοση και να υποδηλώνει τη σχετική συνεισφορά του αερόβιου και αναερόβιου μεταβολισμού στην παροχή ενέργειας κατά τη διάρκεια ασκησιογενούς έργου.

Η απότομη αύξηση της έντασης της προσπάθειας οδηγεί, εντός των πρώτων ελάχιστων δευτερολέπτων, σε έως και 100 φορές αύξηση στο ρυθμό κατανάλωσης και ανασύνθεσης του ATP που βρίσκεται στους μύες. Για να αποφευχθεί η άμεση εξάντλησή

του, το ATP ανασυντίθεται από την αντίδραση της κρεατινικής κινάσης με συνακόλουθη μείωση της φοσφωκρεατίνης στους μύες καθώς και με την επιτάχυνση της γλυκόλυσης. Την ίδια στιγμή τα μειωμένα επίπεδα ATP, τα αυξανόμενα επίπεδα ADP και των ελεύθερων φωσφορικών ριζών (P_i) διεγείρουν την αύξηση του ρυθμού της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης και κατά συνέπεια της VO_2. Υποθέτοντας ότι η απόδοση O_2 στους εργαζόμενους μύες είναι επαρκής, κάθε προπονητική προσέγγιση που αυξάνει τον όγκο του μιτοχονδριακού δικτύου, επιταχύνει λογικά την κινητική του O_2 στην αρχική του φάση. Οι Bailey et al., (2009) έδειξαν ότι η προπόνηση με επαναλαμβανόμενα σπριντ ενισχύει τη μικροαγγειακή εξαγωγή O_2, όπως αυτή υπολογίζεται με μετρήσεις φασματοσκοπίας εγγύς υπερύθρου. Είναι πολύ πιθανό αυτό να οφείλεται σε αυξημένη οξειδωτική ικανότητα των μυών.

Παρ όλα αυτά, και ενώ τα αποτελέσματα συναφών μελετών συγκλίνουν στις περισσότερες κατευθύνσεις, υπάρχουν περιπτώσεις που σε κάποια σημεία τους αποκλίνουν. Πιο συγκεκριμένα, η βελτίωση της κινητικής οξυγόνου φαίνεται να σχετίζεται με την ενζυμική δραστηριότητα καθώς παράλληλα με την αύξηση της μέγιστης δραστηριότητας των μιτοχονδριακών αερόβιων ενζύμων επέρχεται και γρηγορότερη κινητική του οξυγόνου μετά από αερόβια διαλειμματική προπόνηση (Krustrup et al., 2004). Η μακροχρόνια αερόβια άσκηση δείχνει να μειώνει τη σταθερά χρόνου και να περιορίζει τη βραδεία συνιστώσα της κινητικής του οξυγόνου (Caputo & Benadai, 2004; Xu & Rhodes, 2012). Όσον αφορά τις αντικρουόμενες μελέτες, μία τέτοια περίπτωση είναι οι μελέτες των Duffield et al. (2006) και των Carter et al. (2000). Στην πρώτη έρευνα όπου εκτέλεσαν ένα μακροχρόνιο πρωτόκολλο υψηλής έντασης διαλειμματική αναφέρεται ότι παρουσιάστηκε σημαντική αύξηση στη VO_2max, στη μέγιστη αερόβια ισχύ και στο εύρος αύξησης του οξυγόνου κατά την πρώτη φάση της κινητικής του οξυγόνου, ενώ δεν υπήρξαν διαφορές στη σταθερά του χρόνου και στο εύρος αύξησης της ταχείας συνιστώσας σε καμία από τις δύο φάσεις. Στη δεύτερη μελέτη όπου εκτέλεσαν ένα μακροχρόνιο πρωτόκολλο αντοχής παρατήρησαν ότι η διαλειμματική προπόνηση προκάλεσε σημαντική μείωση στο εύρος αύξησης της βραδείας συνιστώσας ενώ η σταθερά του χρόνου και το εύρος αύξησης της ταχείας συνιστώσας δεν επηρεάσθηκαν σημαντικά από την προπόνηση. Αυτό πιθανά υπογραμμίζει την διαφορετική ποσοστιαία συμμετοχή των ενεργειακών υποστρωμάτων και της παραγωγής ενέργειας ανάλογα με

τον χρόνο, την ένταση και τον τύπο της προπόνησης. Για αυτό τον λόγο παρατηρούνται και οι διαφορές στις παραμέτρους του οξυγόνου (σταθερά του χρόνου κ.λπ.).

Συμπληρωματικά στις ανωτέρω έρευνες, έρχεται και η παρούσα μελέτη να εξετάσει την επίδραση της προπονητικής παρέμβασης στην κινητική της ολικής κατανάλωσης οξυγόνου καθώς και στην κινητική της μυϊκής αποδέσμευσης οξυγόνου κατά την εκτέλεση αερόβιας διαλειμματικής άσκησης έως την εξάντληση στο 90% της μέγιστης αερόβιας ταχύτητας. Στην πρώτη προπόνηση, η τιμή βάσης του οξυγόνου είναι χαμηλότερη στην πρώτη επανάληψη συγκριτικά με τη μεσαία και την τελευταία. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ανάμεσα στις προσπάθειες ένα μέρος του οξυγόνου χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ανάγκες ανασύνθεσης των ενεργειακών υποστρωμάτων και αποκατάστασης του κυτταρικού περιβάλλοντος λόγω των προηγούμενων επαναλήψεων. Σε αυτό συνηγορούν και τα αποτελέσματα της τιμής βάσης της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης που ακολουθεί όμοιο μοτίβο. Επίσης, ενώ η τιμή βάσης ακολουθεί αυξητική πορεία από επανάληψη σε επανάληψη δεν συμβαίνει το ίδιο και με το εύρος αύξησης τόσου του οξυγόνου όσο και της αποξυγονωμένης αιμοσφαιρίνης, τα οποία παραμένουν σταθερά από επανάληψη σε επανάληψη πιθανά λόγω της καλύτερης μικροαγγειακής λειτουργίας και της μείωσης της περιφερικής αγγειακής αντίστασης. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα να διατηρείται σταθερό το εύρος αύξησης της κατανάλωσης οξυγόνου καθώς εκτελούν τα σετ οι ασκούμενοι και καθώς προσαρμόζονται στο αντίστοιχο ερέθισμα της άσκησης. Ενώ προσαρμόζονται στις απαιτήσεις από επανάληψη σε επανάληψη και το έργο φαίνεται ευκολότερο στον ασκούμενο το εύρος παραμένει σταθερό. Επιπλέον, εφόσον η ποσοστιαία συμμετοχή των ενεργειακών υποστρωμάτων διαφοροποιείται ανάλογα με την ένταση των επαναλήψεων (συμμετέχουν περισσότερο) πιθανά και το εύρος αύξησης του οξυγόνου να παραμένει σταθερό διότι ο οργανισμός παράγει ενέργεια και δεσμεύει ενέργεια και από τα άλλα ενεργειακά υποστρώματα.

Στην τελευταία προπόνηση, για τον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων, παρατηρούμε ότι η τιμή βάσης O_2 αυξάνει μόνο από την πρώτη προς τη μεσαία επανάληψη. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί με το δεδομένο ότι έχει βελτιωθεί η φυσική κατάσταση των ασκούμενων. Σε μια τέτοια περίπτωση, επειδή η συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού αυξάνει, μειώνεται το χρέος οξυγόνου για τις πρώτες επαναλήψεις, όπως αυτό καταγράφεται στη διάρκεια της φάσης αποκατάστασης μετά

από κάθε επανάληψη και το ασκησιογενές φορτίο παραμένει σταθερό σε απόλυτες τιμές έχοντας σαν αποτέλεσμα η επιβάρυνση του φορτίου να φαίνεται μικρότερη πλέον, αφού βελτιώθηκε και η VO_2max και η μέγιστη αερόβια ταχύτητα. Παρ όλα αυτά, οι τιμές βάσης της HHb δεν διαφέρουν στατιστικά στην πρώτη προπόνηση αλλά παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στη δεύτερη και στην τελευταία προπόνηση.

Ο μειωμένος χρόνος υστέρησης του O_2 που όπως προαναφέρθηκε αφορά τον χρόνο από την έναρξη της μεταβολής της προπονητικής επιβάρυνσης έως την χρονική στιγμή έναρξης της αύξησης του οξυγόνου, στην τελευταία προπόνηση έναντι της πρώτης, στον ίδιο απόλυτο αριθμό επαναλήψεων και όχι στον σχετικό, μας καταδεικνύει ότι επήλθε βελτίωση της ικανότητας αντοχής και τα ίδια φορτία εκλαμβάνονται σχετικά μικρότερα από τον οργανισμό, έχοντας ως συνέπεια τη γρηγορότερη ενεργοποίηση του αερόβιου μεταβολισμού για την παροχή ενέργειας προς κάλυψη των απαιτήσεων του ασκησιογενούς έργου. Βέβαια, το γεγονός ότι στην σταθερά του χρόνου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ενώ αναμενόταν μια αύξηση των τιμών της εφόσον βελτιώθηκε η ικανότητα αντοχής, πιθανά να οφείλεται στην διαφορετική ποσοστιαία συμμετοχή των ενεργειακών υποστρωμάτων και στην συνεισφορά ενέργειας που προσφερόταν στον οργανισμό και από τα άλλα υποστρώματα. Για αυτό το λόγο πιθανά να μην παρατηρήθηκαν διαφορές στην σταθερά του χρόνου.

Ο λόγος που δεν συμβαδίζει η αύξηση του χρόνου υστέρησης της HHb με αυτόν του O_2 είναι διότι η κινητική του οξυγόνου κατά τη διάρκεια της μέτρησης μετριέται ολικά από όλο το σώμα ενώ η αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη αναλύεται μόνο στο επίπεδο του συγκεκριμένου μυός που μετρήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη (έξω πλατύς) με την μέθοδο της εγγύς υπέρυθρης φασματοσκοπίας (NIRS). Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούμε και στην αποξυγονωμένη αιμοσφαιρίνη και μυοσφαιρίνη όπου αυτή η πιο σταδιακή και αργή αύξηση της οφείλεται στην διαφορετική ποσότητα την οποία μετριέται και λόγω του ότι η κατανάλωση οξυγόνου σε ολικό επίπεδο επειδή αυξάνεται γρήγορα λόγω της απαιτήσεις του οργανισμού σε οξυγόνου, που είναι περισσότερες όταν πρέπει να τροφοδοτηθεί όλα το σώμα συγκριτικά την με τροφοδοσία με οξυγόνο ενός συγκεκριμένο μυ. Για αυτό τον λόγω λοιπόν δεν ακολουθούν το ανάλογο εκθετικό μοντέλο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι με την εφαρμογή ενός βραχυπρόθεσμου προγράμματος διαλειμματικής αερόβιας άσκησης διάρκειας 6 εβδομάδων, όταν διατηρείται η ίδια απόλυτη δρομική ένταση αυξάνεται ο αριθμός των επαναλήψεων που έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν οι συμμετέχοντες. Η δυνατότητα εκτέλεσης μεγαλύτερου αριθμού επαναλήψεων σε πολύ υψηλής έντασης διαλειμματική αερόβια άσκηση οφείλεται στη μεταβολή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2max) και αλλά και σε προσαρμογές σε περιφερικούς παράγοντες όπως η μείωση του χρόνου υστέρησης της κινητική της VO_2 που υποδηλώνει μια γρηγορότερη έναρξη της κατανάλωσης οξυγόνου από τους εργαζόμενους μύες.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Badcock, M.A., Paterson, D.H., Cunningham, D.A., & Dickinson, J.R. (1994). Exercise on-transient gas exchange kinetics are slowed as a function of age. *Medicine and Science in Sports and Exercise,* 26(4), 440–446.

2. Balaban, R.S., Mootha, V.K., & Arai, A. (1996). Spectroscopic determination of cytochrome c oxidase content in tissues containing myoglobin or hemoglobin. *Analytical Biochemistry,* 237, 274 –278, doi:10.1006/abio.1996.0239.

3. Bailey, J., Wilkerson, D., DiMenna, F., & Jones, A. (2009). Influence of repeated sprint training on pulmonary O_2 uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *Journal of Physiology,* 106, 1875–1887, 2009.

4. 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.

5. Berger, N.J.A., Tolfrey, K, Williams, A.G., & Jones A.M. (2006). Influence of Continuous and Interval Training on Oxygen Uptake On-Kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise,* 38(3), 504-512.

6. Caputo, F., & Benadai, B.S. (2004). Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology,* 93, 87-95.

7. Carter, H., Jones, A., Barstow, T., Burnley, M., Williams, C., & Doust, J. (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *Journal of Applied Physiology,* 89, 1744–1752.

8. Cerretelli, P., & di Prampero, P.E. (1987). Gas exchange in exercise. *In Handbook of Physiology*, Section 3,The Respiratory System, vol. IV, Gas Exchange, LE Fahri, SM Tenney SM (eds.). Bethesda, MD, USA, *American Physiological Society*, pp. 297-339.

9. Davis, M.L., & Barstow, T.J. (2013). Estimated contribution of hemoglobin and myoglobin to near infrared spectroscopy. *Respiratory Physiology Neurobiology,* 186, 180–187, doi:10.1016/j.resp.2013.01.012.

10. DeLorey, D.S., Kowalchuk, J.M., & Paterson, D.H. (2004). Effect of age on O_2 uptake kinetics and the adaptation of muscle deoxygenation at the onset of moderate - intensity cycling exercise. *Journal of Applied Physiology,* 97(1), 165–172.

11. Di Prampero, P.E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology.* 89, 143-222.

12. Duffield, R., Edge, J., & Bishop, D. (2006). Effects of high-intensity interval training on the VO2 response during severe exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport,* 9, 249—255.

13. Ferrari, M., Mottola, L, & Quaresima, V. (2004). Principles, Techniques, and Limitations of Near Infrared Spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology,* 29(4), 463-487. doi: 10.1139/h04-031.

14. Grassi, B. (2006). Oxygen uptake kinetics: Why are they so slow? And what do they tell us? *Journal of physiology and pharmacology*, 57, Suppl 10, 53-65.

15. Grey, T., Spencer, M., Belfry, G., Kowalchuk, J., Paterson, D. & Murias, J. (2015). Effects of Age and Long - Term Endurance Training on VO_2 Kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(2), 289 - 298.

16. Jacobs, R.A., Flück, D., Bonne, T.C., Bürgi, S., Møller Christensen, P., Toigo, M., & Lundby, C. (2013). Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. *Journal of Applied Physiology.* 115, 785–793.

17. Jones, A., Burnley, M. (2009). Oxygen Uptake Kinetics: An Underappreciated Determinant of Exercise Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance,* 4, 524-532.

18. Jones, A., & Doust, J. (1996). A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sports Sciences,* 14, 321-327.

19. Krustrup, P, Hellsten, Y, & Bangsbo, J. (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *Journal of Physiology,* 559: 335–345.

20. Larsen, S., Nielsen, J., Hansen, C.N., Nielsen, L.B., Wibrand, F., Stride, N., Schroder, H.D., Boushel, R., Helge, J.W., Dela, F, & Hey-Mogensen, M. (2012). Biomarkers of mitochondrial content in skeletal muscle of healthy young human subjects. *Journal of Physiology,* 590, 3349–3360.

21. McKay, B.R., Paterson, D.H., & Kowalchuk, J.M. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O_2 uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of Applied Physiology,* 107, 128–138.

22. Murias, J.M., Kowalchuk, J.M., & Paterson, D.H. (2010). Speeding of VO_2 kinetics in response to endurance-training in older and young women. *European Journal of Applied Physiology,* 111(2), 235–243.

23. Poole, D., & Jones, A. (2012). Oxygen Uptake Kinetics. *Comprehensive Physiology,* 2(2), 933-996.

24. Quaresima, V., Lepanto, R, & Ferrari, M. (2003). The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(1), 1-13.

25. Ροδίτης, Π. (2008). *Η επίδραση ενός προγράμματος αποκατάστασης στην κινητική οξυγόνου σε ασθενείς με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια.* Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο. Αθήνα. Ελλάδα.

26. Turner, A., Carhart, A., Parker, M., Butterworth, C., Wilson, J. & Ward, S. (2006). Oxygen uptake and muscle desaturation kinetics during intermittent cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 492 - 503.

27. Xu, F., & Rhodes, E.C. (1999). Oxygen Uptake Kinetics During Exercise. *Sports Medicine* 27, 313 – 327.