

«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»



National and Kapodistrian
UNIVERSITY OF ATHENS



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**«Κλινική Εργοσπιρομετρία, Άσκηση, Προηγμένη Τεχνολογία και
Αποκατάσταση»**

**«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και
χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»**

Διπλωματική Εργασία

Σκαράκη Βασιλική

AM 22794

ΑΘΗΝΑ 2024

«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»



National and Kapodistrian
UNIVERSITY OF ATHENS



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Κλινική Εργοσπιρομετρία, Άσκηση, Προηγμένη Τεχνολογία και
Αποκατάσταση»**

**«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς
αποκλεισμό της αιματικής ροής»**

**Διπλωματική Εργασία
ΣΚΑΡΑΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

Μέλη Τριμελούς Επιτροπής

Αναστάσιος Φιλίππου PhD, (Επιβλέπων)

Αναπληρωτής Καθηγητής Πειραματικής Φυσιολογίας . Ιατρική σχολή - ΕΚΠΑ

Χρυσανθόπουλος Κωνσταντίνος , PhD,

Ε.Ε.Π. Φυσιολογίας- Ιατρική Σχολή-ΕΚΠΑ

Καρατζάνος Ελευθέριος MSc, PhD

Ε.Ε.Π. Εργοφυσιολογίας-Κλινικής εργοφυσιολογίας Ιατρική Σχολή-ΕΚΠΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος εικόνων

Κατάλογος πινάκων

Συνομογραφίες-Ακρωνύμια

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Εισαγωγή
- Μέθοδος
- Αποτελέσματα
- Συμπέρασμα
- Λέξεις-κλειδιά

ABSTRACT

- Introduction
- Methods
- Results
- Conclusion
- Keys-words

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- Εισαγωγή
- Θεωρητική βάση του μηχανισμού
- Ποσοστό αποκλεισμού
- Μηχανισμοί δράσης του BFR

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- Σκοπός
- Μεθοδολογία
- Ηθική και δεοντολογία
- Στατιστική ανάλυση

- Αποτελέσματα
- Συμπέρασμα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίν.1 Σωματομετρικά Χαρακτηριστικά εθελοντών (Mean±SD/SE)

Πίν.2 Επιδόσεις αθλουμένων και Προπονητικά Δεδομένα.

Πίν.3 Μέσοι όροι τιμών ταχύτητας στη VO₂max και στο αναερόβιο κατώφλι όπως και χρόνου άσκησης στη Μέγιστη πρόσληψη και στο τέλος της προσπάθειας

Πίν 4α Υποκειμενική Αντίληψη Κόπωσης (Borg) Σε όλα τα στάδια της ερευνητικής διαδικασίας.

Πίν.4β Υποκειμενική Αντίληψη Κόπωσης (Borg) Συνθήκης BFR. Σε όλα τα στάδια της ερευνητικής διαδικασίας.

Πίν.5 Σωματομετρικά χαρακτηριστικά αναλυτικά (Παράρτημα).

Πίν.6 Αθλητικό προφίλ εθελοντών (Παράρτημα).

Πίν.7 Αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων (Mean N15) (Παράρτημα).

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ. 1. Προσδιορισμός του ποσοστού αποκλεισμού

Εικ. 2. Περιμηρίδες για τον αποκλεισμό.

Εικ. 3. Τοποθέτηση της ειδικής μάσκας εργοσπιρομέτρησης

Εικ.4. Καρδιοαναπνευστική δοκιμασία άσκησης με και χωρίς περιορισμό της αιματικής ροής σε δαπεδοεργόμετρο.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1: Σχεδιάγραμμα Μέγιστης Πρόσληψης Οξυγόνου

Σχ.2: Σχηματική παράσταση του καρδιακού ρυθμού αποκατάστασης στα 5' πρώτα λεπτά. (CON/BFR)

Σχ.3 :Σχηματική παράσταση της αποκατάστασης του αναπνευστικού πηλίκου (RER) στα 5' πρώτα λεπτά. (CON/BFR).

Σχ.4: Σχεδιάγραμμα SPEED στην VO₂max.Σχηματική απεικόνιση της ταχύτητας που έτρεξαν οι ασκούμενοι στις δύο συνθήκες (Control BFR) που αποδόθηκαν από τους Μ.Ο κάθε σταδίου της άσκησης

Σχ.5: Σχεδιάγραμμα Χρόνου άσκησης στις δύο συνθήκες (control-BFR)

Σχ.6: Σχεδιάγραμμα Καρδιακής συχνότητας στις δύο συνθήκες.

Σχ.7: Σχεδιάγραμμα υποκειμενικής αντίληψης του πόνου

Σχ.8: Σχεδιάγραμμα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης(BFR/CONTROL)

Σχ.9: Διαβάθμιση του πνευμονικού αερισμού στα διάφορα χρονικά στάδια της άσκησης σε σχέση με την κατανάλωση O₂ (*p < 0.01 από CON).

Σχ.10: Διαβάθμιση του πνευμονικού αερισμού στα διάφορα στάδια της άσκησης σε σχέση με τη παραγωγή CO₂ (*p < 0.05 από CON).

Σχ.11: Σχεδιάγραμμα Διαστολικής πίεσης (BFR/Control mm/Hg)

Σχ.12: Σχεδιάγραμμα Συστολικής πίεσης (BFR/Control mm/Hg)

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

BFR = αποκλεισμός αιματικής ροής (blood flow restriction)

VO2max= Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου

HR = Καρδιακή συχνότητα

HIT = Έντονη διαλειμματική προπόνηση

PB exer = Αρτηριακή πίεση

M.A.P = Μέση αρτηριακή πίεση

NIRS=Near-infrared spectroscopy

HIE = Έντονη διαλειμματική άσκηση (High intensity exercise)

CONT= Συνθήκη ελέγχου

RM = Μέγιστη Επανάληψη (Maximal repetition)

MSK= Μυοσκελετικές διαταραχές (Musculoskeletal disorders)

COPD = Χρόνια αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)

IGF-1 = Ινσουλινομορφος αυξητικός παράγοντας-1

SPSS = Στατιστικό λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων

RER=Respiratory Exchange Ratio

RPE=Rating of Perceived Exertion

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται η φοίτηση μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα της Ιατρικής σχολής του Ε.Κ.ΠΑ Πανεπιστημίου Αθηνών, **«Κλινική Εργοσπιρομετρία, Άσκηση, Προηγμένη Τεχνολογία και Αποκατάσταση»**. Μέσα από αυτή την παράγραφο θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά μου ευγνωμοσύνη στους ανθρώπους που μου έδωσαν την ευκαιρία να κάνω αυτό το ταξίδι και στήριξαν με υπομονή όλη μου την προσπάθεια αλλά κυρίως: στον επιβλέποντα καθηγητή και μέντορα μου, στον κ. *Φιλίππου Αναστάσιο* που μου εμπιστεύθηκε αυτή την εργασία και με τίμησε με την υποστήριξη του, στον κ. *Χρυσανθόπουλο Κωνσταντίνο* για την υπομονή του ,την στήριξη, τη βοήθεια και την ενθάρρυνση του, στοιχεία απαραίτητα για την επίτευξη του στόχου μας, καθώς και τον καθηγητή μου κ. *Καρατζάνο Ελευθέριο* για τις παραγωγικές του γνώσεις κατά την διάρκεια της φοίτησης μου. Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης για τους αγαπημένους μου συνάδελφους, κα *Χερουβείμ Ευγενία (MsC, PhD in Exercise Physiology)*, κ. *Ρωμανό Αυγερινό Μιχαηλίδη (Physiology Laboratory, Medical School, National & Kapodistrian University of Athens,)* τον κ. *Πατακιούτη Κ Κωνσταντίνο (Physiology Laboratory, Medical School, National & Kapodistrian University of Athens)*, που με τις γνώσεις τους ,την προσωπική τους ενασχόληση και την άριστη συνεργασία τους συνέβαλλαν τα μέγιστα σε αυτή την διπλωματική εργασία. Προσωπικά η ολοκλήρωση αυτών των σπουδών αποτελεί μία δικαίωση και μία νίκη που την αφιερώνω στην οικογένειά μου ,τον σύζυγό μου και ειδικά στα παιδιά μου με την προτροπή πως **«η γνώση είναι ο μόνος τρόπος για να θριαμβεύσεις σε όλες τις μάχες»**.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες η μέθοδος του αποκλεισμού της αιματικής ροής (blood flow restriction) έχει κερδίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Όλο και περισσότερες μελέτες πραγματοποιούνται για να επιβεβαιωθούν τα οφέλη του **Blood Flow Restriction** (BFR) στην ανάπτυξη της δύναμης, της μυϊκής υπερτροφίας όπως και τις χρόνιες ή άμεσες επιδράσεις αυτής της μορφής προπόνησης στην αερόβια και στην αναερόβια ικανότητα του οργανισμού. Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί σε αθλούμενους, αθλητές, κλινικούς πληθυσμούς, γυναίκες και άντρες, σε κυκλοεργόμετρο ή σε δαπεδοεργόμετρο με περπάτημα ή δοκιμασίες πεδίου. Παρατάυτα, δεν έχουν γίνει αντίστοιχες έρευνες σε δαπεδοεργόμετρο ώστε να καταγραφούν οι άμεσες επιδράσεις ενός πρωτοκόλλου εφαρμογής αυξανόμενης έντασης άσκησης μέχρι εξάντλησης με ταυτόχρονο αποκλεισμό της αιματικής ροής. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνήσει την επίδραση της εφαρμογής του BFR κατά το τρέξιμο αυξανόμενης έντασης μέχρι εξάντλησης και να δώσει στοιχεία όσον αφορά τις οξείες αποκρίσεις του οργανισμού σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς περιορισμό της αιματικής ροής.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Δέκα πέντε αθλούμενοι, ερασιτέχνες, ενήλικοι, υγιείς άρρενες (ηλικία: 35.7 ± 10.1 έτη, Ύψος: 176.3 ± 5.7 cm, Βάρος: 73.6 ± 5.0 kg, μέσος όρος \pm σταθερή απόκλιση) έλαβαν μέρος σε ένα αυξανόμενης έντασης πρωτόκολλο άσκησης μέχρι εξάντλησης (αύξηση ταχύτητας 1 km/h ανά 90 s, κλίση 0%) στο δαπεδοεργόμετρο. Οι εθελοντές υποβλήθηκαν με τυχαία σειρά σε μέγιστη καρδιοαναπνευστική δοκιμασία την οποία επανέλαβαν δύο φορές σε διάστημα μεταξύ 7-15 ημερών στη μία περίπτωση με (BFR), και στην άλλη, χωρίς περιορισμό της αιματικής ροής (C). Η μέθοδος του αποκλεισμού πραγματοποιήθηκε στους εθελοντές με ειδικές περιμηρίδες οι οποίες τοποθετήθηκαν ψηλά στον μηρό και σε ποσοστό αποκλεισμού 40% της Αρτηριακής Πίεσης Απόφραξης (Arterial Occlusion Pressure) (A.O.P). Οι ασκούμενοι έλεγξαν την διατροφή και προπόνησή τους και στις δύο συνθήκες μία μέρα πριν και κατά την ημέρα της κάθε συνθήκης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$) μεταξύ των δύο συνθηκών σε ml/kg/min (BFR: $49,7 \pm 4,9$ ml/kg/min Vs C: $51,41 \pm 5,2$ ml/kg/min $p=0,098$) και σε l/min (BFR: $3,65 \pm 0,37$ l/min Vs C: $3,76 \pm 0,37$ l/min $p=0,21$). Αντιθέτως ο χρόνος άσκησης (BFR: 476.7 ± 83.3 Vs C: 606.1 ± 80.0 s, $p=0.001$) καθώς και η ταχύτητα στην $\dot{V}O_{2max}$ (BFR: 16.7 ± 1.4 Vs C: 17.99 ± 1.68 km/h, $p < 0.001$) μειώθηκαν στην συνθήκη του αποκλεισμού της αιματικής ροής. Η πρόσληψη οξυγόνου όπως καταγράφηκε σε τέσσερις κοινές υπομέγιστες ταχύτητες (μεταξύ 12-15 km/h) -αποδίδοντας την δρομική οικονομία- δεν διαφοροποιήθηκε ($p > 0.05$). Η ταχύτητα στο αναερόβιο κατώφλι (BFR: 13.3 ± 1.3 Vs. C: 14.0 ± 1.8 km/h) ήταν υψηλότερη στην ομάδα control ($p = 0.01$). Η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης (BFR: 17.3 ± 1.2 Vs. C: 16.2 ± 1.7) και αντίληψη του πόνου σε δεκα/θμια κλίμακα (BFR: 7.8 ± 1.2 Vs. C: 5.5 ± 2.1) ήταν χαμηλότερη ($p < 0.05$) στην συνθήκη ελέγχου. Τέλος η μέγιστη καρδιακή συχνότητα στο στάδιο της εξάντλησης δεν ήταν διαφορετική στις δύο συνθήκες (BFR: 185 ± 9 Vs. C: 187 ± 11 b/min) ($p > 0.05$).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι, η χρήση περιμηρίδων για αποκλεισμό της αιματικής ροής σε πρωτόκολλο αυξανόμενης έντασης μέγιστης καρδιοαναπνευστικής προσπάθειας στον διάδρομο σε ποσοστό περίπου 40% A.O.P μειώνει τη ταχύτητα και το χρόνο άσκησης αλλά δεν επηρεάζει τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

Λέξεις κλειδιά: περιορισμός αιματικής ροής, BFR, αερόβια άσκηση, μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

ABSTRACT

INTRODUCTION

Blood flow restriction (BFR) has gained the interest of the scientific community over the last several decades. Numerous studies continue to be conducted in order to examine the benefits of BFR in strength, muscle hypertrophy, as well as the chronic and acute effects of this type of training on aerobic and anaerobic capacity. Research has been carried out on sportsmen, athletes, clinical populations, women, and men, using either a cycle ergometer, walking on a treadmill, or with field tests. However, there has been no corresponding treadmill running studies to record the direct effects of a protocol of increasing exercise intensity until exhaustion. Furthermore, the acute effect of BFR on maximal oxygen consumption (VO_{2max}) has not been studied. The purpose of this study was to examine the influence of BFR application during an incremental maximal running protocol in order to investigate the effect of BFR application and to provide evidence regarding the body's acute responses to exercise of increasing intensity to fatigue with and without blood flow restriction.

MATERIAL AND METHOD

Fifteen male club level runners ($35.7 \pm 10,1$ yrs, Height 176.3 ± 5.7 cm, body mass $73.6 \pm 5,00$ kg, mean \pm SD) performed an incremental running protocol (speed increment 1 km/h per 90 s, inclination 0%) to volitional fatigue two times over the course of 7-15 days. One test was performed with blood flow restriction (BFR) and the other without BFR (C), in random order. The occlusion level of BFR was at 40% of maximum Arterial Occlusion Pressure (A.O.P) and cuffs were placed on the upper first third of the thigh. Diet and training the day before and on the day of the measurements were controlled.

RESULTS

No difference was observed in $\dot{V}O_2\max$ in ml/kg/min (BFR: $49,7 \pm 4,9$ ml/kg/min Vs C: $51,41 \pm 5,2$ ml/kg/min $p=0,098$) and in l/min (BFR: $3,65 \pm 0,37$ l/min Vs C: $3,76 \pm 0,37$ l/min $p=0,21$) between the two conditions. On the contrary, exercise time (BFR: 476.7 ± 83.3 Vs. C: $606.1 \pm 80s$, $p=0.001$) and speed at $\dot{V}O_2\max$ (BFR: 16.7 ± 1.4 km/h Vs. C: 17.99 ± 1.68 km/h, $p<0.001$) were lower with occlusion. Oxygen uptake as recorded at four submaximal speeds between 12-15 km/h yielding running economy was not different ($p > 0.05$). The velocity at the anaerobic threshold (BFR: 13.3 ± 1.3 Vs. C: 14.0 ± 1.8 km/h) was higher in the control condition ($p=0.01$). Also, perceived rate of exertion (BFR: 17.3 ± 1.2 Vs. C: 16.2 ± 1.7) and pain perception on a 10-point pain scale (BFR: 7.8 ± 1.2 Vs. C: 5.5 ± 2.1 ($p < 0.05$)) were lower in the control. Finally, maximal heart rate (BFR: 185 ± 9 Vs. C: 187 ± 11 b/min) ($p > 0.05$) was not different between the two conditions.

CONCLUSION

The application of BFR at 40% of maximum Arterial Occlusion Pressure (A.O.P) during an incremental running protocol reduces exercise time and speed at $\dot{V}O_2\max$ but does not affect $\dot{V}O_2\max$ values in male club level runners.

Key words: blood flow restriction, BFR, aerobic capacity, $VO_2\max$, occlusion.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα δραστηριοποιείται όλο και περισσότερο προκειμένου να ανακαλύψει εναλλακτικούς τρόπους επιβάρυνσης για να επέμβει στους κύριους μηχανισμούς της φυσικής κατάστασης του ατόμου. Τα όρια και τα ρεκόρ έχουν βελτιωθεί κατά πολύ και είναι απόλυτα αποδεκτό ότι για να βελτιώνονται οι παράμετροι της επίδοσης και να μεγιστοποιούνται οι προσαρμογές του σώματος θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ασκήσεις όλο και μεγαλύτερης έντασης [1,2]. Συνεπώς γίνεται εντονότερη η ανάγκη χρησιμοποίησης νέων μεθόδων προπόνησης που να είναι αποτελεσματικές προς αυτήν την κατεύθυνση, δηλαδή να μπορούν να προκαλούν βελτίωση της απόδοσης μέσα από μεγάλης έντασης φορτίσεις. Η προπόνηση με αποκλεισμό της αιματικής ροής, *Blood Flow Restriction*, (BFR) έχει απασχολήσει έντονα την επιστημονική κοινότητα καθώς όλο και περισσότερες έρευνες καταλήγουν στο γεγονός ότι είναι μια εναλλακτική μέθοδος επιβάρυνσης που έχει την δυνατότητα να δημιουργεί φυσιολογικές προσαρμογές όπως ακριβώς μεγάλης έντασης προπονητικές μέθοδοι πχ HIT >65% of 1 RM [3] ενώ μειώνει τις μηχανικές φορτίσεις στο σώμα. Έρευνες έχουν γίνει σε αθλητές [4] νέους, υγιείς ενήλικες [5] σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας [6] σε ασθενείς και κλινικούς πληθυσμούς [7], αλλά και σε άτομα που έρχονταν μωσκελετικής αποκατάστασης. Παρότι δεν είναι απόλυτα ξεκάθαρο το πώς, επιδρά η μέθοδος του αποκλεισμού της αιματικής ροής στο σώμα φαίνεται, ότι επιφέρει βελτιώσεις στη μυϊκή δύναμη και υπερτροφία [8],[9] καθώς και, άμεσες αλλά και χρόνιες προσαρμογές στην αερόβια ικανότητα [10],[11],[12]. Η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη όταν συντρέχουν ειδικές καταστάσεις όπως περίοδοι τραυματισμών ή ανάγκη για χαμηλά προπονητικά φορτία και ακόμα περισσότερο σε κλινικούς πληθυσμούς όπου τα άτομα αδυνατούν να αντέξουν υψηλές μηχανικές φορτίσεις. Δεδομένα δείχνουν ότι αυτή η μέθοδος προπόνησης μπορεί να προσφέρει έναν μοναδικά ευεργετικό τρόπο άσκησης ειδικά για άτομα σε κλινικό περιβάλλον καθώς αποδεικνύεται ότι αρκεί επιβάρυνση της τάξης 20% της 1RM για αντίστοιχες βελτιώσεις 10-30% της μέγιστης ικανότητας εργασίας (*maximal work capacity*) δηλαδή το απαραίτητο ποσοστό άσκησης για έναν υγιή ενήλικα σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας. Ειδικότερα οι ερευνητές, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κλινική εικόνα ασθενών με χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια (CHF) ή ατόμων με

MSK καθώς και ασθενείς με COPD, σχετίζεται και με δομικές και λειτουργικές βλάβες των σκελετικών μυών, [13],[14] όπου συννοσηρότητες πχ οστεοπόρωση ,οστεοαρθρίτιδα, παχυσαρκία, τους εμποδίζουν μάλλον να ασκούνται με υψηλά φορτία, διερευνούν αν μέσω του BFR βελτιώνεται η λειτουργική ικανότητα του οργανισμού, η μιτοχονδριακή λειτουργία των μυών και η ποιότητα ζωής. Ο αποκλεισμός της αιματικής ροής προτείνεται ως εναλλακτικός τρόπος φόρτισης κατάλληλος να προκαλέσει απόκριση σε όλες τις παραμέτρους της φυσικής κατάστασης μέσα από μια ποικιλία μηχανισμών με φορτία χαμηλής έντασης αποφεύγοντας τον κίνδυνο των υψηλών επιβαρύνσεων εφάμιλλο της HIT της έντονης διαλειμματικής προπόνησης.



Εικ.1. Προσδιορισμός ποσοστού αποκλεισμού



Εικ.2. Περιμηρίδες για αποκλεισμό

2. Θεωρητική βάση του μηχανισμού

Το BFR επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής εξωτερικής πίεσης (εικ 2) χρησιμοποιώντας ειδικές μανσέτες (cuffs) στο άνω μέρος των μηρών ή των βραχιόνων (ανάλογα την στόχευση της έρευνας) σε διάφορες και διαφορετικές προτεινόμενες διαστάσεις (3-18cm small-medium –large). Το επίπεδο αποκλεισμού της αιματικής ροής προσδιορίζεται με ειδικό μηχάνημα doppler (εικ. 1). Όταν φουσκώνει η περιχειρίδα-περιμηρίδα, προκαλείται συμπίεση των αγγείων κάτω από αυτή έτσι ώστε να περιορίζεται η διοχέτευση αίματος προς τα πιο απομακρυσμένα μέλη από το σημείο εφαρμογής της τεχνικής αλλά και της επιστροφής του. Η πίεση που εφαρμόζεται είναι αρκετή για να διατηρήσει την αρτηριακή

εισροή ενώ αποφράσει την φλεβική εκροή. Επιπλέον η μείωση της φλεβικής ροής είναι υπεύθυνη για τη συγκέντρωση αίματος στα τριχοειδή αγγεία του περισφιγμένου άκρου προκαλώντας οίδημα στη συγκεκριμένη περιοχή και αύξηση της ενδομυϊκής πίεσης. Η μανσέτα τοποθετείται όσο το δυνατό πιο κοντά στον κορμό και συνήθως είναι ελαστικό ύφασμα ή νάιλον.

3. Ποσοστό αποκλεισμού

Αν και έχουν γίνει πολλές αναφορές σχετικά με τον τρόπο αποκλεισμού της ροής του αίματος οι περισσότεροι ερευνητές καταλήγουν να χρησιμοποιούν την ίδια απόλυτη πίεση σε κάθε αθλούμενο [15] ανεξάρτητα από το μέγεθος, το υλικό, το πλάτος της περιμηρίδας, το μέγεθος του άκρου ή την διαστολική πίεση του ασκούμενου. Σε αντιδιαστολή, έχουν γίνει έρευνες που υποστηρίζουν ότι το πλάτος της περιχειρίδας είναι μία μεταβλητή η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψιν καθώς υποστηρίζουν ότι οι φαρδιές μανσέτες (13cm) ασκούν μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμοζόμενης δύναμης και είναι πιο αποτελεσματικές και σε πιο χαμηλές πιέσεις αποκλεισμού σε σύγκριση με τις πιο στενές [16]. Νεότεροι ερευνητές προτείνουν ένα εύρος πιέσεων από 50mmHg το χαμηλότερο έως 300 mmHg το ανώτερο που αντιστοιχεί σε ποσοστό αποκλεισμού μεταξύ 40-80% της AOP, το οποίο κρίνεται ότι είναι κατάλληλο να επηρεάσει την απόδοση του αθλούμενου χωρίς όμως να λειτουργήσει αποτρεπτικά ως προς την ολοκλήρωση της προσπάθειας του [17],[18]. Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τρόπους υπολογισμού του αποκλεισμού της αιματικής ροής είναι βάση της συστολικής πίεσης του ατόμου, της περιφέρειας των άκρων ή με μια απλή μαθηματική εξίσωση όπου φουσκώνοντας τη περιμηρίδα έτσι ώστε να σταματήσει η ροή του αίματος (100% AOP) επιλέγεται τελικά το ποσοστό που κρίνεται κατάλληλο.

4. Μηχανισμοί δράσης του B.F.R

Ένας κυριολεκτικά μεταβολικός οργανισμός πυροδοτεί μία σειρά από καρδιοαναπνευστικές αλλαγές που δεν διαφέρουν από αυτές της άσκησης υψηλής έντασης (HIE). Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη συμπίεση στο αρτηριακό τοίχωμα κατά τη διάρκεια άσκησης μειώνει τον όγκο παλμού και την ενδοθηλιακή λειτουργία ενώ αυξάνει τον καρδιακό ρυθμό, τη συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση, το καρδιακό συστολικό στρες και διεγείρει το συμπαθητικό νευρικό σύστημα[19],[20], [21].Επιπροσθέτως μέσω της υποξίας παρατηρείται:

A) Στρατολόγηση των μυϊκών ινών της ταχείας συστολής.

Όπως γνωρίζουμε, υπό νορμοξικές συνθήκες, σε χαμηλής έντασης άσκησης ενεργοποιούνται κυρίως ίνες βραδείας συστολής. Όμως σε χαμηλής έντασης άσκησης με αποκλεισμό, φαίνεται ότι η παροχή οξυγόνου είναι ανεπαρκής για να υποστηρίξει τον αερόβιο μεταβολισμό των ινών βραδείας συστολής και έτσι καταφεύγει στην στρατολόγηση ινών ταχείας συστολής [22]

B) Πρόκληση μεγαλύτερης διάρκειας μεταβολικής οξέωσης λόγω της παγίδευσης και συσσώρευση ενδομυϊκών ιόντων υδρογόνου [23].

Γ) Δραστηριοποίηση των δορυφορικών κυττάρων όπως και πρόκληση αντιδραστικής υπεραιμίας μετά την αφαίρεση των Cuffs εξαιτίας των οποίων είχε προκληθεί ενδοκυτταρικό οίδημα.

Δ) Διέγερση μεταυποδοχέων που πιθανόν προκαλεί υπερβολική οξεία συστηματική ορμονική απόκριση με κυρίως αυτή της απελευθέρωσης αυξητικής ορμόνης και του ινσουλινομιμητικού αυξητικού παράγοντα 1 (IGF-1) που έχουν συσχετιστεί με την μυϊκή υπερτροφία [24].

Ε) Μεταβολικές προσαρμογές στο γρήγορο γλυκολυτικό σύστημα εξαιτίας της μειωμένης παροχής οξυγόνου. Επιπροσθέτως η δραστηριοποίηση του αντανεκλαστικού πίεσης [25] προκαλεί μια σειρά από καρδιαγγειακές αλλαγές εξαιτίας της σύσπασης των μυών πυροδοτώντας μια σειρά γεγονότων από μυϊκές και μεταβολικές αποκρίσεις σε τοπικό και συστηματικό επίπεδο. Αυτές οι περιφερειακές και τοπικές προσαρμογές δεν διαφέρουν από αυτές της άσκησης υψηλού φορτίου. Η αερόβια άσκηση βελτιώνει την ικανότητα αντοχής

μέσω της αύξησης των οξειδωτικών ενζύμων, της πυκνότητας των τριχοειδών και της περιεκτικότητας των μυών σε γλυκογόνο. Αυτές οι προσαρμογές στην προπόνηση με αποκλεισμό της αιματικής ροής φαίνεται πως ενισχύονται εξαιτίας της ισχαιμίας στους εργαζόμενους σκελετικούς μύες ωστόσο η στρατολόγηση των μυϊκών ινών ταχείας συστολής τύπου II γίνεται σε χαμηλότερες εντάσεις άσκησης [26]. Παρολ' αυτά ο τρόπος με τον οποίο επιδρά ο μηχανισμός του περιορισμού της αιματικής ροής δεν είναι απολύτως ξεκάθαρος ενώ περαιτέρω έρευνες θα συμβάλλουν στην διαλεύκανση του.

5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΙΜΑΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Η παρέμβαση αυτή του περιορισμού της αιματικής ροής (BFR) περιλαμβάνει άσκηση κατά την οποία ειδικοί ιμάντες (CUFFS) εφαρμόζονται στον μηρό στο ύψος της λεκάνης ή στα άνω άκρα όσο το δυνατό κοντά στον κορμό. Κατά το σφίξιμό τους προκαλούν εν μέρει περιορισμό της αρτηριακής ροής στο περισφιγμένο άκρο και αποκλεισμό της φλεβικής επιστροφής. Η συμπίεση των αγγείων των σκελετικών μυών έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση υποξίας εντός του μυϊκού ιστού [27] μερικό περιορισμό της ροής αρτηριακού αίματος σε δομές σε απόσταση από το περισφιγμένο άκρο καθώς και αύξηση της ενδομυϊκής πίεσης κάτω από την περιχειρίδα/περιμηρίδα [28] η οποία επηρεάζει την περαιτέρω κυκλοφορία. Σε συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προτεινόταν διάφοροι τρόποι προσδιορισμού του ποσοστού της απόφραξης καθώς υπάρχει και μεγάλο εύρος ερευνών με διαφορετικά ποσοστά αποκλεισμού της αιματικής ροής. Αυτό όμως που κυρίως υποστηρίζεται είναι ότι μία μέτρια /χαμηλή πίεση απόφραξης της τάξης του 30-40% είναι ικανή να προκαλέσει καρδιοαγγειακή απόκριση με ευεργετικά αποτελέσματα αποφεύγοντας τις αρνητικές συνέπειες του αποκλεισμού με υψηλότερες πιέσεις καθώς και τον κίνδυνο που έγκειται από αυτές[28][29]. Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά ότι υψηλότερα ποσοστά πιέσεων όχι μόνο δεν βελτιώνουν αλλά αντιθέτως μπορεί να προκαλέσουν μείωση της απόκρισης (πχ μυϊκή δραστηριότητα) [30]. Με ειδικό DOPPLER ανίχνευσης του παλμού προκαλείται 100% απόφραξη της ροής του αίματος, (100% AOP) και στη συνέχεια με μία απλή μαθηματική εξίσωση υπολογίζεται το προτεινόμενο ποσοστό. Αν και το πλάτος των περιμηρίδων που χρησιμοποιείται βιβλιογραφικά έχει ένα εύρος της τάξης 3-20χιλ[31] πρόσφατη έρευνα διαπίστωσε ότι η εφαρμογή πίεσης ως 50 % του AOP εφαρμόζοντας τρεις

μανσέτες διαφορετικού μεγέθους προκαλεί παρόμοια αλλαγή στη ροή του αίματος σε ηρεμία[32]. Επιπλέον, τόσο οι ελαστικές όσο και οι νάιλον μανσέτες έχουν χρησιμοποιηθεί και έχουν δείξει εξίσου ευεργετικές μυϊκές προσαρμογές. Τέλος η πίεση που ασκείται στο περισφιγμένο άκρο μπορεί να προκαλέσει πόνο η και ορατό πρήξιμο σε κάποιες περιπτώσεις όμως δεν έχει τεκμηριωθεί ότι υπάρχει αυξημένος κίνδυνος με τη μέθοδο άσκησης με BFR σε σχέση με την παραδοσιακή μορφή άσκησης [16] [33].



Εικ 3. Τοποθέτηση της ειδικής μάσκα εργοσπιρομέτρησης.

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ

Τις τελευταίες δεκαετίες η μέθοδος του αποκλεισμού της αιματικής ροής (Blood flow restriction) έχει κερδίσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Όλο και περισσότερες μελέτες πραγματοποιούνται για να επιβεβαιωθούν τα οφέλη του BFR στην ανάπτυξη της δύναμης, της μυϊκής υπερτροφίας όπως και τις χρόνιες ή άμεσες επιδράσεις αυτής της μορφής προπόνησης στην αερόβια και αναερόβια ικανότητα του οργανισμού. **Σκοπός της παρούσας μελέτης** είναι να δώσει περισσότερα στοιχεία όσον αφορά τις οξείες αποκρίσεις του οργανισμού κατά το τρέξιμο αυξανόμενης έντασης μέχρι κόπωσης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δέκα πέντε άτομα, άνδρες, ερασιτέχνες, (age: 35.7 ± 10.1 yrs., Height: 176.3 ± 5.7 cm, body mass: 73.6 ± 5.0 kg; Πίνακας 1) απόλυτα υγιείς και χωρίς κάποιο ορθοπεδικό ή καρδιοαναπνευστικό πρόβλημα, συστηματικά αθλούμενοι δρομείς (VO_{2max} $51,41 \pm 5,2$ ml/kg/min, 4 προπονήσεις/εβδομάδα, Μ.Ο. όγκου προπόνησης 50 km/εβδομάδα; Πίνακας 2) προσήλθαν στο εργαστήριο της Ιατρικής Σχολής για να λάβουν μέρος στην εν προκειμένω έρευνα. Το πρωτόκολλο προέβλεπε τρεις επισκέψεις στο εργαστήριο της Φυσιολογίας στην Ιατρική Σχολή της Αθήνας.

Κατά την πρώτη, πιλοτική, επίσκεψη γινόταν εξοικείωση των αθλητών με τον εξοπλισμό και τις πειραματικές διαδικασίες και καταγραφή των επιδόσεων τους σε διάφορες αποστάσεις που είχαν τρέξει. Η επιλογή της ταχύτητας στον διάδρομο με την οποία θα ξεκινούσε την κύρια δοκιμασία ο αθλητής ήταν υποκειμενική. Στόχος των ερευνητών ήταν να γίνει όσο το δυνατόν πιο ακριβής εκτίμηση του επιπέδου του αθλούμενου ώστε να ολοκληρωθεί σωστά το πρωτόκολλο και ο δοκιμαζόμενος να εξαντλείται μέσα σε 8-12 λεπτά. Στη συνέχεια εκτελούσε πιλοτική δοκιμασία που στόχο είχε να εξοικειωθεί με τη διαδικασία και να τεκμηριωθούν οι σωστές αρχικές εκτιμήσεις. Τα άτομα πραγματοποιούσαν δύο ακόμα, κύριες, μετρήσεις στις οποίες επιλέγονταν με τυχαία και αντισταθμιστική σειρά.

Αρχικά γίνονταν σωματομετρικές μετρήσεις (ύψος, βάρος, λιπομέτρηση, κορεσμός οξυγόνου, και δυο επαναλαμβανόμενες λήψεις πίεσης σε ηρεμία. Το βάρος- ύψος μετρήθηκαν σε ζυγαριά και αναστημόμετρο ακριβείας ενώ ο προσδιορισμός του ποσοστού λίπους έγινε με δερματοπτυχόμετρο. (*Harpندن Skinfold Caliper*). Στη συνέχεια ανέβαιναν στο διάδρομο (Cosmed) για να κάνουν προθέρμανση συνολικά περίπου 10-15 λεπτά. Όλες οι μετρήσεις γίνονταν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και στις δυο συνθήκες (CONTROL – BFR). Ειδικότερα όμως στην περίπτωση του BFR συμπεριλαμβανόταν και η διαδικασία του αποκλεισμού 40% A.O.P με μανσέτες 10 cm [Εικ.1]. Στο πρωτόκολλο υπήρχε ως προϋπόθεση ο περιορισμός της απόφραξης να γίνεται την ίδια μέρα και λίγο πριν την έναρξη της ερευνητικής δοκιμασίας. Πιστοποιημένος ερευνητής, υπεύθυνος για την διαδικασία της απόφραξης, χρησιμοποιώντας ένα Doppler αγγείων ανίχνευε τον παλμό του ασκούμενου και εφάρμοζε πίεση μέχρι να σταματήσει η οποιαδήποτε ένδειξη (100% AOP). Αφού εντοπιζόταν το σημείο του πλήρους αποκλεισμού γινόταν απελευθέρωση, με ξεφούσκωμα της περιμηρίδας και η διαδικασία επαληθευόταν για δεύτερη φορά. Μέσω μίας απλής μαθηματικής εξίσωσης οριζόταν το ποσοστό 40% που είχε αποφασιστεί εξαρχής. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόταν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο σε κάθε ασκούμενο, προκειμένου να γίνει πιστή εφαρμογή του πρωτοκόλλου.

Στην δεύτερη επίσκεψη γινόταν βασική εφαρμογή του πρωτοκόλλου όπου με τυχαία σειρά τα άτομα εκτελούσαν συνθήκη με ή χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής. Αφού ολοκληρώνονταν οι προκαθορισμένες μετρήσεις αλλά και η προθέρμανση όπως ακριβώς περιγράφηκαν παραπάνω, τοποθετούνταν στα άτομα η ειδική μάσκα της εργοσπιρομέτρησης (Εικ. 3) και έμπαιναν στο δαπεδοεργόμετρο (διάδρομος COSMED) για μέγιστη καρδιοαναπνευστική προσπάθεια με ή χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής (BFR). Πριν από κάθε μέτρηση οι αναλυτές αναπνευστικών αερίων αλλά και ο πνευμονοταχογράφος βαθμονομούνταν βάσει των οδηγιών των κατασκευαστών. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο γινόταν κάθε 90 sec αύξηση στην ταχύτητα τρεξίματος στο διάδρομο κατά 1Km/h με 0% κλίση. Σε όλη την διάρκεια της δοκιμασίας γίνονταν καταγραφή Breath by Breath όλων των παραμέτρων της φυσικής κατάστασης όπως $\dot{V}O_{2max}$ ml/min/kg, $\dot{V}O_{2max}$ ml/min, RQ, VE/ $\dot{V}O_2$, VE/ $\dot{V}CO_2$, την ταχύτητα στην $\dot{V}O_{2max}$ ($v \dot{V}O_{2max}$), δρομική οικονομία, αναερόβιο κατώφλι (AT) ενώ καταγραφόταν με ειδική, κλίμακα Borg, στα τελευταία 15 sec του κάθε σταδίου, το αντιλαμβανόμενο από τον ασκούμενο επίπεδο κόπωσης. Η κλίμακα

Borg είχε διαβάθμιση από 6-7 (εξαιρετικά ήπια) μέχρι 19-20 (εξαιρετικά έντονη). Επίσης γινόταν καταγραφή και για την υποκειμενική αντίληψη του πόνου με μία αντίστοιχη κλίμακα διαβάθμισης από 0 (καθόλου πόνος) έως 9-10 (αβάσταχτος πόνος). Η καρδιακή συχνότητα (HR) μετρήθηκε με τη μέθοδο της τηλεμετρίας (Polar Sports Tester). Ως $\dot{V}O_2\max$ ορίστηκε η μέγιστη μέση τιμή των 30 τελευταίων δευτερολέπτων στο τελευταίο στάδιο της δοκιμασίας η οποία έπρεπε να πληροί τα εξής κριτήρια α) το αναπνευστικό πηλίκο να είναι μεγαλύτερο της μονάδας β) αδυναμία του ασκούμενου να συνεχίσει την άσκηση γ) καρδιακή συχνότητα όχι μεγαλύτερη από $\pm 10 \text{ beats}/\text{min}^{-1}$ από τη μέγιστη προβλεπόμενη με βάση την ηλικία (220-ηλικία). Στο τέλος της δοκιμασίας οι ασκούμενοι καθόταν σε καρέκλα και συνεχιζόταν οι καταγραφές των δεδομένων αποκατάστασης για τα επόμενα πέντε λεπτά. Γίνονταν επανειλημμένα έλεγχοι στην πίεση των περιμερίδων προκειμένου να ελεγχτεί η απώλεια η μη της πίεσης τους τόσο στην αρχή όσο και στο τέλος της άσκησης. Παρατηρήθηκε μία απώλεια στην πίεση των περιμερίδων της τάξης του 4% κατά μέσο όρο στο κάθε πόδι σε σχέση της αρχικής με την τελική μέτρηση. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο φυσιολογίας της άσκησης στην Ιατρική Σχολή Αθηνών με την παρουσία εξειδικευμένου ιατρικού προσωπικού. Οι ασκούμενοι ολοκλήρωσαν την διαδικασία χωρίς να παρουσιάσουν κάποιο σύμπτωμα, δυσφορία ή ενόχληση. Η διαδικασία ολοκληρωνόταν όταν επανέρχονταν σε κανονικά επίπεδα οι φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού πχ, η καρδιακή συχνότητα η αρτηριακή πίεση κτλ. Η έρευνα χαρακτηρίζεται ως cross-over διασταυρωμένη όπου οι ασκούμενοι επαναλάμβαναν την μέτρηση είτε ως συνθήκη control είτε ως BFR ολοκληρώνοντας με αυτό τον τρόπο και **την τρίτη επίσκεψη στο εργαστήριο**. Οι δυο κύριες μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε σύντομο μεταξύ τους χρονικό διάστημα, δηλαδή εντός δεκαπέντε ημερών, ώστε να μην έγκειται κίνδυνος διαφοροποίησης της αρχικής φυσικής κατάστασης των εθελοντών. Επίσης οι ασκούμενοι έπρεπε να ακολουθούν ίδιες διατροφικές επιλογές μία ημέρα πριν και την ημέρα της μέτρησης και στις δυο συνθήκες (CONTROL- BFR) και να απέχουν από κάπνισμα ή ποτό. Τέλος συνίστατο να υπάρχει απόλυτη αποχή από άσκηση δύο ημέρες πριν την προγραμματισμένη κύρια μέτρηση.

Πίνακας 1: Σωματομετρικά χαρακτηριστικά εθελοντών (mean \pm SD/SE).

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
MEAN	35,7	176,3	73,5	23,6
SD	10,1	5,7	5,1	1,7
SE	2,6	1,5	1,3	0,4

Πίνακας 2: Επιδόσεις αθλούμενων και προπονητικά δεδομένα.

	TIMES /WEEK	KM/WEEK	10KM RECORD
MEAN	4 -5 TIMES	50 KM/WEEK	42:00:00

ΗΘΙΚΗ ΚΑΙ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑ

Οι εθελοντές ήταν πρόσφατα και πλήρως ιατρικώς ελεγμένοι και στις μετρήσεις παρευρισκόταν εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Οι συμμετέχοντες ήταν απόλυτα ενημερωμένοι για την διαδικασία και τις προϋποθέσεις που έπρεπε να εναρμονιστούν. Προς επιβεβαίωση των παραπάνω τους δόθηκε έντυπο συγκατάθεσης το οποίο έπρεπε να μελετήσουν και να υπογράψουν.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των δεδομένων πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία τους χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα SPSS. Καταγράφηκαν όλες οι τιμές από την ΚΑΔΚ και έγινε η ανάλυση τους. Έγινε έλεγχος κανονικότητας (Shapiro-Wilk Normality Test) σε όλες τις μεταβλητές και έγινε σύγκριση και ανάλυση των αποτελεσμάτων

χρησιμοποιώντας ανάλογα Paired samples T-Test ή Wilcoxon matched paired Test για όσες μ ακολουθούσαν κανονική ή όχι κανονική κατανομή μεταβλητές αντίστοιχα. Για σύγκριση μεταβλητών που πραγματοποιούνταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές χρησιμοποιήθηκε 2-way ANOVA. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $p \leq 0.05$.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

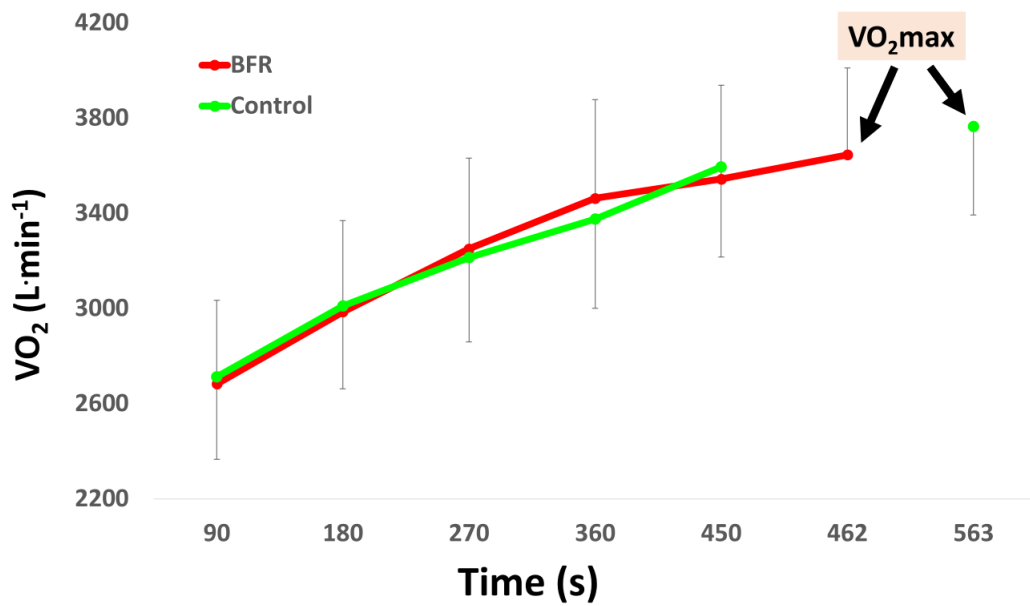
Στους ασκούμενους, των οποίων τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά όπως και το αθλητικό τους προφίλ παραθέτονται στο παράρτημα (πίνακες 5-6) μετρήθηκε η αρτηριακή πίεση πριν την προθέρμανση σε κατάσταση απόλυτης ηρεμίας και αμέσως μετά την ολοκλήρωση της άσκησης αυξανόμενης έντασης μέχρι εξάντλησης. Η *Συστολική πίεση* άσκησης στη συνθήκη control ήταν $177,5 \pm 25,2$ mmHg ενώ η αντίστοιχη *διαστολική* πίεση (Σχ. 11) ήταν $83,7 \pm 8,9$ mmHg και κατά τον αποκλεισμό, η *συστολική πίεση* ήταν BFR $169,5 \pm 19,5$ mmHg ($p=0,33$) και *διαστολική* πίεση $81,3 \pm 10,9$ mmHg ($p=0,50$). Στο σχεδιάγραμμα της συστολικής πίεσης (Σχ. 12) φαίνεται η σύγκριση των μεγεθών στις συνθήκες αντίστοιχα Control και BFR στο τέλος της άσκησης για κάθε εθελοντή ενώ με τον ίδιο τρόπο αποτυπώνονται στο σχεδιάγραμμα 11 και οι τιμές της διαστολικής πίεσης όπως αυτή καταγράφηκε στο τέλος της προσπάθειας των ασκούμενων. Αντίστοιχα μετρήθηκαν το *αναπνευστικό πηλίκο* *RQ max control* $1,20 \pm 0,1$ και *RQ max BFR* $1,19 \pm 0,5$ ($p=0,80$), το πηλίκο του *VE/VO2* (Σχ.9) και *VE/VCO2* (Σχ.10).

Όπως φαίνεται στο Σχ. 9 στις χρονικές στιγμές 180, 270 και 360 το πηλίκο *VE/VO2* κατά την συνθήκη BFR ήταν υψηλότερο ($p < 0.01$). Επίσης, στις χρονικές στιγμές 180, 270, 360 και στο τέλος της άσκησης (END) το πηλίκο *VE/VCO2* κατά την συνθήκη BFR ήταν επίσης υψηλότερο (Σχ. 10) ($p < 0.05$). Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα *HRmax BFR*: 185 ± 9 Vs. C: 187 ± 11 b/min ($p > 0.05$), στο τέλος της άσκησης, στη μέγιστη προσπάθεια των αθλητών δεν είχε στατιστική διαφορά κυμάνθηκε δηλαδή στα ίδια επίπεδα και για τις δύο συνθήκες. Όπως όμως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα 6 ,αποτύπωσης της διακύμανσης της καρδιακής συχνότητας υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση του μηχανισμού αποκλεισμού της αιματικής ροής και διαφορά σε όλες τις υπόλοιπες χρονικές στιγμές 180-450sec μεταξύ των δύο συνθηκών ($p < 0,05$).

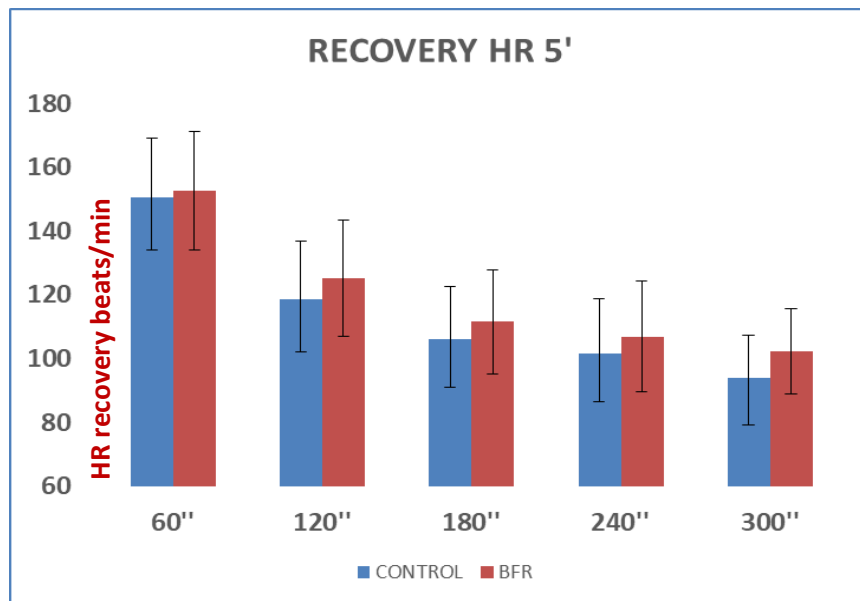
Σε φυσιολογικό επίπεδο κινήθηκε η διακύμανση της καρδιακής συχνότητας στο πρώτο λεπτό της αποκατάστασης χωρίς διαφορές ανάμεσα στις δύο συνθήκες [Σχ.2]. Επίσης, διαφοροποίηση παρατηρούμε να υπάρχει στον χρόνο άσκησης (Σχ.5, Πίν.3β) (*TIME BFR: 476.7 ± 83.3 Vs. TIME C: 606.1 ± 80.0 s p=0.001*) αλλά και στην ταχύτητα που έτρεξαν στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ανάμεσα στις δύο συνθήκες (Σχ.4, Πίν3α) (*SPEED VO₂max BFR: 16.7 ± 1.4 Vs. SPEED VO₂max Control: 17.99 ± 1.68 km/h*) όπου μειώθηκαν σημαντικά στην συνθήκη του αποκλεισμού της αιματικής ροής ($p < 0,001$).

Διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στην κλίμακα *Borg* με την οποία κατεγράφησαν η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης των ασκούμενων (Μέσος όρος: *BORG BFR: 17.3 ± 1.2 Vs. C: 16.2 ± 1.7*) (Σχ. 8, Πίν. 4α, 4β) καθώς και στην *10-point pain scale* [Μέσος όρος τέλους της άσκησης (*END*): *BFR: 7.8 ± 1.2 Vs. C: 5.5 ± 2.1*] ($p < 0.05$) (Σχ. 7) όπου ήταν και στις δύο περιπτώσεις *υψηλότερες* οι τιμές στην συνθήκη με τον αποκλεισμό της αιματικής ροής. Επιπροσθέτως η κατανάλωση O₂ όπως αυτή μετρήθηκε σε τέσσερις κοινές υπομέγιστες ταχύτητες και για τις δύο συνθήκες αποδίδοντας την δρομική οικονομία δεν διαφοροποιήθηκε (Σχ. 1, $p > 0, 05$) ενώ η ταχύτητα στο αναερόβιο κατώφλι (*BFR 13,3±1,3 Vs Con 14,0 ±1,8 km/h*) ήταν χαρακτηριστικά υψηλότερη ($p=0,017$) στην συνθήκη control. Σημαντικό εύρημα για την έρευνα μας αποτελεί η τιμή ενός από τους πιο σημαντικούς μηχανισμούς, του θεμελιώδους δείκτη της φυσικής κατάστασης, αυτού της μέγιστης *πρόσληψης οξυγόνου. Αν και όπως συμπεράναμε από τα παραπάνω τόσο η ταχύτητα όσο και ο χρόνος άσκησης διαφοροποιήθηκαν και μειώθηκαν κατά την εφαρμογή των περιμηρίδων, ωστόσο η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου δεν διαφοροποιήθηκε στις δύο συνθήκες είτε εκφρασμένη σε σχετικές (*BFR 49,7±4,9 Vs Control 51,4±5,2ml/kg/min*) ($p=0.097$) είτε σε απόλυτες τιμές (*BFR 3,65±0,37 Vs Control 3,76±0,37 lit/min*) ($p=0.21$).

«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»

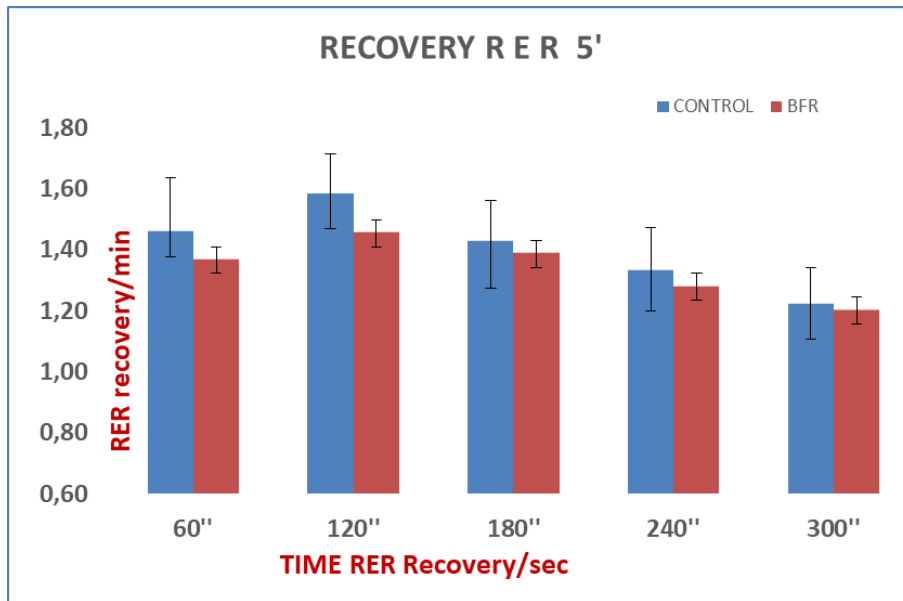


Σχ. 1: Σχεδιάγραμμα πρόσληψης Οξυγόνου.

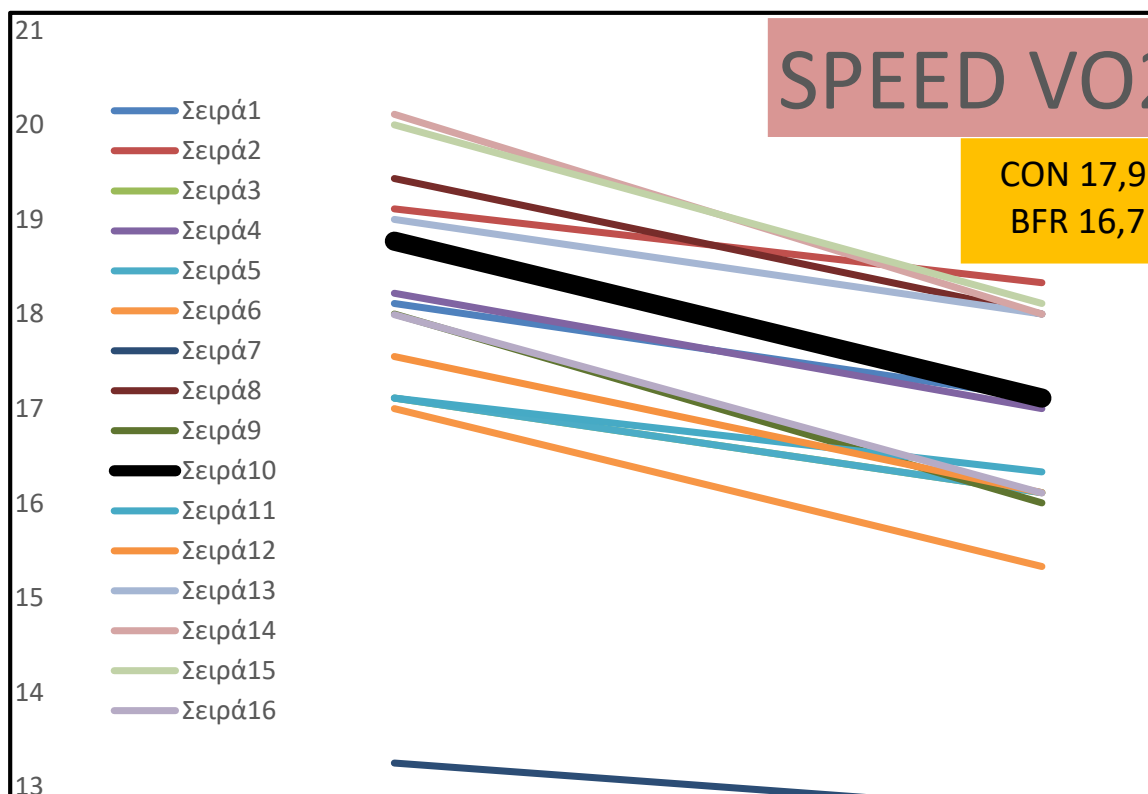


Σχ 2. Σχηματική παράσταση του καρδιακού ρυθμού αποκατάστασης στα 5 πρώτα λεπτά (CON/BFR)

«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»



Σχ 3. Σχηματική παράσταση της αποκατάστασης του αναπνευστικού πηλίκου (RER) στα 5' πρώτα λεπτά. (CON/BFR)



Σχ. 4: Σχεδιάγραμμα SPEED στην VO₂max που έτρεξε ο κάθε ασκούμενος στις δύο συνθήκες (Control/BFR). Η έντονη μαύρη γραμμή (Σειρά 10) είναι ο μέσος όρος του δείγματος

Πίν.3α Μέσοι όροι τιμών ταχύτητας στη VO2max και στο αναερόβιο κατώφλι (AT)

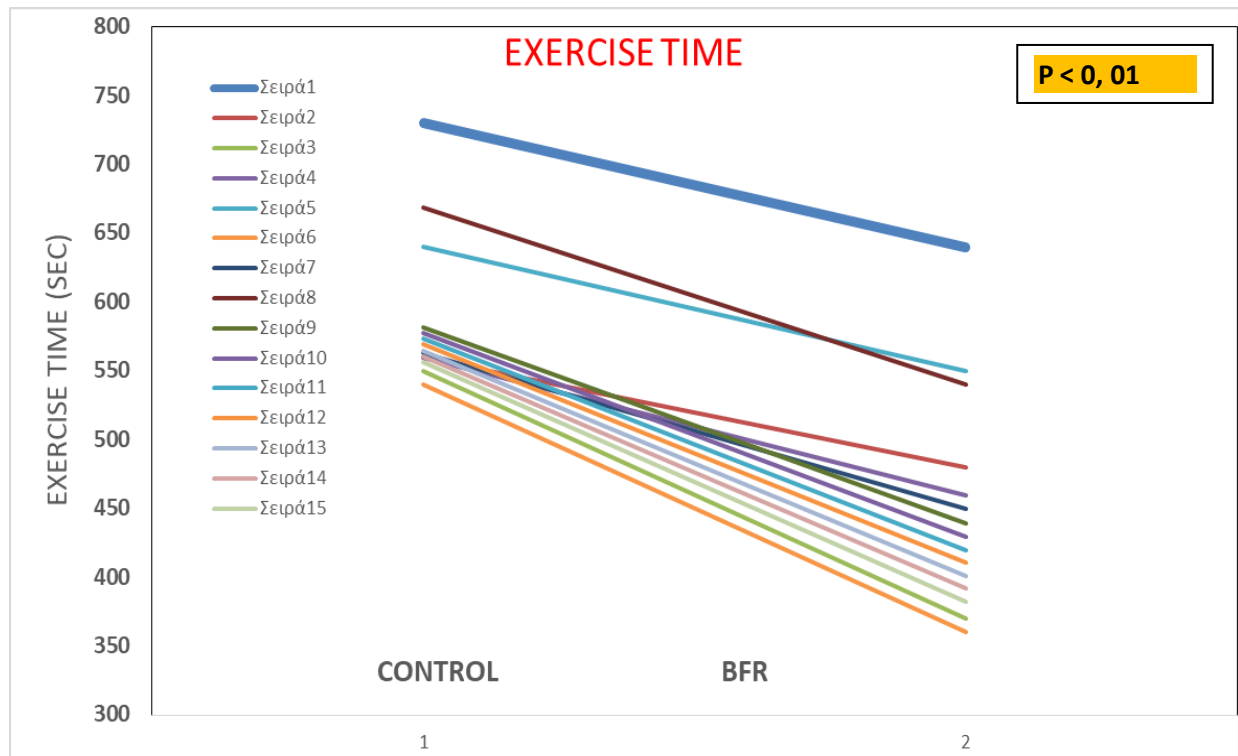
Πιν.3β Μέσοι όροι χρόνου άσκησης στη Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και στο τέλος της προσπάθειας.

Control: SPEED $\dot{V}O_{2max}$ $17,99 \pm 1,68$ Km/h
SPEED AT $14 \pm 1,8$ Km/h

BFR: SPEED $\dot{V}O_{2max}$ $16,7 \pm 1,4$ Km/h
SPEED AT $13,3 \pm 1,3$ Km/h

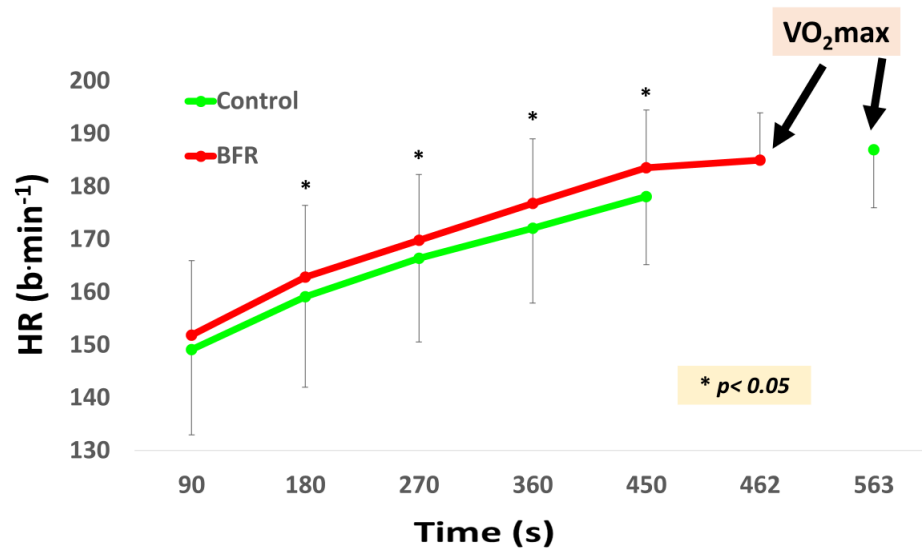
Control: Time VO2max $564,0 \pm 79,5$ s
Total Exercise Time $606,1 \pm 80,0$ s

BFR: Time VO2max $462 \pm 75,0$ s
Total Exercise Time $476,7 \pm 83,3$ s

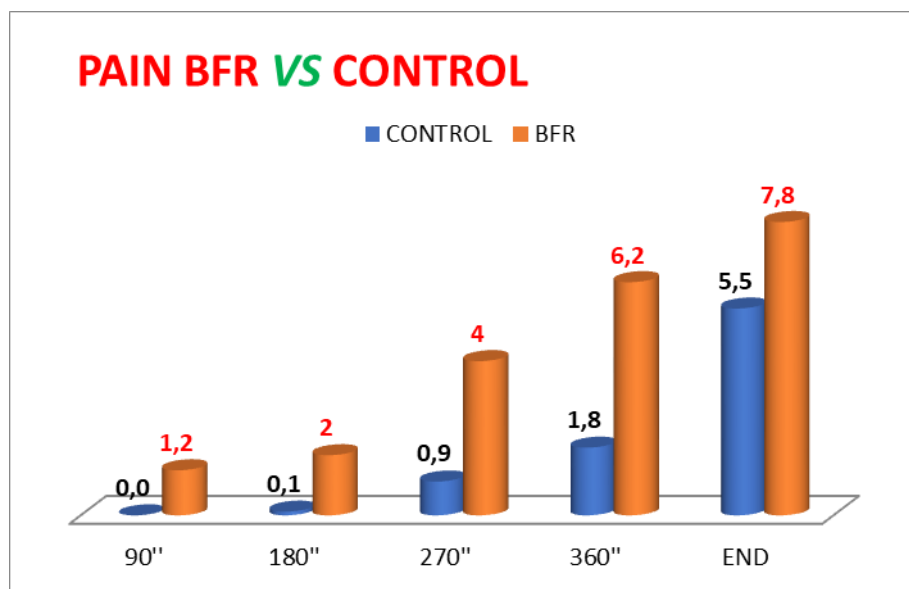


Σχ.5 Χρόνος άσκησης στις δύο συνθήκες (control-BFR)

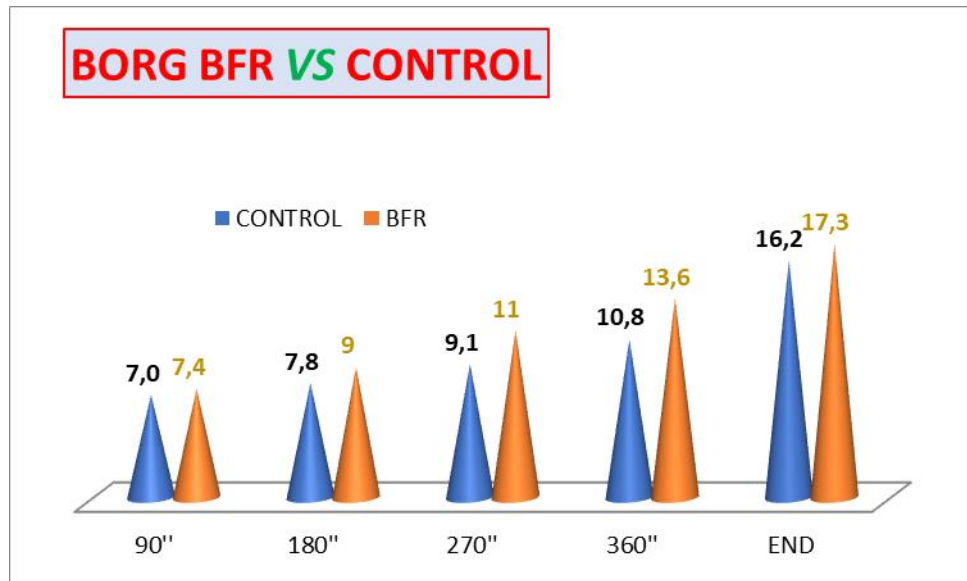
«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»



Σχ. 6 Σχεδιάγραμμα της διακύμανσης της καρδιακής συχνότητας στις δύο συνθήκες. Με αστερίσκο σημειώνονται οι χρονικές στιγμές όπου ο μηχανισμός του BFR επέδρασε στους αθλούμενους (p* < 0.05)



Σχ.7 Υποκειμενική αντίληψη του πόνου.



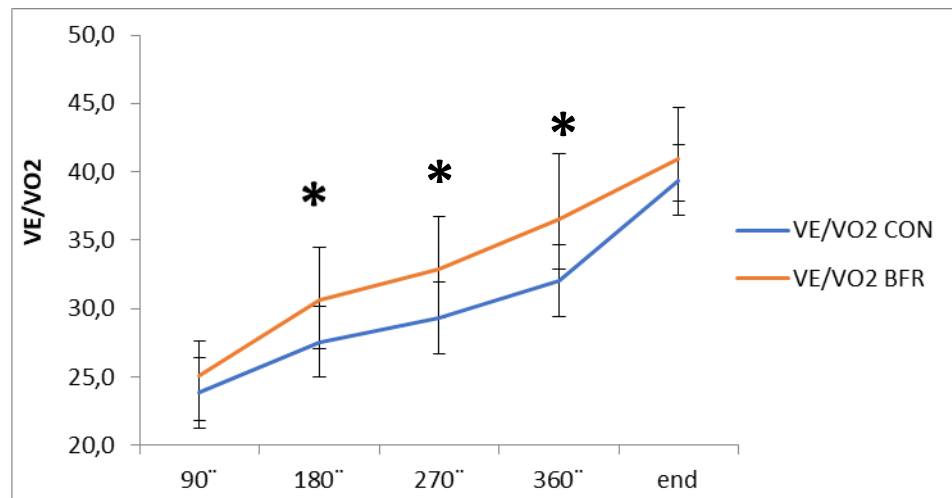
Σχ.8 Σχεδιάγραμμα υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4α MEAN BORG CONTROL ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

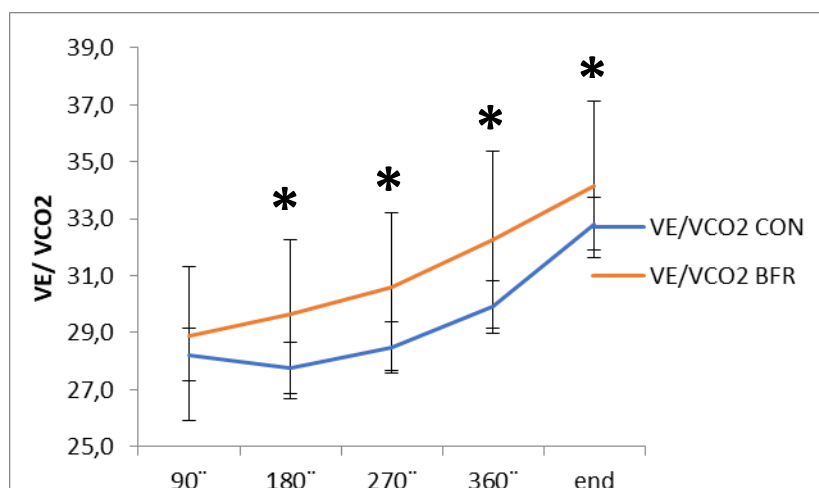
TIME/sec	90"	180"	270"	360"	450"	540"	630"	720"	END/MAX
MEAN	7,0	7,8	9,1	10,8	12,6	14,9	16,1	18,0	16,2
SD BORG	1,2	1,3	1,7	2,0	1,5	1,6	0,9	1,0	1,7
SE BORG	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3	0,4

ΠΙΝΑΚΑΣ 4β MEAN BORG BFR ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

TIME/sec	90"	180"	270"	360"	450"	540"	630"	720"	END/MAX
MEAN	7,4	8,9	11,4	13,6	15,8	17,4	17,5	0	17,3
SD BORG	1,3	1,8	2,4	2,4	1,9	1,3	0,7	0	1,2
SE BORG	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0	0,3

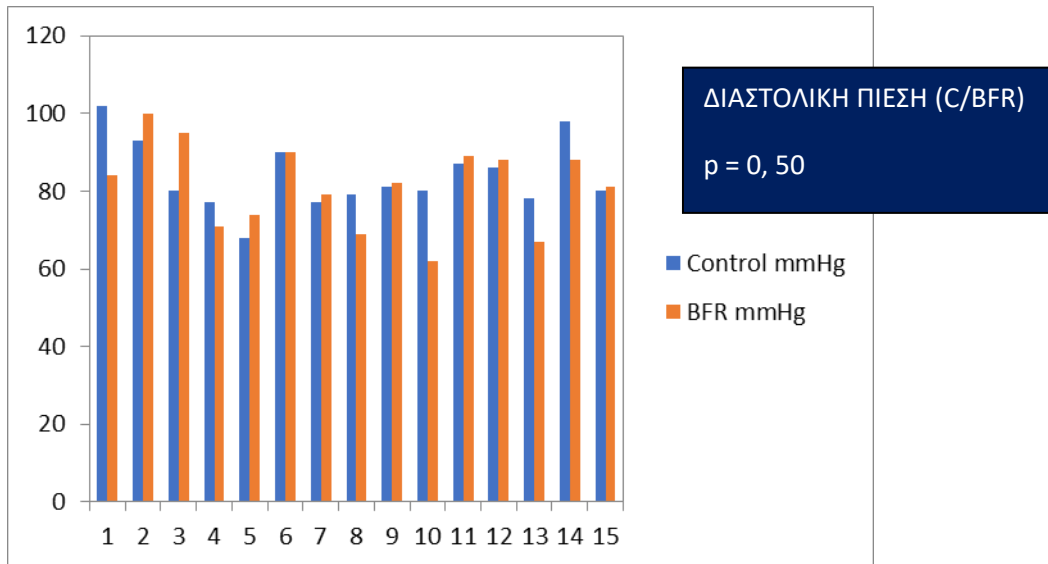


Σχ 9. Διαβάθμιση του πνευμονικού αερισμού στα διάφορα χρονικά στάδια της άσκησης σε σχέση με την κατανάλωση O_2 (* $p < 0.01$ από CON)

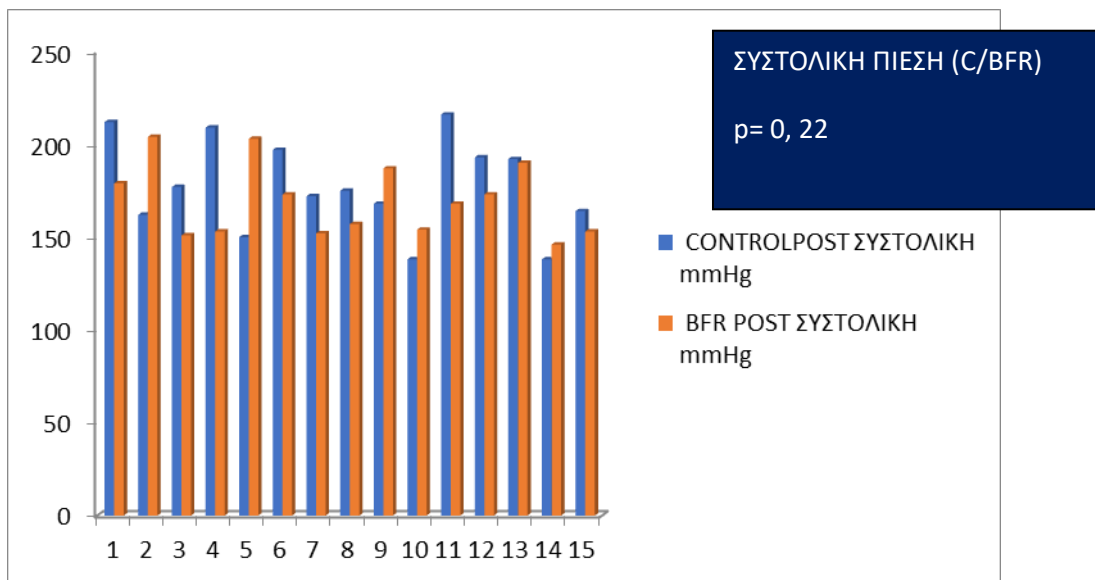


Σχ 10. Διαβάθμιση του πνευμονικού αερισμού στα διάφορα στάδια της άσκησης σε σχέση με τη παραγωγή CO_2 (* $p < 0.05$ από CON)

«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»



Σχ.11 Διακύμανση της Διαστολικής πίεσης στο τέλος της άσκησης (Control/BFR)



Σχ.12 Διακύμανση της Συστολικής πίεσης στο τέλος της άσκησης (Control/BFR)

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η συγκεκριμένη πρωτότυπη εργασία είχε στόχο να μελετήσει τις οξείες αποκρίσεις του αθλούμενου οργανισμού σε ένα αυξανόμενης έντασης πρωτόκολλο τρεξίματος σε δαπεδοεργόμετρο μέχρι εξάντλησης, με αποκλεισμό 40% του A.O.P. Βασική αρχή της διερεύνησης μας υπήρξε ότι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, που αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο της φυσικής κατάστασης- υγείας, επηρεάζεται και περιορίζεται από κυρίως δυο βασικούς παράγοντες, τους κεντρικούς, όπως π.χ. η ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο [34][35], τη διαχυτική ικανότητα των πνευμόνων, την καρδιακή παροχή και από περιφερικούς παράγοντες όπως πχ. το επίπεδο των μιτοχονδριακών ενζύμων και τη τριχοειδική πυκνότητα[36][37].

Πολλές μελέτες καταδεικνύουν ότι η μέθοδος με αποκλεισμό της αιματικής ροής αποτελεί ένα φυσικό διεγερτικό, ένα εναλλακτικό ερέθισμα τόσο για κεντρικές όσο κυρίως για περιφερικές προσαρμογές [38]. Η μη επάρκεια οξυγόνου προκαλεί έντονο μεταβολικό στρες στους εργαζόμενους μύες, αυξημένη οξειδωτική ενζυμική δραστηριότητα (κιτρική συνθάση, γαλακτική αφυδρογονάση), τριχοειδική πυκνότητα, μείωση του όγκου παλμού, αύξηση της καρδιακής συχνότητας και σχετίζεται άμεσα με το χρόνο κόπωσης κατά τη διάρκεια της άσκησης [37,39]. Από την στατιστική ανάλυση και μελέτη των δεδομένων της έρευνας μας προκύπτει ότι η άσκηση με *blood flow restriction* επέφερε διαφοροποίηση τόσο στο χρόνο που χρειάστηκε οι ασκούμενοι να ολοκληρώσουν την προσπάθειά τους όσο και στην ταχύτητα της άσκησης στην οποία κατάφεραν να τρέξουν κατά την επίτευξη της $\dot{V}O_{2max}$ ($\dot{V}O_{2max}$). Συγκεκριμένα, στη συνθήκη του αποκλεισμού της αιματικής ροής οι ασκούμενοι κατάφεραν να ολοκληρώσουν την προσπάθειά τους τρέχοντας σε ταχύτητα κατά μέσο όρο 16,11 km/h με διαφορά της τάξης του M.O 1,88km/h σε σχέση με την συνθήκη ελέγχου (17,99 km/h, Σχ. 4). Αντίστοιχα μειώθηκε και ο χρόνος άσκησης κατά M.O 130,8 sec (*TIME BFR: 476.7 ± 83.3 Vs. TIME C: 607.5 ± 80.0 sec για την* συνθήκη BFR σε σχέση με την συνθήκη Control [Σχ.5]. Αυτά τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα καθώς όπως αναφέρθηκε και πρωτίτερα, η περίσφιξη με ιμάντες έχει βιβλιογραφικά τεκμηριωθεί ότι περιορίζει την αρτηριακή ροή και σε μεγαλύτερο βαθμό εμποδίζει την φλεβική επιστροφή παγιδεύει μεταβολίτες στους εργαζόμενους μύες προκαλώντας αντίστοιχα με το ποσοστό περίσφιξης ποσοστά αποξυγόνωσης που δυσχεραίνουν την προσπάθεια των αθλούμενων [40]. Αντίστοιχη προσέγγιση με το ερευνητικό πρωτόκολλο της παρούσας έρευνας παρουσίασαν

οι *Geladas et al* [41] που σύγκριναν την επίδραση του βαθμού της μυϊκής οξυγόνωσης στην ικανότητα για άσκηση. Έξι υγιής άνδρες ακολούθησαν τέσσερις δοκιμασίες προοδευτικά αυξανόμενης έντασης μέχρι εξάντλησης σε κυκλοεργόμετρο χρησιμοποιώντας για τον αιματικό περιορισμό τρεις διαφορετικές πιέσεις στο 60mmHg -90 mmHg -120mmHg. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας επιβεβαιώνουν τα δικά μας ευρήματα καταγράφοντας στατιστικά σημαντική μείωση στο χρόνο άσκησης (*Time to exhaustion*) και στο PPO (*Peak Power Output*). Στο ίδιο πλαίσιο η *Χερουβείμ Ε* το 2018 [42] χρησιμοποίησε 26 άνδρες ηλικίας 33±2 ετών σε τρεις διαφορετικές συνθήκες με και χωρίς φλεβική απόφραξη όπου τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης έδειξαν ότι η εφαρμογή περιμηρίδων μείωσε αποτελεσματικά την μηριαία αιματική ροή, την μυϊκή οξυγόνωση και την PPO. Στο ερευνητικό μας πρωτόκολλο, το ποσοστό αποκλεισμού 40% επιλέχτηκε αφού λήφθησαν υπόψιν πολλές βιβλιογραφικές αναφορές που τεκμηριώνουν ότι άσκηση με μέτριες τιμές αποκλεισμού (40% μέχρι 60%) είναι ικανή να προκαλέσει μεταβολικό στρες που να δικαιολογεί καρδιοαναπνευστικές, μυϊκές προσαρμογές ίδιες με άσκηση από έρευνες που χρησιμοποιούν στο πρωτόκολλο τους ίδιο φορτίο αλλά υψηλότερες πιέσεις αποκλεισμού. Ομοίως μεγαλύτερες τιμές πιέσεων, μπορεί να οδηγήσουν σε πρόωρη κόπωση και εγκατάλειψη της προσπάθειας [40][41] επιβεβαιώνοντας επίσης την αρνητική επίδραση του βαθμού οξυγόνωσης στην ικανότητα για άσκηση όπου η χαμηλότερη μυϊκή οξυγόνωση συνοδεύτηκε από υψηλότερη αντιλαμβανόμενη αντίληψη της κόπωσης και υπολειτουργία του καρδιακού μυός (HR) [42]. Παρατηρώντας τα σχεδιαγράμματα 4 και 5 παρατηρούμε μία φυσιολογική και αναμενόμενη πτώση στην ταχύτητα όπως και στον χρόνο άσκησης των αθλούμενων η οποία δικαιολογείται επίσης, και σε σχέση με τα διαγράμματα 7 και 8 που είναι εμφανές ότι υπήρξε διαφοροποίηση στην κλίμακα υποκειμενικής αντίληψης τόσο της κόπωσης όσο και του πόνου. Η αντίληψη της κόπωσης (RPE) δηλαδή το πόσο έντονη, δύσκολη ή επίπονη αντιλαμβάνεται ο ασκούμενος την άσκηση που καλείται να φέρει εις πέρας βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την ένταση της άσκησης και είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την απόφαση της προσωπικής του δράσης.[43] Στο πρωτόκολλο που εφαρμόσαμε στην έρευνα μας οι τιμές των δεδομένων της συνθήκης Blood Flow Restriction στο τέλος της άσκησης είναι υψηλότερες τόσο σε σχέση την κλίμακα της κόπωσης αλλά και της κλίμακας του πόνου (Borg BFR 17,3 VS Control 16,2-Pain BFR 7,8 VS Control 5,5) από τις αντίστοιχες της ομάδας ελέγχου. Το γεγονός αυτό επίσης τεκμηριώνεται βιβλιογραφικά, αφού ο πόνος μπορεί λόγω ενεργοποίησης των ομώνυμων αισθητήρων να τροποποιήσει την

καρδιαγγειακή απόκριση κατά τον αποκλεισμό της μυϊκής αιματικής ροής με περιμηρίδες και η αισθητική ανατροφοδότηση από τις νευρικές απολήξεις τύπου III και IV να επιδράσει ανασταλτικά στην κεντρική κινητική εντολή και κατά συνέπεια στην ικανότητα για άσκηση υψηλής έντασης [44]. Ενδεικτικά αναφέρουμε την έρευνα των *Sylvie Gray S, Cuomo A et al 2023* [45] οι οποίοι χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικά πρωτόκολλα αποκλεισμού της αιματικής ροής στο 60% της A.O.P και στο 40% και κατέληξαν στο γεγονός ότι 60% A.O.P (Arterial Occlusion Pressure) προκάλεσε σημαντικά μεγαλύτερη απόκριση RPE (Ratings Perceptual Exertion) από την απόφραξη 40%.

Σε συνέχεια των παρατηρήσεων μας στα σχεδιαγράμματα 11 και 12 παρατηρούμε χαμηλές διαφοροποιήσεις όσον αφορά το στάδιο της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου δηλαδή στο τελευταίο στάδιο της άσκησης, ανάμεσα στις δύο συνθήκες, τόσο στις τιμές της συστολικής όσο και της διαστολικής πίεσης (*Systolic BFR POST 169,5 ± 19,5 Vs. C: 177.5 ± 25.2 and Diastolic BFR POST 83,7 ± 8,9 Vs. C: 81,3 ± 10,9mmHg, p > 0.05*). Βιβλιογραφικά κατά την άσκηση προοδευτικά αυξανόμενης έντασης η απόκριση της συστολικής πίεσης αυξάνεται ευθύγραμμα με την επιβάρυνση και εντείνεται παράλληλα με την αύξηση της μυϊκής προσπάθειας ενώ η διαστολική αρτηριακή πίεση μεταβάλλεται σε μικρότερο ποσοστό [35]. Στην ίδια λογική κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης καρδιαγγειακής άσκησης στο σημείο της εθελούσιας εξάντλησης, η πορεία της καρδιακής συχνότητας έχει τάση να φτάσει στο μέγιστο της δυνατής καρδιακής συχνότητας για τον συγκεκριμένο άνθρωπο και αυξάνεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της άσκησης ως απάντηση στην αυξημένη ζήτηση για οξυγόνο και ενέργεια από τους μύες που εργάζονται. Καθώς η ένταση της άσκησης αυξάνεται και οι μύες χρειάζονται περισσότερο οξυγόνο, η καρδιακή συχνότητα αυξάνει για να παρέχει τον απαιτούμενο όγκο αίματος και οξυγόνου στους μύες. Κατά την εθελούσια εξάντληση, η καρδιακή συχνότητα συνήθως φτάνει στο μέγιστο της και δεν μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω. Στο σχεδιάγραμμα [6] φαίνεται η πορεία της καρδιακής συχνότητας στο συγκεκριμένο ερευνητικό πρωτόκολλο όπου φυσιολογικά στη συνθήκη Control ,οι τιμές της αυξάνονται παράλληλα με την επιβάρυνση. Όταν όμως η αιματική ροή περιοριστεί ή υπάρξουν συνθήκες υποξίας, η καρδιαγγειακή συστολή θα μπορούσε να αντιμετωπίσει προβλήματα στη διατήρηση της ανάγκης αίματος και οξυγόνου στο σώμα. Σε αυτήν την κατάσταση, η καρδιακή συχνότητα μπορεί να εμφανίσει ένα εκ των δύο πιθανών σεναρίων:

α) Επιβράδυνση της καρδιακής συχνότητας: σε ένα περιβάλλον υποξίας ή όταν η αιματική ροή περιορίζεται, η καρδιακή συχνότητα μπορεί να επιβραδυνθεί ως αντίδραση για να μειωθεί η ανάγκη για αιματική ροή και οξυγόνο στο σώμα, ελαττώνοντας την ενεργειακή απαίτηση [42][46]

β) Αυξημένη καρδιακή συχνότητα [26] χωρίς αποτελεσματική αιματική ροή: σε ορισμένες περιπτώσεις, η καρδιακή συχνότητα ενδέχεται να αυξηθεί προσπαθώντας να αντισταθμίσει τη μειωμένη αιματική ροή, αλλά αυτή η αύξηση μπορεί να είναι ανεπαρκής για να διατηρήσει την απαιτούμενη παροχή οξυγόνου στους μύες. Στο συγκεκριμένο σχεδιάγραμμα [Σχ. 6] παρατηρούμε ότι υπήρξε επίδραση του πρωτοκόλλου του αποκλεισμού της αιματικής ροής στους ασκούμενους και διαφοροποίηση της καρδιακής συχνότητας κατά τις χρονικές στιγμές 180sec/270 sec/360sec /450s με στατιστικά σημαντική αύξηση της στην συνθήκη BFR Vs control η οποία εξομαλύνεται και εξισορροπείται στο τελικό στάδιο της άσκησης. Στο στάδιο δηλαδή της εθελούσιας εξάντλησης η καρδιακή συχνότητα κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα και στις δύο συνθήκες (BFR: 185 ± 9 Vs. C: 187 ± 11 b/min) ($p > 0.05$). Σε αντίστοιχες μελέτες που έχουν γίνει στη βιβλιογραφία όσον αφορά την καρδιακή συχνότητα σε άσκηση μέχρι εξάντλησης με και χωρίς περιορισμό της αιματικής ροής δίδονται οι *Geladas et al* (2009)[41] κατέγραψαν χαμηλότερη καρδιακή συχνότητα με την εφαρμογή περιμηρίδων στα κάτω άκρα (120 mmHg) καθώς και η *Χερουβείμ E* (2018)[42] κατέγραψε μείωση της τάξης του 9% στην εφαρμογή του αντίστοιχου πρωτοκόλλου με εφαρμογή ίδιας πίεσης στον αποκλεισμό 120 mmHg. Σε αντιδιαστολή, πρωτόκολλα ερευνών που εφάρμοσαν χαμηλότερα ποσοστά στην πίεση των περιμηρίδων (90mmHg) δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στη καρδιαγγειακή απόκριση κατά την άσκηση σε κυκλοεργόμετρο μέχρι εξάντλησης παρόλο που μειώθηκε το PPO [47]. Στο σημείο αυτό μπορούμε να επιβεβαιώσουμε τα συμπεράσματα των παραπάνω ερευνητών (*Geladas*, *Χερουβείμ*) οι οποίοι υποστήριξαν ότι ο βαθμός του περιορισμού της αιματικής ροής και κατά συνέπεια της μυϊκής οξυγόνωσης είναι συνυφασμένος με το χρόνο άσκησης και τη μέγιστη απόδοση. Θεωρητικά μπορούμε να υποθέσουμε πως στην έρευνα μας το πρωτόκολλο άσκησης αυξανόμενης έντασης μέχρι εξάντλησης με αποκλεισμό της αιματικής ροής με περιορισμό 35-40% της Α.Ο.Ρ. δυσκόλεψε την προσπάθεια των ασκούμενων, επέδρασε στην απόδοση τους όσον αφορά το χρόνο και την ταχύτητα που κατάφεραν να τρέξουν, όμως το ποσοστό του αποκλεισμού επέτρεψε στο καρδιαγγειακό τους σύστημα να υπερκεράσει την μειωμένη παροχή οξυγόνου και οι

ασκούμενοι να συνεχίσουν χωρίς να εγκαταλείψουν πρόωρα την δοκιμασία και χωρίς αυτό να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα όπως φαίνεται από τις καρδιαγγειακές αποκρίσεις των εθελοντών [Σχ 6, 9-12].

Στο στάδιο της Μέγιστης Πρόσληψης Οξυγόνου (End) και στα χρονικά σημεία 180-360 παρατηρούμε υψηλότερες τιμές στο πηλίκο VE/VCO₂ στην συνθήκη BFR (Σχ. 10). Αντίστοιχες υψηλότερες τιμές στο πηλίκο VE/VO₂ παρατηρήθηκαν στα χρονικά διαστήματα 180-360 επίσης κατά την συνθήκη BFR (Σχ. 9). Στην αντίστοιχη έρευνα της *Χερουβείμ Ευγενίας* [42] η εφαρμογή αποκλεισμού με περιμηρίδες δεν επέφερε στατιστικά σημαντική μεταβολή στις αναπνευστικές παραμέτρους κατά το τέλος της άσκησης συγκριτικά στα δύο πρωτόκολλα. Ωστόσο θα ήταν ενδιαφέρον να βλέπαμε πως επέδρασε ο περιορισμός της αιματικής ροής στα επιμέρους χρονικά στάδια κατά την άσκηση γεγονός για το οποίο δεν έχουν δοθεί στοιχεία στην συγκεκριμένη διατριβή.

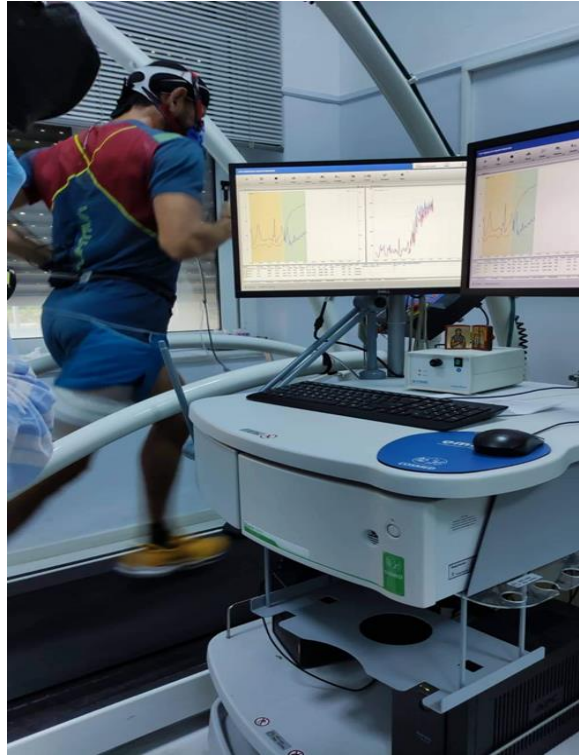
Μετά την ανάγνωση όλων των παραπάνω με θετική έκπληξη, παρατηρείται στο σχεδιάγραμμα 1 ότι η τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, δεν επηρεάστηκε και δεν διαφοροποιήθηκε ανάμεσα στις δύο συνθήκες. Παρότι, και η ταχύτητα και ο χρόνος άσκησης διαφοροποιήθηκαν, οι αθλούμενοι επίτευξαν την ίδια σχεδόν $\dot{V}O_2\max$ στην ομάδα **Control** και στην ομάδα **BFR** δηλαδή και στην συνθήκη με και στη συνθήκη χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής. Τα δεδομένα αυτά βρίσκονται σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες έρευνες [41][42] κατά τις οποίες η εφαρμογή περιμηρίδων σε άσκηση που είχε πραγματοποιηθεί σε κυκλοεργόμετρο είχε ως συνέπεια να περιοριστεί η μέγιστη καρδιαγγειακή απόκριση και να τερματιστεί η άσκηση συντομότερα με μικρότερο PPO αλλά και με μειωμένη $\dot{V}O_2\max$ ενώ όμως συμφωνεί με τους *Gallagher 2001* [47] στην έρευνα των οποίων (αποκλεισμός 90mmHg) δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην καρδιακή συχνότητα, στη συστολική πίεση στις ίδιες απόλυτες εντάσεις αλλά και στην Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου. Ένας παράγοντας που υποθετικά μπορεί να επέδρασε στη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων είναι το διαφορετικό πρωτόκολλο που ακολούθησαν οι ασκούμενοι αλλά και σε μεγάλο βαθμό ο διαφορετικός βαθμός πίεσης που χρησιμοποιήθηκε για τον αποκλεισμό της αιματικής ροής. Αξίζει επίσης να σημειώσουμε ότι σύμφωνα με τους *Rossmann MJ et al.* [48] η εκδήλωση περιφερικής μυϊκής κόπωσης είναι πιο ευαίσθητη στη συστηματική διαθεσιμότητα οξυγόνου κατά τη διάρκεια ποδηλάτησης υψηλής έντασης και σταθερού έργου λόγω της συμμετοχής μικρότερης μυϊκής μάζας άρα και η πιθανή υποξία

επηρεάζει την απόδοση αντοχής σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι στην άσκηση στο διάδρομο. Μία ενδιαφέρουσα επίσης προσέγγιση μπορούμε ίσως να αναζητήσουμε στο αναερόβιο μοντέλο αθλητικής απόδοσης όπως αυτό έχει τεκμηριωθεί από την επιστημονική κοινότητα. Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή η καρδιά έχει μια περιορισμένη αντλητική ικανότητα να μεταφέρει οξυγόνο στους ασκούμενους μυς η οποία όταν επιτευχθεί περιορίζεται η παροχή αίματος και οξυγόνου στους ασκούμενους μυς και γίνεται ανεπαρκής η κάλυψη των μεταβολικών απαιτήσεων. Το σημείο αυτό συμπίπτει με πλατό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, αύξηση του αναερόβιου μυϊκού μεταβολισμού, συσσώρευση μεταβολικών υποπροϊόντων της μυϊκής κούρασης (ειδικά ιόντων υδρογόνου) που οδηγούν στην κούραση και το τέλος της σωματικής δραστηριότητας [49]. Φαίνεται ότι οι ασκούμενοι κατά τη συνθήκη του αποκλεισμού ενεργοποίησαν νωρίτερα την αναερόβια οδό [Ταχύτητα αναερόβιο κατώφλιού BFR: $13.3 \pm 1.3Vs.$ C: $14.0 \pm 1.8km/h$) $\rho=0.01$] λόγω μειωμένης διαθεσιμότητας οξυγόνου και επίτευξαν την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ακριβώς στις ίδιες τιμές όπως και στην κανονική συνθήκη. Οι *Sakamaki et al* [50] ερεύνησαν κατά τη διάρκεια καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας αν η προσθήκη τεχνικής BFR έχει επίπτωση στην εμφάνιση του αναερόβιου οδού. Πράγματι τα αποτελέσματα όπως και οι τιμές του γαλακτικού έδειξαν ότι η αναερόβια οδός επετεύχθη νωρίτερα με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διάρκειας της δοκιμασίας καθώς και του $\dot{V}O_2Peak$. Οι ερευνητές της συγκεκριμένης έρευνας υποστηρίζουν ότι αυτή η μείωση οφείλεται στις διαφορές ανάμεσα στις δύο συνθήκες στο SV , στο HR_{peak} και στην αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου ($a-v O_2$). Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν εν μέρει με τη δική μας έρευνα όπου οι ασκούμενοι μπήκαν νωρίτερα λόγω του αποκλεισμού στο αναερόβιο κατώφλι ωστόσο η $\dot{V}O_2max$ δεν μειώθηκε. Επιπροσθέτως η μη διαφοροποίηση της μέγιστης καρδιακής συχνότητας και της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν υπήρξε αντίστοιχα διαφοροποίηση ούτε στο Stroke Volume και στην αρτηριοφλεβική διαφορά. Τα ερωτηματικά που προκύπτουν από αυτή την εργασία είναι ενδιαφέροντα αλλά σίγουρα θα πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση προκειμένου να έχουμε πιο ολοκληρωμένες απαντήσεις. Συμπερασματικά το ποσοστό αποκλεισμού 35-40% είναι χαμηλό ώστε δεν προκαλεί σημαντικές καρδιαγγειακές διαφοροποιήσεις αλλά μέσα από τους μηχανισμούς του επηρεάζει το χρόνο και την ταχύτητα της άσκησης. Στο καίριο ερώτημα ,γιατί ενώ δεν μειώθηκε η πρόσληψη οξυγόνου, οι τιμές του χρόνου και της ταχύτητας στην άσκηση που πραγματοποιήθηκε μειώθηκαν σημαντικά, μπορούμε εν μέρει να βρούμε απαντήσεις στην θεωρία που διατύπωσε ο Marcora 2008 [51] ότι η συνειδητή

ρύθμιση της παραγόμενης ισχύος καθορίζεται πρωτίστως από την υποκειμενική αντίληψη της προσπάθειας όπου στην έρευνα μας παρατηρήσαμε μια σημαντική διαφορά και στη κλίμακα της κόπωσης ($p=0,002$) και επίσης ακόμη περισσότερο στην κλίμακα του πόνου ($p=0,000$), την εν δυνάμει παρακίνηση, προηγούμενη εμπειρία κατά την εκτέλεση άσκησης ποικίλου έντασης και διάρκειας όπως επίσης και από το γεγονός ότι το άτομο πιστεύει ότι έχει καταβάλλει μία πραγματικά μέγιστη προσπάθεια και η συνέχιση της άσκησης του φαίνεται αδύνατη. Αυτές οι αρχές του ψυχοβιολογικού μοντέλου της αθλητικής απόδοσης ίσως επηρέασαν τα αποτελέσματα της έρευνας λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι συμμετέχοντες είναι συστηματικά μεν αθλούμενοι αλλά και ερασιτέχνες ο οποίοι δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία από εργομετρικά τεστ και άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο και πολύ περισσότερο από την εφαρμογή ενός πρωτοκόλλου αποκλεισμού της αιματικής ροής. Παρατηρώντας δηλαδή τα αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων [Πίν.7 παράρτημα] διαπιστώνουμε ότι κάποια άτομα είχαν μεγάλη απόκλιση από τη μία στην άλλη συνθήκη που σίγουρα επηρεάζουν τους συνολικούς Μέσους Όρους .

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Με βάση τα ανωτέρω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο μηχανισμός του Blood Flow Restriction με αποκλεισμό της αιματικής ροής σε διάδρομο επέφερε διαφοροποίηση τόσο στο χρόνο όσο και στην ταχύτητα της άσκησης, όπου στη συνθήκη του BFR οι τιμές των συγκεκριμένων μεταβλητών είναι πιο χαμηλές. Όμως η τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου δεν επηρεάστηκε και δεν διαφοροποιήθηκε μεταξύ των δύο συνθηκών (cuffs-no cuffs). Άρα ο αποκλεισμός της αιματικής ροής σε ποσοστό 35- 40% επηρεάζει την ταχύτητα και τον χρόνο άσκησης αλλά όχι τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Κατ'επέκταση η μέθοδος του Blood Flow Restriction μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική μορφή εναλλακτικής εκγύμνασης και με την κατάλληλη πίεση αποκλεισμού στις περιμηρίδες να αποτελέσει ένα επιδραστικό μέσο άσκησης. Ο αποκλεισμός της τάξης 35-40% της A.O.P φαίνεται ότι δημιουργεί προϋποθέσεις για προσαρμογές χωρίς να εξαντλεί πρόωρα τους ασκούμενους και να περιορίζει την ικανότητα τους για άσκηση. Πρέπει όμως να γίνουν επιπλέον έρευνες για τεκμηρίωση αυτών των συμπερασμάτων.



Εικ.4 Καρδιοαναπνευστική δοκιμασία άσκησης με και χωρίς περιορισμό της αιματικής ροής σε δαπεδοεργόμετρο.

Μειονεκτήματα της έρευνας

Στην συγκεκριμένη έρευνα συμμετείχαν εθελοντές που είναι ερασιτέχνες, συστηματικά αθλούμενοι. Στο μεγαλύτερο ποσοστό δεν είχαν προηγούμενη εμπειρία από εργομετρήσεις γεγονός που δυσκόλεψε την εξοικείωση τους με το πρωτόκολλο της έρευνας. Στο τέλος της προσπάθειας τους όταν τους ζητήθηκε να δώσουν πληροφορίες για την εμπειρία τους ,οι περισσότεροι , εξέφρασαν την δυσφορία τους για την πίεση που τους άσκησε η μάσκα της εργοσπιρομέτρησης καθώς και η ταυτόχρονη πίεση των περιμηρίδων, παρότι υπήρξε χαμηλό ποσοστό αποκλεισμού. Ενώ είχε γίνει εξοικείωση με τα πρωτόκολλα, κάποιοι

ασκούμενοι έδειξαν επιφύλαξη για την μέθοδο του BFR από φόβο μήπως δεν ανταποκριθούν στην διαδικασία. Επίσης ενώ στους ασκούμενους έγινε επαναληπτική μέτρηση της πίεσης των περιμηρίδων στην αρχή και στο τέλος της άσκησης και στους περισσότερους δεν διαπιστώθηκαν απώλειες, ωστόσο υπήρξαν και περιπτώσεις που καταγράφηκε μία απώλεια της τάξης του 4-5% .

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Θα ήταν πολύ ενδιαφέρον να γίνει το ίδιο ερευνητικό πρωτόκολλο αλλά με αθλούμενους που θα είναι εξοικειωμένοι μέσα από μία σειρά προπονήσεων οπότε να μπορούν να υποστηρίξουν καλύτερα την ερευνητική διαδικασία. Επιπλέον ένα μεγαλύτερο δείγμα εθελοντών θα μπορούσε να δώσει πιο τεκμηριωμένες απαντήσεις στα πολύ σημαντικά ερωτήματα που εγείρει αυτή η μέθοδος εκγύμνασης. Τέλος η έρευνα αυτή υπήρξε μία εξαιρετική εμπειρία όπου αποκομίσαμε πολλά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την οργάνωση μίας πιο αποδοτικής προσέγγισης.

REFERENCES

- 1) American College of Sports Medicine, Position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults : Volume 30(6), June 1998, p 975-991;
- 2) Campos, G.E., Luecke, T.J., Wendeln, H.K. et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. Eur J Appl Physiol 88, 50–60 (2002);
- 3) Kraemer, W. J., and N. A. Ratamess. Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. Med. Sci. Sports Exerc. Vol. 36, No. 4, pp. 674–688, 2004;
- 4) Luebbbers, Paul E, Fry, Andrew C, Kriley, Luke M, et al .The Effects of a 7-Week Practical Blood Flow Restriction Program on Well-Trained Collegiate, Athletes Journal of Strength and Conditioning Research 28(8):p 2270-2280, August 2014;

- 5) T Abe, S Fujita, T Nakajima, M Sakamaki, H Ozaki, R Ogasawara, et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men *Journal of sports science & medicine*, 9(3): 452–458.2010;
- 6) Abe, Takashi , Sakamaki, Mikako , Fujita, Satoshi ,et al. Effects of Low-Intensity Walk Training With Restricted Leg Blood Flow on Muscle Strength and Aerobic Capacity in Older Adults *Journal of Geriatric Physical Therapy* 33(1):p 34-40, January 2010 ;
- 7) Madarame, H., Kurano, M., Fukumura, K., Fukuda, T., and Nakajima, Haemostatic and inflammatory responses to blood flow-restricted exercise in patients with ischaemic heart disease: a pilot study. *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 33, 11–17. 2013;
- 8) Takarada, Y., Sato, Y., and Ishii, N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86, 308–314 ,2002;
- 9) Abe, T., Beekley, M. D., Hinata, S., Koizumi, K., and Sato, Y. Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days KAATSU resistance training: a case study. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 1, 71–76 2005a;
- 10) Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., et al. Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism* 59, 1510–1519,2010a;
- 11) Park, S., Kim, J. K., Choi, H. M., Kim, H. G., Beekley, Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 109, 591–600, 2010;
- 12) Abe T., Fujita S., Nakajima T., Sakamaki M., Ozaki H., Ogasawara R, et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men. *J. Sports Sci. Med.* 9, 452–458. 2010a;
- 13) Baldwin, Molly May. Exercise strategies to improve vascular health and exercise tolerance. Implications for rehabilitation. PhD thesis, University of Leeds.2021;
- 14) Robert S. Thiebaud, Jeremy P. Loenneke, Takashi Abe. COPD and muscle loss: is blood flow restriction a potential treatment? *Journal of Trainology* 3 Lane1 ,p1-5 2014;
- 15) Hunt JEA, Stodart C, Ferguson RA. The influence of participant characteristics on the relationship between cuff pressure and level of blood flow restriction *European journal of applied* 116, pages1421–1432 (2016);
- 16) Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM. Thiebaud RS, Mattocks KT, Abe T, Bemben MG. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs *Front ... - Frontiers in Physiol*, 10 September 2013;

- 17) SD Soligon, ME Lixandrão, TMPC Biazon, V Angleri, H Roschel, CA Libardi. Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized. *Physiology International*, Volume 105 (3), pp. 276–284 (2018);
- 18) Martin, Peter Mitchell ; Bart, Ryan M. , DipABLM; Ashley, An Overview of Blood Flow Restriction Physiology and Clinical Considerations *Current Sports Medicine Reports* 21(4):p 123-128, April 2022;
- 19) Abe, T, Sakamaki, M, Fujita, S, Ozaki, H, Sugaya, M, Sato, Y, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J. Geriatr. Phys. Ther.* 33, 34–40(2010b) ;
- 20) Jessee, M. B., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Mattocks, K. T., and Loenneke, J. P. The cardiovascular and perceptual response to very low load blood flow restricted exercise. *Int. J. Sports Med.* 38, 597–603. (2017) ;
- 21) Conceição, M. S., Junior, E. M. M., Telles, G. D., Libardi, C. A., Castro, A., Andrade, A. L. L., et al. Augmented anabolic responses after 8-wk cycling with blood flow restriction. *Med. Sci. Sports Exerc.* 51, 84–93. (2019) ;
- 22) Brendan R. Scott, Katie M. Slattery, Dean V. Sculley, Ben J. Dascombe. Hypoxia and Resistance Exercise: A Comparison of Localized and Systemic Methods. *Sports Medicine* volume 44, pages 1037–1054 (2014);
- 23) Takada, S., Okita, K., Suga, T., Omokawa, M., Kadoguchi, T., et al. Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. *J. Appl. Physiol.* 113, 199–205. (2012);
- 24) Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J. Appl. Physiol.* 88, 61–65.(2000a);
- 25) Marty D, Spranger, Abhinav C, Krishnan, Phillip D. Levy, Donal S. O'Leary and Scott A. Smith, *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, Blood flow restriction training and the exercise pressor reflex.309(9):H1440-52 (2015);
- 26) Takano H, Morita T, Iida H, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur. J. Appl. Physiol.* 95:65-73.2005;
- 27) Manini, Todd M, Clark, Brian C. Blood Flow Restricted Exercise and Skeletal Muscle Health. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 37(2):p 78-85, April 2009;

- 28) Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, T Abe, et al... Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Front. Physiol, Exercise Physiology* Volume 10 – 2019;
- 29) Matthew B Jessee, Scott J Dankel, Samuel L Buckner , et al. The Cardiovascular and Perceptual Response to Very Low Load Blood Flow Restricted Exercise. *Int J Sports Med* 38(08): 597-603,2017;
- 30) Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T, Bemben MG. Blood flow restriction pressure recommendations: The hormesis hypothesis *Medical Hypotheses* , Pages 623-626 ,May 2014;
- 31) Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur. J. Appl. Physiol*,112:2903–12, 2012;
- 32) Mouser JG, Dankel SJ, Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, Counts BR. A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction. *E. Journal of Applied Physiology* volume 117, pages1493–1499 (2017);
- 33) Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., et al. Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 2, 5–13. 2006 ;
- 34) Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, Vol. 32, No. 1, pp. 70–84, 2000 ;
- 35) Κλεισούρας Β ,*Εργοφυσιολογία, Ιατρικές Εκδόσεις ΠΧ Πασχαλίδης* 2007 ;
- 36) Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med. Auckl, NZ.* 45:187–200 (2015) ;
- 37) Amann M, Romer LM, Pegelow DF, Jacques AJ, et al. Effects of arterial oxygen content on peripheral locomotor muscle fatigue. 101: 119-27 *J Appl Physiol* 2006;
- 38) Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology* Volume 86, pages 308–314, 2014;
- 39) Jessee M, Dankel S, Buckner S, Grant Mouser J. The Cardiovascular and Perceptual Response to Very Low Load Blood Flow Restricted Exercise, *Int J Sports Med* 38(08): 597-603, 2017;

- 40) Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. *J Sports Sci Med* 7(4): 467–474 2008 ;
- 41) Geladas ND, Anastassopoulos S, Keramidas M, Koskolou M .Maximal Oxygen Uptake May be Limited by Sensation of Muscle Oxygenation .*The Open Sports Medicine Journal*,3,88-95, 2009 ;
- 42) Χερουβείμ Ε. Ο ρόλος της μυϊκής οξυγόνωσης στον καθορισμό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου Εθνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών 2018 ;
- 43) Marcora SM, Staiano W. The limit to exercise tolerance in humans: mind over muscle? *European Journal of Applied Physiology*. Volume 109, pages 763–770, 2010 ;
- 44) Pageaux B. Perception of effort in Exercise Science: Definition, measurement and perspectives. *European journal of Sports Science* .Pages 885-894 | Volume 16, 2016;
- 45) Gray S, Cuomo A, Proppe CE, Traylo MK. Effects of Sex and Cuff Pressure on Physiological Responses during Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Young Adults, *Sports & Exercise*, Vol. 55, No. 5, pp. 920-931 ,2023;
- 46) Noakes TD, Peltonen JE, Rusko HK. Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *J. Exp Biol* 204: 3225-34 2001;.
- 47) Gallagher KM, Fadel PJ, Smith SA, Norton KH, Query RG et al .Increases in intramuscular pressure raises arterial blood pressure during dynamic exercise. *J Appl Physio* 91: 2351–2358, 2001 ;
- 48) Rossman MJ, et al. Muscle mass and peripheral fatigue: a potential role for afferent feedback? *Acta Physiologica* 206(4):242-50, Dec2012;
- 49) Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of medicine & science in Sports* 10(3),123-145,2000;
- 50) Sakamaki-Sunaga M, Leoneke J, Thiebaud R, Abe T. “Onset of blood lactate during graded walking test accumulation and peak oxygen uptake combined with and without restricted leg blood flow” *Comparative Exercise Physiology* Jul 8(2):117-122(2012);
- 51) Marcora SM. Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? *European journal of applied physiology*, Volume 104, pages 929–931, 2008;

Παράρτημα

Πίνακας 5: ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΘΕΛΟΝΤΩΝ

ATHLETES	AGE	HEIGHT	WEIGHT	FAT%	BMI Kg/m ²
1	51	176	82	25,39	26,3
2	36	181	77	13,87	23,4
3	49	178	77	18,56	24,1
4	28	181	80	10,57	24,3
5	42	179	69	10,84	21,6
6	46	184	76	18,04	22,6
7	42	172	72	22,8	24,3
8	32	167	62	12,97	22,1
9	44	165	69	16,67	25,3
10	23	180	73,3	10,57	25,3
11	22	179	77,4	10,81	25,3
12	34	178	70,5	13,25	25,3
13	22	176	73,5	13,82	23,57
14	40	181	71,4	13,07	21,67
15	24	168	75,5	12,92	26,57

Πίνακας 6: ΑΘΛΗΤΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΕΘΕΛΟΝΤΩΝ

PERFORMANCE TIMES 400M-800M-10KM-21KM						
10KM	21KM	42KM	400M	800M	Time/week	Km total/week
45.00.00					4-5 SESSION	40 KM
36.25.00	1.21.30				5 SESSION	70 KM
43.00.00	1.43.00				5 SESSION	50 KM
44.00.00					4-5 SESSION	40 KM
42.00.00	1.36.00				5 SESSION	80 KM
42.10.00	1.34.00				4 SESSION	40 KM
59.00.00					4 SESSION	30 KM
36.25.00	1.25.37				5 SESSION	70 KM
38.30.00	1.22.06				4-5 SESSION	60 KM
			52".00	2'.10".00"	4 SESSION	30 KM
			49".00"		5 SESSION	30 KM
			52".00"		5 SESSION	40 KM
				2'.03".00"	5 SESSION	40 KM
		2.47.00			5 SESSION	60 KM
34.48.00	1.17.43				4-5 SESSION	60 KM

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ (MEAN N15)

a/a	CON VO2max ml/kg/min	CON Time max Exercise	CON speed max Exercise	BFR VO2max ml/kg/min	BFR Time max Exercise	BFR speed max Exercise
1	45,1	730	18,11	44,7	640	17,11
2	56,8	560	19,11	59,1	480	18,33
3	51,5	550	17,11	46,3	370	16,11
4	47,2	560	18,22	48,1	460	17
5	53,97	640	17,11	49,9	550	16,11
6	48,9	540	17	51,8	360	16
7	39,7	563	13,25	40,7	450	12,75
8	57,8	669	19,11	57,7	540	18,22
9	53,1	540	18	51,2	360	16,33
10	59,8	610	18,77	49,5	460	17,11
11	52,1	460	17,11	44,1	390	16,33
12	50,6	590	17,55	49,2	460	16
13	49,5	630	19,1	49,1	540	18
14	49	730	20,1	49	540	18
15	56,12	720	20	54,8	550	18,11
Mean	51,41	606,13	17,98	49,7	476,7	16,77
SD	5,2	79,72	1,67	4,9	83,3	1,42
SE	1,4	20,6	0,43	1,3	21,5	0,37

«Οξείες αποκρίσεις σε άσκηση αυξανόμενης έντασης με και χωρίς αποκλεισμό της αιματικής ροής»