

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ & ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αξιολόγηση της επίτευξης πλατό κατά τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου με τη
χρήση υπέρ μέγιστης προσπάθειας**

Βασιλείου Ιωάννης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Πασχάλης Βασίλης

2019

© Copyright

Βασιλείου Ιωάννης

Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλους θέλω να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο επιβλέποντα καθηγητή μου Κ. Βασίλη Πασχάλη για την πολύ καλή συνεργασία του, όσον αφορά την πτυχιακή εργασία, που από την πρώτη στιγμή με καθοδήγησε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ήταν πάντα πρόθυμος και ανοικτός να με βοηθήσει και να ασχοληθεί μαζί μου, τόσο στην συγγραφή όσο και στο ερευνητικό τμήμα της εργασίας.

Έπειτα, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ για την υποστήριξη και την δύναμη που έλαβα από τους γονείς μου, καθώς ήταν σε κάθε στιγμή δίπλα μου.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπεύθυνη της βιβλιοθήκης του πανεπιστημίου, την Κ. Κατερίνα Τζάβαρη, για τον εντοπισμό συγκεκριμένης βιβλιογραφίας, γύρω από το θέμα της εργασίας μου στο χώρο της βιβλιοθήκης του πανεπιστημίου.

Επιπλέον, ευχαριστώ το πανεπιστήμιο για το χώρο που μου έδωσε για να κάνω τις μετρήσεις στους δοκιμαζόμενους, καθώς και τα απαραίτητα εργαλεία και μηχανήματα που ήταν αδήριτη ανάγκη για την πραγματοποίηση της έρευνας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους δοκιμαζόμενους που πήραν μέρος σε αυτή την ερευνητική εργασία για τον χρόνο και την άψογη συνεργασία μας. Άτομα, που παρά το μεγάλο φόρτο της καθημερινότητας και τις πολλές ώρες μαθημάτων και εργασίας που είχαν σε καθημερινή βάση, δέχτηκαν να συμμετάσχουν σε αυτήν την επίπονη και δύσκολη δοκιμασία. Χωρίς αυτούς, η εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μέτρηση της αερόβιας ικανότητας είναι ένας αξιόπιστος δείκτης για την αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης του ατόμου. Ως αερόβια αντοχή μπορούμε να ορίσουμε τον ανώτατο όγκο οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα στην μονάδα του χρόνου (L/min) και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου συμβολίζεται με 'VO₂max'. Στην έρευνα συμμετείχαν 12 ελεύθερα αθλούμενοι ηλικίας 18-30 ετών. Πραγματοποιήθηκαν δυο μετρήσεις από τις οποίες η μια ήταν για την μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και η δεύτερη για την μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου στο 110% της επιβάρυνσης που τελείωσε ο δοκιμαζόμενος κατά τη προσπάθεια της μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Οι δυο μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κυκλοεργόμετρο, με ανοιχτό κύκλωμα σπιρομέτρησης ενώ το διάλειμμα των δυο δοκιμασιών ορίστηκε στα 15 λεπτά. Σκοπός ήταν η σύγκριση των μέγιστων τιμών κατά τη διάρκεια των δυο δοκιμασιών, καθώς και η αξιολόγηση της επίτευξης πλατό. Βρέθηκε μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των δυο δοκιμασιών ενώ και στις δυο προσπάθειες, της σταδιακά αυξανόμενης δοκιμασίας και της σταθερής επιβάρυνσης στο 110% της VO₂max, επιτεύχθηκε πλατό. Οι τιμές της πρόσληψης οξυγόνου είναι ελαφρώς πιο πάνω στη πρώτη δοκιμασία, της μέγιστης προσπάθειας σε σχέση με τη δεύτερη προσπάθεια.

Λέξεις κλειδιά: αερόβια ικανότητα, VO₂max, υπέρ μέγιστη προσπάθεια, σύγκριση, κυκλοεργόμετρο

ABSTRACT

The measurement of the cardio ability is a psysiological index for the evaluation of physical condition. We could define cardio stamina as the maximum capacity of oxygen that the cells consume per time unit (ml/kg/min) and the maximum intake of oxygen is symbolized as 'VO₂max'. The aim of the present investigation was to compare the plateau between in incremental test to exhaustion with a subsequent test at higher intensity. In the present investigation participated 12 male recreational athletes (18-30 years old). Two measurement took place, using a cycle ergometer using automatic gas analyzer. The first measurement was an incremental test to volitional fatigue for the evaluation of maximal oxygen uptake while the other measurement was about the evaluation of the plateau achieved during the first test. Specifically, 15 min after the VO₂max test, subjects were performed continues exercise until exhaustion on the same cycle ergometer at an intensity corresponding to the 110% that achieved at the end of the first test. The high correlation between the tests mean that a plateau was achieved in the first test for the evaluation of the VO₂max. There was also no differences between the two tests in Borg's scale, heart rate and pulmonary measurements.

Key words: aerobic ability, VO₂max, above maximum effort, comparison, cyclinometer

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη στα ελληνικά.....	iv
Περίληψη στα αγγλικά.....	v
Πίνακας περιεχομένων.....	vi
Κατάλογος σχημάτων.....	viii
Κατάλογος συμβόλων και συντομογραφιών.....	ix
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ1
1.1 Ορισμός της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.....	σελ1
1.2 Ορισμός της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια άσκησης στο 110%VO ₂ max	σελ2
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	σελ2
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	σελ2
2.2 Βιολογικές προσαρμογές της VO ₂ max.....	σελ3
2.3 Αερόβια ικανότητα και ηλικία.....	σελ3
2.4 Αερόβια ικανότητα και φύλο.....	σελ4
2.5 Αερόβια ικανότητα και κληρονομικότητα.....	σελ4
2.6 Υψόμετρο και απόδοση.....	σελ5
2.7 Αερόβια ικανότητα και καθιστική ζωή.....	σελ5
2.8 Αερόβια ικανότητα και χρόνιες ασθένειες.....	σελ5
2.9 Προσδιορισμός της VO ₂ max.....	σελ6
2.10 Αναερόβιο κατώφλι.....	σελ7
2.11 Εξίσωση του fick.....	σελ7
2.12 Παράγοντες για την απόδοση του αθλητή.....	σελ8
2.12.1 Αερόβια ικανότητα και αερόβια αντοχή.....	σελ8
2.12.2 Αερόβια ικανότητα και ενεργειακή οικονομία.....	σελ8
2.12.3 Αερόβια ικανότητα και %VO ₂ max.....	σελ8

2.12.4 Αερόβια ικανότητα και v VO_2maxσελ9	σελ9
2.13 VO_2max και συστήματα οργανισμού.....σελ9	σελ9
2.13.1 Αερόβια ικανότητα και αναπνευστικό σύστημα.....σελ9	σελ9
2.13.2 Αερόβια ικανότητα και κυκλοφορικό σύστημα.....σελ9	σελ9
2.13.3 Αερόβια ικανότητα και μυϊκό σύστημα.....σελ10	σελ10
2.14 Προσαρμογές στο μυ.....σελ10	σελ10
2.15 Περιοριστικοί παράγοντες της VO_2maxσελ11	σελ11
2.16 Προσαρμογές του καρδιαγγειακού συστήματος.....σελ13	σελ13
2.17 Αερόβια ικανότητα και VO_2peakσελ13	σελ13
2.18 Πλατό και δευτερεύοντα κριτήρια αξιολόγησης.....σελ14	σελ14
2.19 Δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης με αντίσταση μεγαλύτερη της VO_2max για την επαλήθευση του πλατό.....σελ15	σελ15
2.20 Ο σκοπός.....σελ16	σελ16
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....σελ16	σελ16
3.1 Δείγμα.....σελ16	σελ16
3.2 Περιγραφή διαδικασίας.....σελ16	σελ16
3.3 Περιγραφή δοκιμασίας μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και υπέρ μέγιστης προσπάθειαςσελ17	σελ17
3.4 Στατιστική ανάλυση.....σελ18	σελ18
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....σελ18	σελ18
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....σελ22	σελ22
VI. ΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ24	σελ24
6.1 Ελληνική.....σελ24	σελ24
6.2 Ξενόγλωσση.....σελ24	σελ24

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1.1 Ιστόγραμμα σύγκρισης για το πλατό

Σχήμα 4.1.2 Ιστόγραμμα σύγκρισης του πνευμονικού αερισμού (VE)

Σχήμα 4.1.3 Ιστόγραμμα σύγκρισης του αναπνευστικού πηλίκου (RER)

Σχήμα 4.1.4 Ιστόγραμμα σύγκρισης της κλίμακας Borg

Σχήμα 4.1.5 Ιστόγραμμα σύγκρισης της καρδιακής συχνότητας (HR)

Σχήμα 4.1.6 Ιστόγραμμα χρόνων της υπέρ μέγιστης προσπάθειας

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

VO₂max: ο ανώτατος όγκος οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά τη μέγιστη προσπάθεια στη μονάδα του χρόνου

110%VO₂max: ο ανώτατος όγκος οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα κατά την δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο 110% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου στη μονάδα του χρόνου

Κ.Ν.Σ : κεντρικό νευρικό σύστημα

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου είναι ο ανώτατος όγκος οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα στην μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται είτε ως απόλυτη τιμή, είτε ως σχετική τιμή. Συντομογραφικά γράφεται $\dot{V}O_{2max}$, και η απόλυτη τιμή της είναι το μέγιστο επίπεδο πρόσληψης οξυγόνου που έφτασε ο δοκιμαζόμενος κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας και μετριέται σε λίτρα ανά λεπτό (L/min). Η σχετική τιμή εκφράζεται σε (ml/kg/min) για να έχει άμεση συσχέτιση με το σωματικό βάρος. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου έχει υψηλή βιολογική αξία και σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό καθορίζει την καλή φυσική κατάσταση στα άτομα, αθλητές και μη. Αθλητές υψηλού επιπέδου έχουν τιμές που ξεπερνούν τα 70 ml/kg/min, ενώ λίγοι είναι αυτοί που ξεπερνούν τα 85 ml/kg/min. Ένας απλός άνθρωπος που προπονείται για την βελτίωση της φυσικής του κατάσταση έχει τιμή $\dot{V}O_{2max}$ κοντά στα 45 – 50 ml/kg/min. Η αερόβια αντοχή είναι πολύ σημαντική για τους αθλητές, όλων των αθλημάτων και ειδικότερα για εκείνα που η βασική πηγή ενέργειας είναι η παρουσία οξυγόνου. Αντιπροσωπεύει ένα ευρύ φάσμα αθλημάτων και επομένως η βελτίωση της μαζί με μερικά ακόμη στοιχεία, είναι απαραίτητα για την καλή απόδοση των αθλητών. (Κλεισούρας 2016, Helgerud 2001)

Η αερόβια αντοχή είναι πολύ γνωστή και ως καρδιοαναπνευστική αντοχή και οι δυο αυτοί όροι είναι ταυτόσημοι. Μπορεί να βελτιωθεί με ένα μεγάλο εύρος ασκήσεων όπως για παράδειγμα περπάτημα, ποδήλατο, κολύμβηση, rowing. Από την άλλη μεριά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασκήσεις σε κυκλική μορφή (functional workout), με ταυτόχρονη ανάπτυξη της δύναμης και της αερόβιας αντοχής. Σε όλες τις περιπτώσεις, το είδος της άσκησης που θα πραγματοποιηθεί εξαρτάται από το άθλημα και τον αθλητή. Επομένως, η αερόβια ικανότητα ενός ατόμου αντιπροσωπεύει σε έναν μεγάλο βαθμό την καλή φυσική κατάστασή του. Επίσης, η άσκηση ξεκινάει και τελειώνει μέσα στο μυαλό του αθλητή. Μετά από κάποια διάρκεια και ένταση, ο εγκέφαλος είναι αυτός που οδηγεί τον αθλητή να ξεπεράσει τα όρια και να φτάσει πέρα απ' αυτό που μπορεί να δώσει το σώμα του. Επομένως, στην άσκηση χρειάζεται τόσο το σώμα, όσο και το κεντρικό νευρικό σύστημα (Κ.Ν.Σ). Λέγοντας Κ.Ν.Σ εννοούμε τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό που αποτελούν τα κύρια κέντρα που γίνεται η διαπλοκή, η συσχέτιση και η ολοκλήρωση των νευρικών πληροφοριών (Kayser 2003).

1.2 Ορισμός της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια άσκησης στο 110% VO₂max

Η δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης (110% VO₂max) αναφέρεται στο τεστ που λαμβάνει χώρα μετά την προσπάθεια της μέγιστης δοκιμασίας. Η επίτευξη ενός πλατό είναι η καλύτερη απόδειξη πως ο δοκιμαζόμενος έφτασε την τελική εξάντλησή του. Έπειτα υπάρχουν δευτερεύοντα στοιχεία για την απόδειξη της VO₂max και από το 1982 ο Thoden και οι συνάδελφοί του γράφουν στα βιβλία τους για την φάση της επαλήθευσης. Η φάση της επαλήθευσης ορίζεται η δοκιμασία της σταθερής επιβάρυνσης, που στη συνέχεια η πρώτη επιστημονική δοκιμασία φαίνεται να έγινε από τους Niemella et al. Είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος, καθώς δίνει την ευκαιρία στον ερευνητή να επαληθεύσει τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου. Η ένταση, ο χρόνος και η διάρκεια της δοκιμασίας πρέπει να είναι καθορισμένα. Ο σκοπός της δοκιμασίας είναι η επαλήθευση των αρχικών τιμών της πρώτης προσπάθειας της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και η προσπάθεια επίτευξης πλατό αν αυτό δεν επετεύχθη στη πρώτη δοκιμασία. Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένταση 110% της αρχικής και υπήρξε ένα εύρος χρόνων από 1,04 min έως 2,30 min.

II. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Ιστορική αναδρομή

Η ανάγκη για την ανακάλυψη του ανθρώπινου οργανισμού κατά τη διάρκεια της άσκησης άρχισε πριν περίπου 200 χρόνια. Πρωτοπόροι φυσιολόγοι, όπως οι Antoine Lavoisier and Nathan Zuntz είχαν εκτελέσει επιστημονικές εξετάσεις σε άτομα κατά τη διάρκεια άσκησης σε φυσιολογικές και υποξικές συνθήκες, ήδη από τον 18^ο και στη συνέχεια τον 19^ο αιώνα. Το 1918 ο Lambert περιγράφει ένα πρωτόκολλο άσκησης και προσπαθεί να εξηγήσει μερικές φυσιολογικές παραμέτρους. Ο A.V Hill συνέλαβε πρώτος την ιδέα της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO₂max) στον άνθρωπο το 1926, όταν προέβλεψε την ποσότητα οξυγόνου που χρησιμοποιείται για την επίτευξη συγκεκριμένων ταχυτήτων σε διάδρομο στίβου 400 μέτρων. Με την χρήση της Douglas Bags για την συλλογή των αερίων, αναλυτές αερίων Haldane για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα και αεριομετρητή Tissot για την μέτρηση του όγκου του αέρα ο A.V Hill και οι συνεργάτες του πραγματοποιούσαν συνεχώς μετρήσεις και διαφορετικά πρωτόκολλα δοκιμασιών άσκησης για να καταλήξουν και να

σχεδιάσουν τη σχέση έντασης και πρόσληψης οξυγόνου. Το 1955 οι Taylor, Buskirk και Henschel καθιέρωσαν μια αξιόπιστη και επαναλήψιμη μέθοδο προσδιορισμού της VO_{2max} σε ανθρώπους στο εργαστήριο με μέτρηση του αερισμού και της συγκέντρωσης των εκπνεόμενων αερίων κατά τη διάρκεια άσκησης σε μηχανοκίνητο κυλιόμενο τάπητα. Το 1958 οι Mitchell, Sproule και Charman πραγματοποίησαν όλες τις αναγκαίες μετρήσεις των μεταβλητών της κυκλοφορίας HR, SV και $(a-v)O_2$ κατά την άσκηση σε κυλιόμενο τάπητα, χρησιμοποιώντας καθετηριασμό της βραχιόνιας αρτηρίας και φλέβας, υπολογισμό της καρδιακής παροχής με τη μέθοδο αραίωσης χρωστικής και μέτρηση των αερίων αρτηριακού και φλεβικού αίματος. Η μεταγενέστερη ανάπτυξη μη επεμβατικών μεθόδων με επανεισπνοή αδρανών αερίων και με ταχείας απόκρισης αναλυτές των αναπνευστικών αερίων για ακριβή μέτρηση της καρδιακής παροχής, έδωσε τη δυνατότητα τόσο στους γιατρούς όσο και σε άλλους επαγγελματίες να προσδιορίζουν κατά ρουτίνα τις καρδιαγγειακές μεταβολές στην υπό μέγιστη και μέγιστη άσκηση (Raven et al. 2016, Beltz et al. 2016).

2.2 Βιολογικές προσαρμογές της VO_{2max}

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου αποτελεί ένα γενικό δείκτη της βιολογικής αξίας του ατόμου, διότι αντανακλάει όλη την λειτουργική προσαρμοστικότητα του οργανισμού, κατά τη διάρκεια της μέγιστης μυϊκής προσπάθειας. Αυτός που έχει μια μεγάλη και επαρκή αερόβια ικανότητα, έχει μεγαλύτερη και πιο αποδοτική καρδιά, αποτελεσματικότερους πνεύμονες που μπορούν να διοχετεύουν μεγάλες ποσότητες αερίων. Έπειτα υπάρχει μεγαλύτερος όγκος αίματος με περισσότερη αιμοσφαιρίνη που μεταφέρει περισσότερο οξυγόνο στους ιστούς, πλουσιότερο τριχοειδές αγγείο που αιματώνει καλύτερα τα μυϊκά κύτταρα, περισσότερα μιτοχόνδρια, ίνες βραδείας συστολής και δραστικότερα αερόβια ένζυμα για να καταναλώνεται το οξυγόνο που φτάνει στα μυϊκά κύτταρα και να παράγεται μεγάλη ποσότητα αερόβιας ενέργειας στη μονάδα του χρόνου (Κλεισούρας 2016).

2.3 Αερόβια ικανότητα και ηλικία

Η αερόβια ικανότητα παρουσιάζει μεγάλη και προοδευτική αύξηση καθώς προχωράει η ηλικία του ατόμου από την παιδική προς την εφηβική και κορυφώνεται κατά την πλήρης ανάπτυξη του οργανισμού και μπορεί να διατηρηθεί σε αυτά τα επίπεδα μέχρι την ηλικία των 25 ετών περίπου. Ύστερα, η αερόβια ικανότητα ελαττώνεται βαθμιαία με το πέρασμα του χρόνου και με ρυθμό 1% κάθε έτος ή 10% ανά δεκαετία. Η VO_{2max} σε απόλυτες τιμές είναι παρόμοιες σε αγόρια και

κορίτσια μέχρι την ηλικία των 12 ετών, ενώ στην ηλικία των 14 ετών τα αγόρια έχουν 25% υψηλότερη VO_{2max} και στην ηλικία των 16 ετών η διαφορά είναι ακόμα μεγαλύτερη (50%). Η παρακμή της αερόβιας ικανότητας μετά την ηλικία των 25 ετών περίπου, αποδίδεται στην βιολογική φθορά και την συνεπακόλουθη μείωση των φυσιολογικών λειτουργιών. Έτσι, παρατηρείται μείωση της καρδιακής παροχής, της καρδιακής συχνότητας και του όγκου παλμού κατά τη μέγιστη μυϊκή προσπάθεια, όπως και μείωση της ροής του αίματος στους λειτουργούντες μύες (Κλεισούρας 2016, Næss et al. 2013, Wilson & Tanaka 2000).

2.4 Αερόβια ικανότητα και φύλο

Η αερόβια ικανότητα εξαρτάται από το φύλο του ατόμου. Αυτή είναι μεγαλύτερη στους άνδρες στην εφηβεία και μικραίνει η διαφορά κατά την προχωρημένη ηλικία, επομένως κατά κανόνα είναι μεγαλύτερη στους άνδρες σε σχέση με τις γυναίκες. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην χαμηλότερη συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης και στο μεγαλύτερο ποσοστό λίπους στις γυναίκες, απ' ότι στους άντρες. Ένας άλλος παράγοντας είναι η χαμηλότερη καρδιακή τους παροχή. Οι γυναίκες λόγω του μικρότερου σωματικού τους μεγέθους, έχουν μικρότερο όγκο καρδιάς και χαμηλότερο όγκο αίματος και επομένως δεν μπορούν να αυξήσουν ανάλογα τον όγκο παλμού (Κλεισούρας 2016, Hill & Smith 1993, Cureton 1981).

2.5 Αερόβια ικανότητα και κληρονομικότητα

Η κληρονομησιμότητα της VO_{2max} άρχισε να διερευνάται στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η συμβολή της κληρονομικότητας όσον αφορά την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου έχει διευρυνθεί χρησιμοποιώντας το μοντέλο διδύμων αδελφών. Τα μονοζυγωτικά δίδυμα, επειδή έχουν πανομοιότυπα γονίδια, (από το ίδιο ωάριο) ενδεχόμενες διαφορές μεταξύ τους στη VO_{2max} αποδίδονται σε διαφορές του περιβάλλοντος, ενώ διαφορές μεταξύ διζυγωτικών, που έχουν μόνο τα μισά γονίδια κοινά (από δύο ωάρια) και έχουν γενετική ομοιότητα όπως όλα τα αδέρφια, αποδίδονται εξίσου στο περιβάλλον και την κληρονομικότητα. Η σωματική άσκηση μπορεί να ανεβάσει την αερόβια ικανότητα από το χαμηλό επίπεδο σε μέτριο, από μέτριο σε υψηλό και από υψηλό σε πολύ υψηλό, αλλά ποτέ από χαμηλό σε πολύ υψηλό. Το επίπεδο της αερόβιας ικανότητας είναι προδιαγεγραμμένο από το γονότυπο του κάθε οργανισμού, όμως η σωστή και επιστημονική καθοδήγηση για το πρόγραμμα άσκησης είναι πολύ σημαντική και αυτή θα συμβάλει καθοριστικά στο τελικό αποτέλεσμα του κάθε αθλητή (Κλεισούρας 2016).

2.6 Υψόμετρο και απόδοση

Το υψόμετρο έχει καθοριστικό ρόλο για την αερόβια απόδοση του αθλητή. Όσο μεγαλώνει το υψόμετρο σε έναν αγώνα αντοχής, τόσο περισσότερο μειώνεται η αερόβια ικανότητα. Συγκεκριμένα, σε υψόμετρο 2400 μέτρων ο αέρας είναι περίπου 24% πιο αραιός από την επιφάνεια της θάλασσας. Η μείωση γίνεται εμφανής σε υψόμετρο μόλις 580 μ, όπου αθλητές υψηλού επιπέδου χάνουν το 7% της VO_2max και αγύμναστα άτομα το μισό περίπου αυτής της τιμής. Ο ρυθμός μείωσης της VO_2max για αθλητές είναι 1% για κάθε 305 μ πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Δεν φαίνεται διαφορά στη μείωση ανάμεσα στα δυο φύλα και η μείωση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου είναι παρόμοια. Μετά περίπου τα 6300 μ η μείωση της VO_2max είναι περισσότερη απότομη, που αποδίδεται σε απώλεια της μυϊκής μάζας και ελάττωση της ροής του αίματος. Αυτά ισχύουν για αγωνίσματα αντοχής. Όσον αφορά αθλήματα αναερόβιας αντοχής, όπου κύρια συστήματα ενέργειας είναι το φωσφορογόνο και το γλυκολυτικό το υψόμετρο δεν επηρεάζει την αναερόβια αντοχή διότι δεν παρατηρείται απώλεια μυϊκής μάζας. Τέτοια αθλήματα είναι για χρόνο μέχρι 30 sec (Κλεισούρας 2016, Wilhite et al. 2013, Fulco et al. 1998).

2.7 Αερόβια ικανότητα και καθιστική ζωή

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνο είναι κατά μεγάλο ποσοστό γενετικά προκαθορισμένη, αλλά μπορεί να επηρεαστεί από τη συστηματική και σωστή προπόνηση. Για παράδειγμα η καθιστική ζωή και η μη σωματική δραστηριότητα μπορούν να την μειώσουν μέχρι και 15-20%. Η αδρανοποίηση των ατόμων και η έλλειψη της φυσικής δραστηριότητας από την καθημερινότητα τους έχει μεγάλες επιπτώσεις στην υγεία τους. Αυτός ο τρόπος ζωής έχει συνδεθεί με 35 τουλάχιστον χρόνιες ασθένειες και αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας. Αντίθετα, η κατάλληλη προπόνηση μπορεί να αυξήσει τα επίπεδά της κατά ανάλογο ποσοστό. Για να επιτευχθεί το συγκεκριμένο ποσοστό είναι αναγκαία προϋπόθεση να περιλαμβάνονται κάποια ελάχιστα επίπεδα διάρκειας, συχνότητας και έντασης. Για παράδειγμα, το τροχάδην 20-30 λεπτά, 3 φορές την εβδομάδα με ένταση 8-13 km/h είναι μια ικανοποιητική αερόβια δραστηριότητα για τους περισσότερους ανθρώπους (Thyfault et al. 2016).

2.8 Αερόβια ικανότητα και χρόνιες ασθένειες

Οι χρόνιες ασθένειες μαστίζουν τον σύγχρονο άνθρωπο. Η αερόβια προπόνηση μπορεί να αυξήσει την αερόβια αντοχή του ατόμου, με αποτέλεσμα να γίνει πιο ανεξάρτητος στην καθημερινότητα του και να έχει μια πολύ καλή ποιότητα ζωής. Σε συνδυασμό με την μυϊκή του ενδυνάμωση και το κατάλληλο εξατομικευμένο πρόγραμμα γυμναστικής μπορεί να έχει μια άριστη ποιότητα ζωής. Έρευνα έδειξε πως η αερόβια προπόνηση μπορεί να βελτιώσει την αερόβια αντοχή σε άτομα με εγκεφαλικό επεισόδιο και να αυξήσει την ευαισθησία της ινσουλίνης σε άτομα 22-87 ετών με διαβήτη τύπου 2 (Lavie et al. 2015, Albouaini et al. 2007, Pang et al. 2006, Short et al. 2003.). Έπειτα, η αερόβια προπόνηση υψηλής έντασης έδειξε με μια έρευνα πως έχει καλύτερα αποτελέσματα για άτομα που πάσχουν από μεταβολικό σύνδρομο σε σχέση με την προπόνηση χαμηλής έντασης. Αυτό κυρίως οφείλεται στην καλύτερη ενεργοποίηση του μεταβολισμού, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη απώλεια και καύση θερμίδων κατά τη διάρκεια της προπόνησης και στην κατάσταση ηρεμίας (Haram et al. 2008).

2.9 Προσδιορισμός της VO₂max

Η VO₂max μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα ή έμμεσα. Διακρίνουμε τρία επίπεδα προσδιορισμού (Κλεισούρας 2016) :

Επίπεδο I) Αφορά εργαστηριακή μέτρηση της VO₂max που γίνεται σε συγκεκριμένα εργαστήρια από ειδικό προσωπικό, με ανοιχτό κύκλωμα εργοσπιρομέτρησης. Ανάλογα με το άτομο χρησιμοποιείται και το εξής πρωτόκολλο μέτρησης. Είναι η πιο άμεση και αξιόπιστη μέθοδος.

Επίπεδο II) Αφορά την έμμεση μέθοδο υπολογισμού της VO₂max κατά την υπό μέγιστη προσπάθεια, με βάση τις φυσιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού, συνήθως χρησιμοποιείται η καρδιακή συχνότητα. Δεν χρειάζεται έμπειρο και πολύ εξειδικευμένο προσωπικό και έχουν το πλεονέκτημα πως είναι μη δαπανηρές και πολύ εύχρηστες, χωρίς να έχουν την ακρίβεια της άμεσης μεθόδου. Μια κλασική τέτοια μέθοδος είναι το νομόγραμμα Astrand-Ryhming.

Επίπεδο III) Αφορά την έμμεση μέθοδο υπολογισμού της VO₂max και περιλαμβάνει υπαίθριες δοκιμασίες, συνήθως δρομικές, που απαιτούν μέγιστη εξαντλητική προσπάθεια τόσης διάρκειας που να ενεργοποιεί τον αερόβιο μηχανισμό παραγωγής ενέργειας. Διακρίνονται τριών

ειδών δοκιμασίες, προκαθορισμένης απόστασης, προκαθορισμένη διάρκειας και προκαθορισμένης ταχύτητας. Είναι μία έγκυρη μέτρηση και είναι αρκετά εύχρηστη μέθοδος.

2.10 Αναερόβιο κατώφλι

Το αναερόβιο κατώφλι είναι ένας πολύ σημαντικός δείκτης για την αερόβια αντοχή του ατόμου και πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν πως είναι πιο σημαντικό σημείο, ακόμα και από τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, για την επίδοση του αθλητή. Ως αναερόβιο κατώφλι ορίζεται, η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνει ο οργανισμός πριν την συστηματική συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα. Σε εκείνο το σημείο ο οργανισμός δεν έχει άλλο οξυγόνο για την ενέργεια που χρειάζεται και επομένως παράγει γαλακτικό με αναερόβιες διαδικασίες για την παραγωγή ενέργειας. Θεωρητικά ένας αθλητής θα μπορούσε να τρέχει επ' άπειρον αν δεν φτάσει το αναερόβιο κατώφλι του, αλλά εκεί συνδράμουν άλλα αίτια που προκαλούν την κόπωση. Το αναερόβιο κατώφλι, αντιστοιχεί σε εκείνη την ένταση της προσπάθειας που ενεργοποιείται η αναερόβιος γλυκόλυση και υπάρχει μεταβολή στην οδό παραγωγής ενέργειας. Η σπουδαιότητα του έγκειται στο γεγονός ότι αντικατοπτρίζει τις μεταβολικές προσαρμογές των μυών, ενώ η VO_{2max} προσαρμογές της καρδιάς και των πνευμόνων. Για τον προσδιορισμό του χρησιμοποιούνται οι εξής τρεις μέθοδοι : α) το γαλακτικό κατώφλι, όπου αναφέρεται στο σημείο καμπής που αρχίζει η συστηματική συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα κατά την αυξανόμενη άσκηση, β) το αναπνευστικό κατώφλι, όπου παρατηρείται απόκλιση της αύξησης του πνευμονικού αερισμού από την γραμμικότητα και πολλές φορές θεωρητικά είναι ίδιο με το γαλακτικό κατώφλι και γ) το κατώφλι της καρδιακής συχνότητας, όπου παρατηρούνται τρεις φάσεις, την αρχική φάση διακύμανσης, τη γραμμική που η καρδιακή συχνότητα είναι ευθέως ανάλογη της έντασης της προσπάθειας και τη φάση που η καρδιακή συχνότητα αποκλίνει από τη γραμμικότητα (Nunes et al. 2019, Κλεισούρας 2016, Svedahl & MacIntosh 2003, Wasserman et al. 1973).

2.11 Εξίσωση του fick

Η εξίσωση του Fick μας αναπαριστά το γινόμενο της VO_2 . Η VO_2 είναι το γινόμενο της καρδιακής παροχής και της αρτηριοφλεβικής διαφοράς O_2 . Η καρδιακή παροχή εκφράζεται με το γινόμενο του όγκου παλμού και της καρδιακής συχνότητας. Η εξίσωση είναι πολύ σημαντική, διότι μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε τη VO_2 και τη VO_{2max} του ατόμου. Από το περιεχόμενό της μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε και να καταλάβουμε πως πρέπει να

εναρμονιστούν όλες οι λειτουργίες και δομές του οργανισμού για τη παραγωγή αερόβιας ενέργειας κατά τη μέγιστη μυϊκή προσπάθεια (Κλεισούρας 2016).

Εξίσωση FICK

$$VO_2\max = \text{καρδιακή παροχή (καρδιακή συχνότητα * όγκου παλμού) * αρτηριοφλεβική διαφορά } O_2 (a-VO_2)$$

2.12 Παράγοντες για την απόδοση του αθλητή

2.12.1 Αερόβια ικανότητα και αερόβια αντοχή

Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με τη αερόβια αντοχή. Ως αερόβια αντοχή (καρδιόαναπνευστική αντοχή) ενός ατόμου, ορίζουμε τη σχετική ένταση που μπορεί να διατηρηθεί όσο γίνεται περισσότερο χρόνο ή ως την ανώτατη ένταση που μπορεί να διατηρηθεί για μια ορισμένη διάρκεια ή απόσταση. Θεωρητικά το άτομο όσο περισσότερη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου έχει, τόσο περισσότερη αερόβια αντοχή έχει. Πράγματι, στη πράξη μεταξύ δυο ατόμων τα οποία έχουν διαφορετική $VO_2\max$, σε μια απόσταση αντοχής είναι πολύ πιθανόν το άτομο με την υψηλότερη $VO_2\max$ να διανύσει την απόσταση σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Όμως, σε αθλητές υψηλού επιπέδου, άλλοι είναι οι κύριοι παράγοντες που διαδραματίζουν πιο σοβαρό λόγο για την επίδοσή τους σε έναν αγώνα αντοχής (Κλεισούρας 2016, Joyner & Coyle 2008).

2.12.2 Αερόβια ικανότητα και ενεργειακή οικονομία

Ένας απ' αυτούς είναι η ενεργειακή οικονομία του αθλητή. Με τον όρο ενεργειακή οικονομία εννοούμε την όσο μικρότερη κατανάλωση οξυγόνου σε ένα υπό μέγιστο έργο. Το άτομο στη διάρκεια ενός υπό μέγιστου έργου, όσο λιγότερο οξυγόνο χρησιμοποιεί, τόσο καλύτερη είναι η οικονομία του. Επηρεάζεται από την κατανομή των μυϊκών ινών που βρίσκονται στον αθλητή, καθώς και από την τεχνική και την νευρομυϊκή συναρμογή (Κλεισούρας 2016, Paavolainen et al. 1999, Heigerud 1994).

2.12.3 Αερόβια ικανότητα και % $VO_2\max$

Ο επόμενος παράγοντας που έχει καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του αθλητή είναι το % $VO_2\max$ που χρησιμοποιείται. Σύμφωνα με έρευνες, τα προπονημένα άτομα

αξιοποιούν μεγαλύτερο ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_2max) σε έναν δρόμο αντοχής, σε σχέση με τα απροπόνητα. Όσο περισσότερο διαρκεί η αγωνιστική προσπάθεια, τόσο περισσότερο μειώνεται η ένταση της και επομένως τα άτομα που μπορούν να διατηρήσουν το έργο τους πιο ψηλά και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αποκτούν μεγάλο πλεονέκτημα. Το 100% της VO_2max θα χρησιμοποιηθεί μόνο για λίγα λεπτά και για αυτό το λόγο το ποσοστό αυτής διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο (Κλεισούρας 2016).

2.12.4 Αερόβια ικανότητα και $v VO_2max$

Η ταχύτητα $v VO_2max$ έχει καθοριστικό ρόλο στη διάρκεια του αγώνα για έναν αθλητή. Όσο μεγαλύτερη μέση ταχύτητα μπορεί να διατηρήσει ο αθλητής, τόσο καλύτερη απόδοση θα πραγματοποιήσει. Ο αθλητής θα πρέπει να διατηρεί ένα σταθερό τέμπο καθ' όλη τη διάρκεια του αγώνα και να μην εναλλάσσει τον ρυθμό συνέχεια κατά την προσπάθεια του (Bernard et al. 2000).

2.13 VO_2max και συστήματα οργανισμού

Η τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου έχει να κάνει με τρία πολύ βασικά συστήματα του οργανισμού. Αυτά είναι: το αναπνευστικό, το κυκλοφορικό και το μυϊκό σύστημα. Αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τη VO_2max του ατόμου και το καθ' ένα απ αυτά έχει τη δική του ρόλο και τη δικιά του σημασία (Vander et al. 2011).

2.13.1 Αερόβια ικανότητα και αναπνευστικό σύστημα

Το αναπνευστικό σύστημα είναι υπεύθυνο να προσλαμβάνει οξυγόνο από τον αέρα και να προμηθεύει το αίμα με αυτό. Εξαρτάται από την δύναμη των αναπνευστικών μυών, την πνευμονική χωρητικότητα, τις διαφορές πιέσεων στο αναπνευστικό σύστημα και την επάρκεια του κυψελιδικού αίματος.

2.13.2 Αερόβια ικανότητα και κυκλοφορικό σύστημα

Το κυκλοφορικό σύστημα είναι υπεύθυνο να μεταφέρει επαρκείς ποσότητες αίματος στον οργανισμό. Η ικανότητα του συστήματος αυτού εξαρτάται από την ακεραιότητα των αιμοφόρων αγγείων, την ποιότητα και ποσότητα των συστατικών του αίματος, καθώς και άλλους ορμονικούς παράγοντες.

2.13.3 Αερόβια ικανότητα και μυϊκό σύστημα

Το μυϊκό σύστημα είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή αερίων μεταξύ αίματος και μυών, καθώς και να μεταφέρουν ενέργεια αποτελεσματικά. Η ικανότητα του εξαρτάται από τη ρύθμιση της οξεοβασικής ισορροπίας, την αρτηριοφλεβική διαφορά του οξυγόνου, καθώς και από τα τριχοειδή αγγεία.

2.14 Προσαρμογές στο μυ

Στου αθλητές αντοχής εμφανίζονται πολυάριθμες καρδιαγγειακές προσαρμογές, που οφείλονται στη χρόνια προπόνηση αντοχής. Το μέγεθος της καρδιάς μεγαλώνει, καθώς ο μυς της καρδιάς υπέρ τρέφεται από την πολύ προπόνηση. Επίσης η μάζα και ο όγκος της αυξάνονται, λόγω της παρατεταμένης απαίτησης έργου της προπόνησης. Παλαιότερα όλες αυτές τις προσαρμογές οι γιατροί τις απέδιδαν σε παθολογικά αίτια, ενώ σήμερα γνωρίζουμε πως οφείλονται σε χρόνιες προσαρμογές της αερόβιας προπόνησης και δεν υπάρχει ανησυχία για παθολογικά αίτια. Η μεριά της καρδιάς που επηρεάζεται κυρίως είναι η αριστερή κοιλία, επειδή αυτή η κοιλότητα δουλεύει πιο πολύ. Χρησιμοποιώντας την μαγνητική τομογραφία, ο Millikesn και οι συνάδελφοί του διαπίστωσαν ότι ιδιαίτερα προπονημένοι σκιέρ, ποδηλάτες και δρομείς μεγάλων αποστάσεων είχαν μεγαλύτερη μάζα αριστερής κοιλίας από τα μη αθλούμενα άτομα (Wilmore & Costill 2011).

Στην ηρεμία ο όγκος παλμού σε άτομα είναι μεγαλύτερος μετά από μια προπόνηση αντοχής σε σχέση με πριν. Οι απόλυτες τιμές του όγκου παλμού δεν είναι απλά μια λειτουργία που οφείλεται στην φυσική κατάσταση του ατόμου, αλλά διαδραματίζει σημαντικό ρόλο το πόσο μεγαλόσωμος είναι ο αθλητής. Οι μεγαλόσωμοι αθλητές έχουν μεγαλύτερο όγκο παλμού σε σχέση με τους πιο μικρόσωμους. Μετά την προπόνηση η αριστερή κοιλία γεμίζει πιο πολύ κατά τη διάρκεια της διαστολής από ότι μια απροπόνητη καρδιά. Ο όγκος του πλάσματος του αίματος αυξάνεται με την προπόνηση, πράγμα που σημαίνει ότι περισσότερο αίμα είναι διαθέσιμο για να εισέλθει στην κοιλία, αυξάνοντας τον τελοδιαστολικό όγκο. Επίσης, η συχνότητα που χτυπάει μια καρδιά είναι μικρότερη σε ένα γυμνασμένο άτομο που ασχολείται με προπόνηση αντοχής, από ότι σε έναν απροπόνητο στην ηρεμία, αλλά και για ένα καθορισμένο έργο σε μια προπόνηση (Wilmore & Costill 2011).

Πολλές μελέτες έχουν δείξει πως η καρδιακή συχνότητα του ατόμου είναι ένας πολύ καλός δείκτης για το πόσο καλά και σκληρά δουλεύει ο καρδιακός μυς. Η μέτρηση μπορεί να γίνει στην ηρεμία αλλά και κατά τη διάρκεια της προπόνησης. . Επειδή ο ενεργός μυς απαιτεί περισσότερο οξυγόνο από το μυ που βρίσκεται σε ηρεμία, η κατανάλωση οξυγόνου στην καρδιά και κατά συνέπεια το έργο που εκτελεί συσχετίζονται άμεσα με την συχνότητα συστολής της καρδιάς. Η καρδιακή συχνότητα μπορεί να μειωθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια της ηρεμίας μετά από ένα πρόγραμμα αντοχής. Μπορεί να μειωθεί κατά περίπου 1 παλμό/min ανά βδομάδα για τις πρώτες βδομάδες της προπόνησης. Έτσι μετά από 10 βδομάδες μέτριας προπόνησης αντοχής η καρδιακή συχνότητα στην ηρεμία θα μπορούσε να μειωθεί από 70 σε 60 παλμούς/min. Η καλύτερη φυσική κατάσταση, οδηγεί σε χαμηλότερη καρδιακή συχνότητα σε ένα υπό μέγιστο έργο. Έτσι το άτομο έχει καλύτερη καρδιακή συχνότητα μετά το τέλος της προπόνησης αντοχής σε σχέση με πριν. Τέλος, όσον αφορά την μέγιστη καρδιακή συχνότητα ενός ατόμου τείνει να είναι σταθερή και παραμένει συνήθως σχετικά *απαράλλακτη* μετά από προπόνηση αντοχής (Wilmore & Costill 2011).

2.15 Περιοριστικοί παράγοντες της VO₂max

Η χρόνια αερόβια προπόνηση επιφέρει αλλαγές στον τύπο των μυϊκών ινών, την αιματική παροχή μέσω των τριχοειδών αγγείων, την περιεχόμενη αιμοσφαιρίνη, τη μιτοχονδριακή λειτουργία και τα οξειδωτικά ένζυμα (Wilmore & Costill 2011).

Τύπος μυϊκών ινών. Οι αερόβιες δραστηριότητες όπως το τρέξιμο και η ποδηλασία στηρίζονται εκτενώς στις ίνες βραδείας συστολής (ST). Σε απάντηση στην αερόβια προπόνηση, οι συγκεκριμένες ίνες γίνονται μεγαλύτερες. Έχουν μεγαλύτερο εμβαδόν εγκάρσιας διατομής, αν και το μέγεθος της αλλαγής εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια του προγράμματος προπόνησης. Έχουν αναφερθεί αυξήσεις μέχρι και 25%. Οι ίνες ταχείας συστολής (FT), επειδή δεν επιστρατεύονται στην ίδια έκταση δεν αυξάνουν το εμβαδόν της διατομής τους. Επίσης οι περισσότερες από τις πρώτες μελέτες δεν βρήκαν καμιά αλλαγή στον ποσοστό των ινών της βραδείας και ταχείας συστολής, μετά από αερόβια προπόνηση, αλλά σημειώθηκαν αλλαγές σε υποκατηγορίες των ινών (FT). Πρόσφατα στοιχεία δείχνουν πως μπορεί να υπάρξει μετατροπή ινών FT σε ST.

Αιματική παροχή μέσω των τριχοειδών αγγείων. Μια από τις σημαντικότερες προσαρμογές στην αερόβια προπόνηση είναι μια αύξηση στον αριθμό των τριχοειδών αγγείων που περιβάλλουν κάθε μυϊκή ίνα. Τα άτομα που κάνουν προπόνηση αντοχής έχουν αρκετά περισσότερα τριχοειδή αγγεία στους μυς των ποδιών τους από τα απροπόνητα άτομα. Με μεγάλες περιόδους αερόβιας προπόνησης ο αριθμός των τριχοειδών αγγείων έχει αποδειχθεί ότι αυξάνεται περισσότερο από 15%. Η κατοχή περισσότερων τριχοειδών αγγείων επιτρέπει την μεγαλύτερη ανταλλαγή αερίων, θερμότητας, αποβλήτων και θρεπτικών ουσιών ανάμεσα στο αίμα και τις ενεργές μυϊκές ίνες. Η διάχυση του οξυγόνου από το τριχοειδές αγγείο στα μιτοχόνδρια είναι ένας σημαντικός παράγοντας που περιορίζει τον μέγιστο αριθμό κατανάλωσης οξυγόνου. Η αυξημένη τριχοειδή πυκνότητα διευκολύνει αυτή την διάχυση, διατηρώντας ένα περιβάλλον που έχει τις προϋποθέσεις να παράγει ενέργεια και επαναλαμβανόμενες μυϊκές συστολές. Οι ουσιαστικές αλλαγές στον αριθμό των τριχοειδών των μυών πραγματοποιούνται στις πρώτες εβδομάδες ή μήνες της προπόνησης.

Περιεκτικότητα μυοσφαιρίνης. Όταν το οξυγόνο μπαίνει στην μυϊκή ίνα συνδέεται με την μυοσφαιρίνη. Μια ένωση που περιέχει σίδηρο και μεταφέρει τα μόρια οξυγόνου από την μεμβράνη των κυττάρων στα μιτοχόνδρια.

Οι ίνες ST περιέχουν μεγάλες ποσότητες μυοσφαιρίνης η οποία δίνει σε αυτές την κόκκινη εμφάνιση τους. Η μυοσφαιρίνη αποθηκεύει το οξυγόνο και το απελευθερώνει στα μιτοχόνδρια όταν αυτό περιοριστεί κατά τη διάρκεια της μυϊκής δράσης. Αυτό το απόθεμα οξυγόνου χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της μετάβασης από την ηρεμία στην άσκηση παρέχοντας οξυγόνο στα μιτοχόνδρια. Έχει αποδειχθεί πως η αερόβια προπόνηση αυξάνει την περιεκτικότητα των μυών σε μυοσφαιρίνη κατά 75% ως 80%.

Μιτοχονδριακή λειτουργία. Η αερόβια προπόνηση προκαλεί αλλαγές στην μιτοχονδριακή λειτουργία που βελτιώνουν την ικανότητα των μυϊκών ινών να παράγουν ATP. Η ικανότητα να χρησιμοποιηθεί το οξυγόνο και να παραχθεί ATP μέσω της οξειδωσης εξαρτώνται από τον αριθμό, το μέγεθος και την αποδοτικότητα των μιτοχονδρίων του μυός. Όσο αυξάνεται ο όγκος της αερόβιας προπόνησης, τόσο αυξάνεται και ο αριθμός και το μέγεθος των μιτοχονδρίων.

Οξειδωτικά ένζυμα. Η οξειδωτική διάσπαση των καυσίμων και η τελική παραγωγή ATP εξαρτώνται από τη δράση των μιτοχονδριακών οξειδωτικών ενζύμων, ειδικών πρωτεϊνών που

επιταχύνουν τον καταβολισμό των θρεπτικών ουσιών για να σχηματιστεί ATP. Η αερόβια προπόνηση αυξάνει αυτές τις ενζυμικές δραστηριότητες.

2.16 Προσαρμογές του καρδιαγγειακού συστήματος

Η μεταφορά οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στα μιτοχόνδρια απαιτεί τέσσερις αλυσιδωτές λειτουργίες. Κάθε μία από αυτές τις λειτουργίες μπορεί να αποτελέσει τον αδύναμο κρίκο της πρόσληψης οξυγόνου, κατά τη μέγιστη μυϊκή προσπάθεια.

- I) *Η αναπνευστική λειτουργία, που αναφέρεται στον πνευμονικό αερισμό και στη διάχυση του οξυγόνου στο αίμα.*
- II) *Η κεντρική λειτουργία, που περιλαμβάνει την καρδιακή παροχή (όγκο παλμού x καρδιακή συχνότητα), την αρτηριακή πίεση και τη συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης στο αίμα.*
- III) *Η περιφερική κυκλοφορία, που περιλαμβάνει τη ροή του αίματος στους ενεργούς μυς, το δίκτυο τριχοειδών αγγείων και τη διάχυση του οξυγόνου στα μιτοχόνδρια.*
- IV) *Ο μυϊκός μεταβολισμός, που αναφέρεται στη μεταβολική ικανότητα των ενεργών μυών, δηλαδή στα οξειδωτικά ένζυμα, στον όγκο των μιτοχονδρίων, τη μυοσφαιρίνη, τις ενεργειακές πηγές και την κατανομή των μυϊκών ινών.*

2.17 Αερόβια ικανότητα και VO₂peak

Οι δοκιμασίες για τη μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου αναφέρονται κυρίως σε άτομα που γνωρίζουν να φτάνουν μέχρι τελικής εξάντλησης και για άτομα που έχουν πολύ ισχυρό κίνητρο να φτάσουν μέχρι τελικής κόπωσης. Η συγκεκριμένη διαδικασία μέτρησης δεν μπορεί να κάνει διακρίσεις μεταξύ των ατόμων και συμμετεχόντων που διακόπτουν το πρωτόκολλο (δοκιμασία) λόγω έλλειψη κινήτρου, αντιληπτή ενόχληση ή άλλων ποικίλων λόγων. Έτσι, έχει δημιουργηθεί από τους επιστήμονες η VO₂peak για άτομα που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις, ηλικιωμένους, παιδιά ή και ακόμα για πολύ αγύμναστους. Η VO₂peak αντιπροσωπεύει την τιμή της πρόσληψης οξυγόνου του αθλούμενου, εκείνη τη στιγμή που σταμάτησε το πρωτόκολλο άσκησης, χωρίς να επέλθει η μέγιστη κόπωση, προκειμένου να αμβλυνθεί το σφάλμα της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO₂max). Υπάρχουν περίπου 5.200 αναφορές στο Pub Med για τη VO₂peak των αθλούμενων που συμμετέχουν στις συγκεκριμένες δοκιμασίες και τους δίνεται η ευκαιρία για τα επόμενα να συμμετέχουν με διαφορετική αυτοπεποίθηση και σιγά-σιγά να

βελτιώνονται, προκειμένου να πλησιάζουν την πραγματική τιμή της $\dot{V}O_2\max$ τους (Poole & Jones 2017, Gordon et al. 2012, Jackson et al. 1990).

Σε άρθρο που δημοσιεύτηκε το 2007 από τον Yoon, πραγματοποιήθηκαν τέσσερα διαφορετικά πρωτόκολλα (δοκιμασίες) με χρόνους 5, 8, 12 και 16 λεπτών. Συμμετείχαν επτά γυναίκες και επτά άνδρες με υψηλή αθλητική ικανότητα. Τα αποτελέσματα για τους άνδρες, έδειξαν πολύ μεγαλύτερη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου σε όλους τους χρόνους σε σχέση με τις γυναίκες. Οι γυναίκες δεν εμφάνισαν διαφορά στους διαφορετικούς χρόνους των δοκιμασιών, ενώ οι άντρες είχαν αισθητά υψηλότερη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου στην διάρκεια της δοκιμασίας των 8 λεπτών (Yoon 2007).

2.18 Πλατό και δευτερεύοντα κριτήρια αξιολόγησης

Ο πιο αξιόπιστος δείκτης για την επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου είναι το πλατό που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας (Astorino 2009). Όσο αυξάνεται το έργο, τόσο αυξάνεται και η $\dot{V}O_2$ του αθλούμενου. Όταν, και αν η $\dot{V}O_2$ σταθεροποιηθεί σε μια συγκεκριμένη τιμή και συνεχίσει για λίγο την πορεία της, τότε συμπεραίνουμε πως επετεύχθη ένα πλατό της $\dot{V}O_2$, η οποία είναι και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου του αθλούμενου. Το πλατό είναι ένας πολύ υψηλός δείκτης αξιοπιστίας και δηλώνει την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου του αθλούμενου. Επειδή, η επίτευξη πλατό δεν πετυχαίνεται πάντα, ακόμα και σε άτομα που έχουν φτάσει σε μια πραγματική μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (Midgley et al. 2007, Doherty et al. 2003), οι επιστήμονες χρησιμοποιούν δευτερεύοντα στοιχεία για να διαπιστώσουν αν ο αθλούμενος έφτασε στη πραγματική $\dot{V}O_2\max$. Αυτά είναι τα εξής, αν :

- 1) Αναπνευστικό πηλίκο (RER) > 1.10
- 2) Καρδιακή συχνότητα (HR) ≤ 10 b/m ή $\leq 5\%$ (220-ηλικία)
- 3) Συγκέντρωση γαλακτικού ≥ 8 mM

Η τιμή του αναπνευστικού πηλίκου (RER) είναι ο πιο δημοφιλής δείκτης από τα δευτερεύοντα κριτήρια για την πιστοποίηση της $\dot{V}O_2\max$. Έπειτα, η καρδιακή συχνότητα HR είναι το δεύτερο πιο δημοφιλές κριτήριο και τέλος, η συγκέντρωση του γαλακτικού οξυ στο αίμα είναι το τρίτο κατά σειρά κριτήριο για την πιστοποίηση της $\dot{V}O_2\max$ σύμφωνα με τον Howley το 1995.

Αυτά τα δευτερεύοντα στοιχεία δεν είναι πολύ αξιόπιστα, διότι υπάρχει ένα πολύ μεγάλο εύρος πληθυσμού. Για παράδειγμα στην Βόρεια Αμερική η μέγιστη καρδιακή συχνότητα (HRmax) έχει ένα μέσο όρο τα 187b/m, ενώ στη Σκανδιναβία 205b/m. Επίσης, ο Wasserman αναφέρει το 1985 πως στην Αφρική το εύρος του γαλακτικού είναι 4-10mM και οι Astrand και Rodahl το 1986 στη Σκανδιναβία το γαλακτικό είναι >15mM (Dolopikou et al. 2019, Poole & Jones 2017).

Ο Beltz τονίζει ότι η ηλικία, η φυσική κατάσταση του αθλούμενου, το πρωτόκολλο και η αξιολόγηση των δεδομένων που συγκεντρώνει ο ερευνητής, είναι τα κύρια στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν το πλατό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Shaun 2017). Έπειτα, τρεις ακόμη παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό την VO_2 του δοκιμαζόμενου, οι οποίοι είναι η βαρομετρική πίεση, η θερμοκρασία του αερίου και η πίεση των υδρατμών του αερίου. Συγκεκριμένα, μια λανθασμένη τιμή της βαρομετρικής πίεσης 7-8 mm της στήλης υδραργύρου θα μπορούσε να προκαλέσει μια απόκλιση 1% της VO_2 (Howley et al. 1995).

2.19 Δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης με αντίσταση μεγαλύτερη της VO_{2max} για την επαλήθευση του πλατό

Πολλοί ερευνητές (Shaun 2017) χρησιμοποιούν ένα δεύτερο πρωτόκολλο άσκησης, για να διαπιστωθεί η επίτευξη του πλατό. Στόχος τους πρέπει να είναι με τη δεύτερη δοκιμασία, όχι να πραγματοποιηθεί μια μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου παρόμοια με την προηγούμενη μέτρηση, αλλά να επιτευχθεί μια σειρά τιμών (πλατό) που να επιβεβαιώνει την ύπαρξη πλατό κατά τη διάρκεια της VO_{2max} . Ο Hawkins απέδειξε σε μια έρευνα πως 52 πολύ καλά γυμναζόμενοι δρομείς αντοχής σε μια δοκιμασία μέχρι εξάντλησης δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε σχέση με μια δεύτερη δοκιμασία με ένταση στο 130% της μέγιστης. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το ίδιο άτομο που εκτελεί δυο διαφορετικές δοκιμασίες, μια μέγιστη και μια υπέρ μέγιστη, μπορεί να εμφανίζει πλατό μόνο σ' ένα απ' αυτά, ενώ παρουσιάζει παρόμοια μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου μεταξύ των δύο δοκιμασιών (Shaun 2017).

Η ένταση της δεύτερης δοκιμασίας στο 90% με 130% της μέγιστης που τελείωσε ο αθλούμενος στην αρχική δοκιμασία, έχει ήδη χρησιμοποιηθεί και έχει θετικά αποτελέσματα. Η διάρκεια, είναι πολύ κοντά σε συσχέτιση με την ένταση. Η διάρκεια, σύμφωνα με έρευνες, έχουν δείξει πως πρέπει να είναι 3 με 6 λεπτά. Ακόμη, πολύ σοβαρές μελέτες έχουν δείξει μικρότερους και πιο σύντομους χρόνους, όπως 1.47min και 1.91min σε μελέτη του Rossiter και Sawyer

αντίστοιχα. Ασθενείς, ηλικιωμένοι και όχι καλά προπονημένοι, ίσως να χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε σχέση με τους υγιείς και καλά προπονημένα άτομα. Η βέλτιστη ξεκούραση ανάμεσα στις δυο δοκιμασίες έχει αποδειχτεί πως είναι ο χρόνος των 10 λεπτών, ωστόσο και το χρονικό διάστημα των 5, 15, 20 ακόμα και 60 λεπτών, επίσης χρησιμοποιούνται. Σε μια έρευνα, ο Nolan βρήκε ότι μεταξύ 20 με 60 λεπτά δεν υπάρχει διαφορά που να επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα (Shaun 2017).

2.20 Ο σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να συγκρίνουμε την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου με τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο 110%VO₂max για την επαλήθευση της ύπαρξης πλατό. Η επίτευξη πλατό είναι το πιο σημαντικό και αξιόπιστο κριτήριο για την αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου του ασκουμένου. Η δεύτερη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο 110%VO₂max έγινε με σκοπό να επιτευχθεί ένα πλατό στην πρόσληψη οξυγόνου και να συγκριθεί με το πλατό αν είχε επιτευχθεί κατά τη δοκιμασία της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δείγμα

Στη δοκιμασία συμμετείχαν 12 δοκιμαζόμενοι, οι οποίοι ήταν ενήλικοι άνδρες και ελεύθερα αθλούμενοι (2-3 προπονήσεις την εβδομάδα).

3.2 Περιγραφή διαδικασίας

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν δυο. Η πρώτη: μέτρηση μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε μέγιστη προσπάθεια και η δεύτερη: μέτρηση μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου με επιβάρυνση στο 110%VO₂max.

Οι δοκιμαζόμενοι εισήλθαν στο χώρο του εργαστηρίου με χαλαρή αθλητική περιβολή και αθλητικά παπούτσια. Συμπλήρωσαν το απαραίτητο δελτίο υγείας, το οποίο υπέγραψαν αφού πρώτα το διάβασαν προσεκτικά και αναλυτικά. Σ' αυτό έπρεπε να συμπληρώσουν την χρονολογική τους ηλικία, το ανάστημά τους, εάν υπήρχε κάποιος τραυματισμός εκείνη τη στιγμή ή κατά το παρελθόν. Το εργαστήριο ήταν στους 25 βαθμούς της κλίμακας κελσίου, 33% υγρασία

και 7,58 βαρομετρική πίεση. Οι μετρήσεις έγιναν σε ανοιχτό κύκλωμα σπιρομέτρησης μάρκας USA στο οποίο πραγματοποιήθηκε πριν η βαθμονόμηση του. Το ποδήλατο όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν μάρκα Monark. Το ύψος της σέλας ρυθμίστηκε κατάλληλα, ώσπου το πόδι ήταν ελαφρώς λυγισμένο στην άρθρωση του γόνατος όταν αυτό ήταν στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του.

Στους δοκιμαζόμενους φορέθηκε η μάσκα για την ανάλυση αερίων και ένα μανταλάκι στη μύτη τους προκειμένου να εισπνέουν και να εκπνέουν μόνο από το στόμα τους. Επίσης τους φορέθηκε ζώνη στο στήθος τους για την μέτρηση της καρδιακής συχνότητας με τηλεμετρία (Polar).

3.3 Περιγραφή δοκιμασίας μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και υπέρ μέγιστης προσπάθειας

Η πρώτη δοκιμασία ήταν η εξής:

Οι δοκιμαζόμενοι άρχισαν με μία ελαφριά προθέρμανση 5' στο ποδήλατο και στη συνέχεια πραγματοποίησαν μερικές διατάσεις 10'. Άρχισαν να ποδηλατούν με αρχική επιβάρυνση του τροχού στα 1,7 kg για τα πρώτα 5' στις 60 περιστροφές το λεπτό. Στο τέλος κάθε λεπτού μετρούσαμε την καρδιακή συχνότητα, μέσω του Polar και την κόπωση που ένιωθε στα πόδια και στην αναπνευστική του λειτουργία μέσω της κλίμακας αντιλαμβανόμενης κόπωσης (κλίμακα Borg), δείχνοντας την κλίμακα με έναν πίνακα και ο δοκιμαζόμενος με ένα νεύμα μας έλεγε που αντιστοιχεί εκείνη τη στιγμή. Αν στο 5^ο λεπτό η καρδιακή συχνότητα των δοκιμαζόμενων ήταν :

α) κάτω από 160 παλμούς τότε στο επόμενο στάδιο προσθέτονταν +0,8 kg επιπλέον επιβάρυνση για τα επόμενα 2,5 λεπτά. Στη συνέχεια η επιβάρυνση αυξανόταν κατά +0,4 kg σε κάθε στάδιο (2,5 λεπτά το κάθε στάδιο), μέχρι την εξάντληση του.

β) πάνω από 160 παλμούς , τότε στο επόμενο στάδιο προσθέτονταν +0,4 kg, επιπλέον επιβάρυνση για τα επόμενα 2,5 λεπτά. Στη συνέχεια η επιβάρυνση αυξανόταν κατά +0,4 kg σε κάθε στάδιο (2,5 λεπτά το κάθε στάδιο), μέχρι την εξάντληση του.

Και στις δυο παραπάνω περιπτώσεις, για το κάθε στάδιο, μετρίοταν στα τελευταία 30'' η καρδιακή συχνότητα (μέσω του Polar) και η κόπωση (μέσω της κλίμακας Borg). Οι δοκιμαζόμενοι σταματούσαν τη δοκιμασία όταν δεν μπορούσαν πλέον να διατηρήσουν τις 60

περιστροφές το λεπτό. Στην ολική εξάντληση τους, συνέχιζαν να ποδηλατούν με μηδενική επιβάρυνση για την ταχύτερη αποθεραπεία τους και μετά από λίγο τους αφαιρούταν η μάσκα.

Ενδιάμεσα με την επόμενη δοκιμασία ακλουθούσε διάλειμμα 15' για την πλήρη ανάρρωση των δοκιμαζόμενων.

Η δεύτερη δοκιμασία ήταν η εξής:

Στους δοκιμαζόμενους φορέθηκε πάλι η μάσκα για την ανάλυση αερίων και ένα μανταλάκι στη μύτη τους, όπως την πρώτη φορά. Η επιβάρυνση ήταν στο 110% της συνολικής που τερμάτισαν την προηγούμενη φορά και οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να ποδηλατούν με 60 περιστροφές το λεπτό μέχρι την ολική εξάντλησή τους. Στο τέλος κάθε λεπτού μετρίοταν η καρδιακή συχνότητα [μέσω καρδιοσυχνόμετρου (Polar Oy)] και η κόπωση (μέσω της κλίμακας Borg).

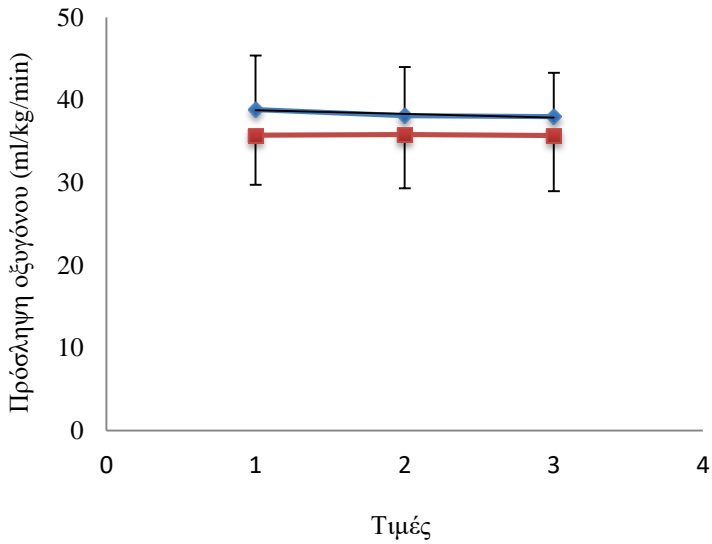
3.4 Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων μεταξύ των δυο δοκιμασιών χρησιμοποιήθηκε το t-test για ανεξάρτητα δείγματα ενώ για την αξιολόγηση του πλατό μεταξύ των δυο αξιολογήσεων χρησιμοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις [2 αξιολογήσεις (μέγιστη και υπέρ μέγιστη) x 3 συνεχόμενες μεγαλύτερες τιμές] ANOVA. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε στο $P=0,05$ και για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα IBM SPSS Statistics 22.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

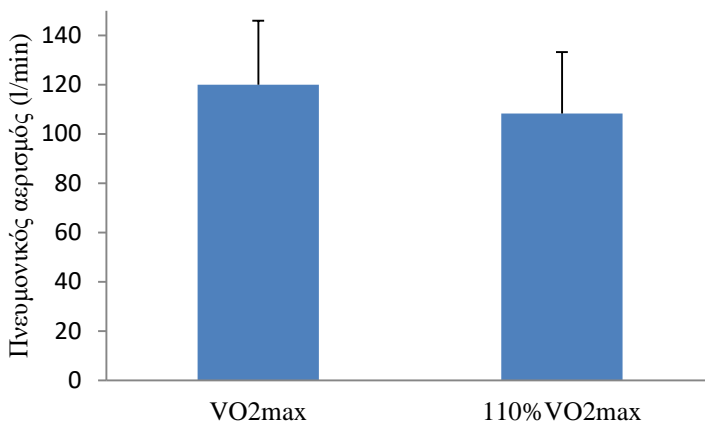
Σύμφωνα με τα γραφήματα και τις τιμές που λάβαμε από τους δοκιμαζόμενους προκύπτει πως:

Στο σχήμα 4.1.1 φαίνονται οι μέσοι όροι από τις τρεις τελευταίες μετρήσεις, με μπλε χρώμα η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου κατά τη σταδιακά αυξανόμενη δοκιμασία και με κόκκινο χρώμα η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου κατά τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο 110%VO₂max και δεν είναι στατιστικά σημαντική. Ο μέσος όρος για τις μετρήσεις της VO₂max είναι 1^{ης} 38,85 ±6,54 (ml/kg/min), 2^{ης} 38,1 ±5,87 (ml/kg/min), 3^{ης} 37,98 ±5,30 (ml/kg/min) , και για την 110% VO₂max 1^{ης} 35,73 ±5,97 (ml/kg/min), 2^{ης} 35,81 ±6,48 (ml/kg/min), 3^{ης} 24,7 ±6,75 (ml/kg/min).



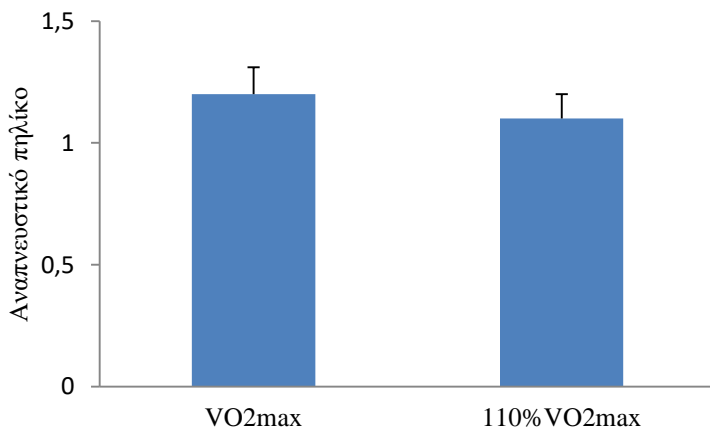
Σχήμα 4.1.1 Τρεις μέγιστες συνεχόμενες τιμές για την VO₂max (μπλε γραμμή) και για την υπέρ μέγιστη VO₂max (κόκκινη γραμμή)

Στο σχήμα 4.1.2 φαίνονται οι μέσοι όροι του πνευμονικού αερισμού (VE) της μέγιστης και υπέρ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και δεν είναι στατιστικά σημαντική με $p=0,183$. Ο μέσος όρος για την VO₂max είναι $120 \pm 25,92$ (ml/kg/min) και για την 110%VO₂max $108,3 \pm 24,9$ (ml/kg/min).



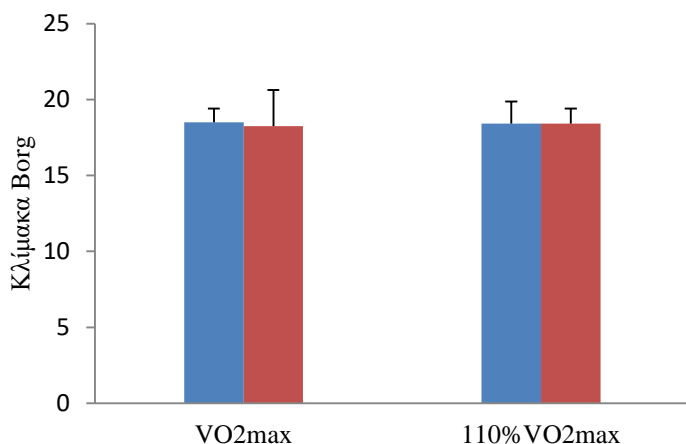
Σχήμα 4.1.2 Τιμές πνευμονικού αερισμού για την VO₂max και για την υπέρ μέγιστη VO₂max

Στο σχήμα 4.1.3 φαίνονται οι μέσοι όροι του αναπνευστικού πηλίκου CO_2/O_2 (RER) και έχει τη τάση να μην είναι στατιστικά σημαντική, με $p=0,055$. Ο μέσος όρος για τη VO_2max είναι $1,25 \pm 0,11$ (ml/kg/min) και για την $110\%VO_2max$ $1,14 \pm 0,1$ (ml/kg/min).



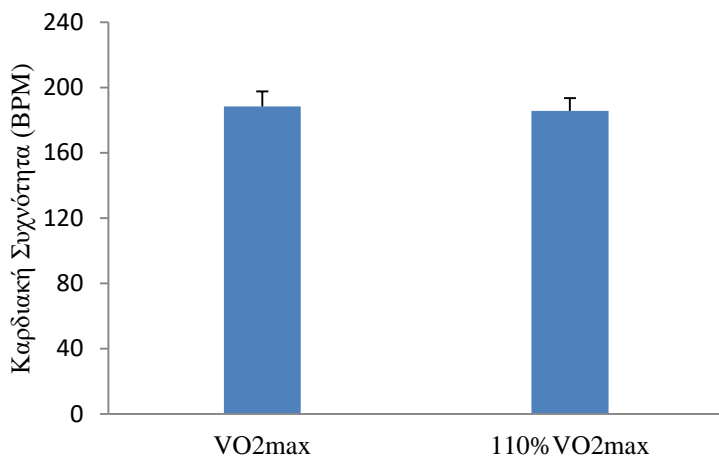
Σχήμα 4.1.3 Τιμές αναπνευστικού πηλίκου για την VO_2max και για την υπέρ μέγιστη VO_2max

Στο σχήμα 4.1.4 φαίνονται οι μέσοι όροι της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά την σταδιακά αυξανόμενη δοκιμασία και της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο $110\%VO_2max$ των δοκιμαζόμενων κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας για την αναπνοή και την κόπωση στα κάτω άκρα, μέσω της κλίμακας Borg και δεν είναι στατιστικά σημαντική με $p=0,83$ για το αναπνευστικό και $p=0,85$ για τα κάτω άκρα. Ο μέσος όρος για τη VO_2max είναι $18,5 \pm 0,90$ και $18,25 \pm 2,38$ για την αναπνοή και τα κάτω άκρα αντίστοιχα. Ο μέσος όρος για την $110\%VO_2max$ είναι $18,41 \pm 1,44$ και $18,41 \pm 0,1$ για την αναπνοή και τα κάτω άκρα αντίστοιχα.



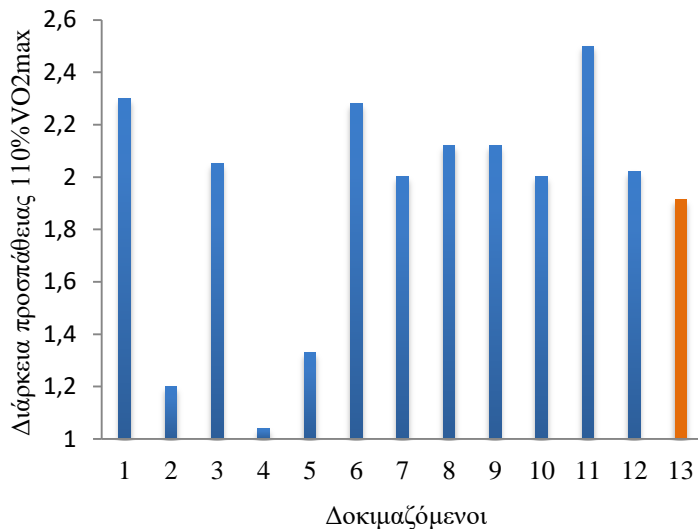
Σχήμα 4.1.4 Τιμές υποκειμενικής αίσθησης της κόπωσης κατά την VO_2max και υπέρ μέγιστη VO_2max για την αναπνοή (μπλε χρώμα) και για τα κάτω άκρα (κόκκινο χρώμα)

Στο σχήμα 4.1.5 φαίνεται ο μέσος όρος της καρδιακής συχνότητας της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά τη σταδιακά αυξανόμενη δοκιμασία και της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο $110\%VO_2max$ και δεν είναι στατιστικά σημαντική με $p=0,19$. Ο μέσος όρος για τη VO_2max είναι $188,3 \pm 9,17$ και για την $110\%VO_2max$ $185,6 \pm 7,81$.



Σχήμα 4.1.5 Καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια της VO_2max και της υπέρ μέγιστης VO_2max

Στο σχήμα 4.1.6 φαίνονται τα αποτελέσματα των χρόνων της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κατά τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο 110%VO₂max των δοκιμαζόμενων και των 12 ξεχωριστά, καθώς και ο μέσος όρος των χρόνων όλων των δοκιμαζόμενων.



Σχήμα 4.1.6 Χρόνοι δοκιμαζόμενων κατά την υπέρ μέγιστη VO₂max (μπλε χρώμα) και ο Μ.Ο των χρόνων όλων των δοκιμαζόμενων (πορτοκαλί χρώμα)

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα έρευνα έγινε με σκοπό την σύγκριση των τιμών των δυο δοκιμασιών, καθώς και για την επαλήθευση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου με τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο 110% VO₂max και η επίτευξη πλατό. Η πρώτη δοκιμασία έγινε για την μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO₂max) και η δεύτερη για την επαλήθευση της VO₂max και η επίτευξη πλατό αν αυτό δεν επετεύχθη στη πρώτη δοκιμασία. Και οι δυο μετρήσεις έγιναν στο κυκλοεργόμετρο και οι δοκιμαζόμενοι ήταν μέτρια προπονημένοι.

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν πως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου των δυο δοκιμασιών δεν είναι στατιστικά σημαντική με τις τιμές τους να είναι πολύ κοντά. Αυτό σημαίνει πως οι δυο δοκιμασίες δεν έχουν σημαντική διαφορά στις τιμές τους, κάτι που μας δείχνει πως οι δοκιμαζόμενοι και στα δύο πρωτόκολλα έφτασαν μέχρι την τελική εξάντληση. Από τη σύγκριση

της δεύτερης δοκιμασίας με την πρώτη, της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, μπορούμε να συμπεράνουμε πως οι δοκιμαζόμενοι εμφάνισαν μικρότερες τιμές στη VO_2max και στο πλατό.

Οι δοκιμαζόμενοι όπως φαίνεται από το σχήμα 4.1.1 (μέσος όρος τριών μέγιστων συνεχόμενων τιμών) έχουν επιτύχει πλατό. Η στατιστική ανάλυση έγινε με two way ANOVA και παρατηρούμε πως δεν υπάρχει επίδραση του χρόνου και της ομάδας καθώς και αλληλεπίδραση μεταξύ του χρόνου και των ομάδων. Από εδώ συμπεραίνουμε πως στην πρώτη κιάλας δοκιμασία οι δοκιμαζόμενοι έφτασαν μέχρι τελικής εξάντλησης και δημιουργία πλατό. Για την επαλήθευση του πλατό οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν και δεύτερη δοκιμασία με επιβάρυνση στο $110\%\text{VO}_2\text{max}$. Από αυτή συμπεραίνουμε πως επετεύχθη πλατό με πιο χαμηλές τιμές από τη προηγούμενη δοκιμασία.

Το αναπνευστικό πηλίκο CO_2/O_2 (RER) με $p=0,055$ έχει την τάση να είναι στατιστικά σημαντικό, αλλά θεωρούμε πως δεν είναι στατιστικά σημαντικό. Ταυτόχρονα, ο πνευμονικός αερισμός (VE) δεν είναι στατιστικά σημαντικός με $p=0,183$. Έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε πως οι τιμές τους ανάμεσα στις δυο δοκιμασίες δεν είναι διαφορετικές και υπάρχει μεγάλη ομοιότητα.

Παρατηρούμε, επίσης, μεγάλη ομοιότητα στη σύγκριση της κλίμακας Borg μεταξύ των δύο δοκιμασιών. Δεν υπάρχει στατιστική σημαντικότητα για την κλίμακα Borg και παρατηρούμε πως οι δοκιμαζόμενοι έχουν φτάσει σε υψηλές τιμές της. Εδώ είχαμε χωρίσει τη κλίμακα σε κόπωση στα κάτω άκρα και αναπνευστική κόπωση. Οι δοκιμαζόμενοι δεν εμφάνισαν κάποια σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των δυο δοκιμασιών. Έπειτα, και η καρδιακή συχνότητα δεν είναι στατιστικά σημαντική ανάμεσα στις δυο δοκιμασίες. Οι τιμές για την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και για την υπέρ μέγιστη είναι 188,3 και 185,6 αντίστοιχα. Παρατηρούμε πως είναι πολύ κοντά με μια ελαφρώς μείωση στη δεύτερη δοκιμασία.

Όσον αφορά τη δοκιμασία σταθερής επιβάρυνσης στο $110\%\text{VO}_2\text{max}$, έχουμε λάβει τους χρόνους για κάθε δοκιμαζόμενο ξεχωριστά. Παρατηρούμε πως ο μέσος όρος αυτών είναι 1,913 min και το εύρος τους είναι από 1,04 min έως 2,5 min. Παρόλο που πολλές έρευνες (Schaun 2017) έχουν δείξει πως ο χρόνος του δεύτερου πρωτοκόλλου θα πρέπει να είναι 3-6 min, αξιολογικές ερευνητικές εργασίες έχουν αποδείξει πως ο χρόνος αυτός μπορεί να είναι και μικρότερος, κοντά στο 1,5 min.

VI.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική

- 1) A. Vander, J. Sherman, D. Luciano, M. Τσακόπουλος. (2011). Φυσιολογία του ανθρώπου. Μηχανισμοί της λειτουργίας του οργανισμού. 1^η ελληνική έκδοση. Εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης.
- 2) Β. Κλεισούρα.(2016). Εργοφυσιολογία. Γ ανατύπωση. Εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης.
- 3) Peter B. Raven, David H. Wasserman, William G. Squires. Jr, Tinker D. Murray. (2016). Φυσιολογία της άσκησης. Μια ολιστική προσέγγιση. Ιατρικές εκδόσεις Λαγός Δημήτριος
- 4) Jack H. Wilmore, David L. Costill. (2011). Φυσιολογία της άσκησης και του αθλητισμού. (Β' βελτιωμένη ελληνική έκδοση). Εκδόσεις Π.Χ Πασχαλίδης.

6.2 Ξενόγλωσση

- 1) Schaun, G. Z. (2017). The Maximal Oxygen Uptake Verification Phase: a Light at the End of the Tunnel? *Sports Medicine - Open*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-017-0112-1>
- 2) Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403–410. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0596-3>
- 3) Poole, D. C., & Jones, A. M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2max}$: $\dot{V}O_{2peak}$ is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology*, 122(4), 997–1002. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01063.2016>
- 4) Yoon, B. K., Kravitz, L., & Robergs, R. (2007). $\dot{V}O_{2max}$, protocol duration, and the $\dot{V}O_2$ plateau. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1186–1192. <https://doi.org/10.1249/mss.0b13e318054e304>
- 5) Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of $\dot{V}O_{2max}$: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations Nicholas. *Journal of Sports Medicine*, 2016, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2016/3968393>
- 6) Wilson, T. M., & Tanaka, H. (2017). Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. *American Journal of*

- Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(3), H829–H834.
<https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.3.h829>
- 7) Doherty, M., Nobbs, L., & Noakes, T. D. (2003). Low frequency of the “plateau phenomenon” during maximal exercise in elite British athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 619–623. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0845-z>
 - 8) Hill, D. W., & Smith, J. C. (1993). Aerobic Contribution Capacity : Role of. *British Journal of Sports Medicine*, 27(1), 45–48.
 - 9) Koidou, I., Paschalis, V., Vrabas, I. S., Nikolaidis, M. G., Dolopikou, C. F., Kourtzidis, I. A., ... Kyparos, A. (2019). Acute nicotinamide riboside supplementation improves redox homeostasis and exercise performance in old individuals: a double-blind cross-over study. *European Journal of Nutrition*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.1007/s00394-019-01919-4>
 - 10) Angeles, L. O. S., Diego, S. A. N., Francisco, S. A. N., Barbara, S., Cruz, S., & Angeles, L. O. S. (2015). *University of california, los angeles*. 35(2), 0–1.
<https://doi.org/10.1039/c3ta11383c>
 - 11) Fulco, C. S., Rock, P. B., & Cymerman, A. (2006). Maximal and Submaximal Exercise Performance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 69(8), 793–801.
 - 12) Richardson, M. T., Holly, R. G., & Amsterdam, E. A. (2006). Multivariate Analysis of Exercise Tolerance Test Data in a Female Patient Population. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(2), 207–208. <https://doi.org/10.1249/00005768-198504000-00121>
 - 13) Inoshima, I., Inoshima, N., Wilke, G., Powers, M., Frank, K., Wang, Y., & Wardenburg, J. B. (2012). *HHS Public Access*. 17(10), 1310–1314. <https://doi.org/10.1038/nm.2451.A>
 - 14) Haram, P. M., Kemi, O. J., Lee, S. J., Bendheim, M., Al-Share, Q. Y., Waldum, H. L., ... Wisløff, U. (2009). Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity. *Cardiovascular Research*, 81(4), 723–732. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvn332>
 - 15) Nunes, R., Silva, J., Machado, A., Menezes, L., Bocalini, D., Seixas, I., ... Vale, R. (2019). Prediction of vo 2 max in healthy non-athlete men based on ventilatory threshold *Predicción de vo 2 max en hombres sanos no atletas basado en umbral de ventilatorio*. 2041, 136–139.

- 16) Helgerud, J., Engen, L. C., Wisløff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1925–1931. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00019>
- 17) MYC, P., JJ, E., AS, D., & S, G. (2006). The use of aerobic exercise training in improving aerobic capacity in individuals with stroke: a meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, 20(2), 97–111 15p. <https://doi.org/10.1191/0269215506cr926oa>.The
- 18) Short, K. R., Vittone, J. L., Bigelow, M. L., Proctor, D. N., Rizza, R. A., Coenenschimke, J. M., & Nair, K. S. (2003). Impact of Aerobic Exercise Training on Age-Related Capacity. *Diabetes*, 52(9), 1888–1896. <https://doi.org/10.2337/diabetes.52.8.1888>
- 19) Helgerud, J. (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(2), 155–161. <https://doi.org/10.1007/BF00244029>
- 20) Pennefather, A., Gordon, D., Barnes, R., Schaitel, K., Gernigon, M., & Keiller, D. (2011). The incidence of plateau at 2max is affected by a bout of prior-priming exercise. In *Clinical Physiology and Functional Imaging* (Vol. 32, pp. 39–44). <https://doi.org/10.1111/j.1475-097x.2011.01052.x>
- 21) Edward T. Howley, David R. Bassett, Jr., Huge G. Welch. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Exercise science unit.
- 22) Cureton, K. J. (1981). Matching of male and female subjects using VO₂max. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 52(2), 264–268. <https://doi.org/10.1080/02701367.1981.10607865>
- 23) Bernard, O., Ouattara, S., Ed, F. R., Jimenez, C., Charpenet, A., Melin, B., & Bittel, J. (2015). Determination of the velocity associated with V̇O₂max. (February 2000)
- 24) Wilhite, D. P., Mickleborough, T. D., Laymon, A. S., & Chapman, R. F. (2013). Increases in V̇O₂max with “live high-train low” altitude training: Role of ventilatory acclimatization. *European Journal of Applied Physiology*, 113(2), 419–426. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2443-4>
- 25) Kayser, B. (2003). Exercise starts and ends in the brain. *European Journal of Applied Physiology*, 90(3–4), 411–419. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0902-7>

- 26) Næss, M. S., Hoff, J., Richardson, R. S., Albert, T. L., Wang, E., Pham, Q., & Helgerud, J. (2013). Exercise-training-induced changes in metabolic capacity with age: the role of central cardiovascular plasticity. *Age*, 36(2), 665–676. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9596-x>
- 27) Svedahl, K., & MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne de Physiologie Appliquee*, 28(2), 299–323. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12825337>
- 28) Lavie, C. J., Arena, R., Swift, D. L., Johannsen, N. M., Sui, X., Lee, D. C Blair, S. N. (2015). Exercise and the cardiovascular system: Clinical science and cardiovascular outcomes. *Circulation Research*, 117(2), 207–219. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.305205>
- 29) Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(5), 1527–1533. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527>
- 30) Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- 31) Albouaini, K., Egred, M., Alahmar, A., & Wright, D. J. (2007). Cardiopulmonary exercise testing and its application. *Postgraduate Medical Journal*, 83(985), 675–682. <https://doi.org/10.1136/hrt.2007.121558>
- 32) Astorino, T. A. (2009). Alterations in VO₂ max and the VO₂ plateau with manipulation of sampling interval. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 29(1), 60–67. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2008.00835>
- 33) Adrian W. Midgley, Lars R. McNaughton Remco Polman and David Marchant (2007). Criteria for Determination of Maximal Oxygen Uptake, A Brief Critique and Recommendations for Future Research. 37 (12): 1019-1028