



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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΞΙΑ»**

**ΚΟΣΣΕΝΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**  
**ΜΑΤΑΡΕΛΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**Επιβλέπουσα καθηγήτρια: κα. Μαρία Κοσκολού**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2020**

© Copyright

Κοσσενάκης Δημήτριος, Ματαρέλλης Κωνσταντίνος  
Σχολή Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού  
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Εθνικής Αντιστάσεως 41, 172 37, Δάφνη, Αθήνα

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πρώτα απ'όλα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την υπεύθυνη καθηγήτρια μας, την κ. Μαρία Κοσκολού για την πολύ καλή συνεργασία της όσον αφορά την πτυχειακή εργασία, καθώς από την πρώτη στιγμή μας καθοδήγησε και σε οποιαδήποτε απορία μας, μας έβρισκε λύση.

Στην συνέχεια θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το Πανεπιστήμιο, που μας παρείχε τον χώρο και τα μέσα, ώστε να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ, θα θέλαμε να πούμε στον κ. Παναγιώτη Μηλιώτη, διδακτορικό φοιτητή της ΣΕΦΑΑ, ο οποίος ήταν δίπλα μας και με τις γνώσεις και την εμπειρία του μας βοήθησε να φέρουμε εις πέρας τις μετρήσεις.

Ως Δημήτρης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου και τους φίλους μου, οι οποίοι όλο αυτό τον χρόνο μου παρείχαν μεγάλη ψυχολογική υποστήριξη. Επίσης θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συνάδελφο Κώστα Ματαρέλλη, που κατάφερε να με ανεχτεί, να τον ανεχτώ και εν τέλει να βγάλουμε μία αξιόλογη δουλειά ως ερευνητές.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους δοκιμαζόμενους που συμμετείχαν εθελοντικά στις μετρήσεις μας παρά τον βαρύ φόρτο εργασίας τους. Τους ευχόμαστε ό,τι καλύτερο.

## ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΞΙΑ

### Περίληψη

Μέγιστες προσπάθειες σύντομης διάρκειας εκτελούνται όχι μόνο σε αθλητικές αλλά και σε καθημερινές δραστηριότητες (παιδικά παιχνίδια, βιαστική απομάκρυνση από κάποιον κίνδυνο, εργασία, γρήγορη κίνηση λόγω των ταχύτατων ρυθμών του σύγχρονου τρόπου ζωής). Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας ήταν να αξιολογηθεί η επίδραση της οξείας έκθεσης σε ήπια υποξία στην αναερόβια απόδοση. Συμμετείχαν 4 δοκιμαζόμενοι άνδρες φοιτητές ΣΕΦΑΑ, ηλικίας 22-23 ετών, βάρους  $74,95 \pm 11,5$  κιλών, ύψους  $178 \pm 6$  εκ., με ποσοστό σωματικού λίπους  $12 \pm 3\%$  και μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου  $47,65 \pm 5$  ml/kg/min, οι οποίοι δεν έκαναν συστηματική προπόνηση. Εκτέλεσαν αναερόβια δοκιμασία Wingate (WT) διάρκειας τριάντα δευτερολέπτων (30'') στο κυκλοεργόμετρο σε 2 συνθήκες: εισπνέοντας υποξικό (Y: FIO<sub>2</sub> 16%) ή νορμοξικό (N: FIO<sub>2</sub> 20,9%) αέρα, σε διαφορετικές ημέρες ακολουθώντας τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά, χωρίς να γνωρίζουν σε ποια συνθήκη πραγματοποιούσαν την άσκηση κάθε φορά. Παράλληλα, ελέγχονταν κάποιες φυσιολογικές αποκρίσεις πριν και μετά τη δοκιμασία (κορεσμός αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο, καρδιακή συχνότητα, συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα). Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε *t*-test για εξαρτημένα δείγματα και ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το  $p < 0,05$ . Στις δύο συνθήκες διέφερε ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο κατά τη διάρκεια των 30'' του WT ( $H=95,0 \pm 0,7\%$  και  $N=97,9 \pm 0,4\%$ ,  $p=0,005$ ). Όμως, τόσο η παραγόμενη μέγιστη ισχύς ( $P_{max}$ ) όσο και η μέση ισχύς ( $P_{mean}$ ), καθώς και ο δείκτης κόπωσης, που καταγράφηκαν κατά την εκτέλεση των WT στις δύο συνθήκες, δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ( $P_{max}$ :  $Y=863,9 \pm 87,0$  Watt,  $N=961,2 \pm 112,5$  Watt,  $p=0,25$ ,  $P_{mean}$ :  $Y=681,8 \pm 96,3$  Watt,  $N=685,9 \pm 89,7$  Watt,  $p=0,62$ ). Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με αντίστοιχα της βιβλιογραφίας που δείχνουν ότι οι δείκτες απόδοσης στην αναερόβια δοκιμασία Wingate δεν επηρεάζονται από έκθεση σε ήπια υποξία. Έτσι, στην εργασία αυτή, με ένα μικρό δείγμα δοκιμαζομένων, επιβεβαιώθηκε ότι η απόδοση σε μέγιστες προσπάθειες σύντομης διάρκειας μπορεί να διατηρηθεί σε ήπια υποξία FIO<sub>2</sub> 16%, που αντιστοιχεί σε υψόμετρο ~2100 μ.

Λέξεις κλειδιά: Αναερόβια ισχύς, αναερόβια ικανότητα, ήπια υποξία, Wingate Test

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες.....	iii
Περίληψη.....	iv
Πίνακας Περιεχομένων.....	v
Κατάλογος Σχημάτων.....	vii
Κατάλογος Συμβόλων και Συντομογραφιών.....	viii
<b>I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>σελ.1</b>
1.1. Γενικά.....	σελ.1
1.2. Σκοπός.....	σελ.3
1.3. Σημασία.....	σελ.3
1.4. Ορισμός και διατύπωση του προβλήματος.....	σελ.4
1.5. Υποθέσεις.....	σελ.4
1.6. Περιορισμοί.....	σελ.4
<b>II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>σελ.6</b>
2.1. Αναερόβια Ικανότητα.....	σελ.6
2.1.1 Όρια αναερόβιας απόδοσης.....	σελ.6
2.1.2 Υπολογισμός αναερόβιας ισχύος και ικανότητας.....	σελ.7
2.1.3 Αναερόβια απόδοση και μυϊκές ίνες.....	σελ.11
2.1.4 Αναερόβια απόδοση: ηλικία και φύλο.....	σελ.12
2.1.5 Κληρονομησιμότητα αναερόβιας ικανότητας.....	σελ.12
2.1.6 Γαλακτικό στο αίμα.....	σελ.12

2.2. Υποξία.....	σελ.13
2.2.1 Μείωση VO <sub>2</sub> max στην υποξία.....	σελ.13
2.2.2 Αναερόβια άσκηση σε υποξικό περιβάλλον .....	σελ.13
2.2.3 Bosco test και υποξία.....	σελ.14
2.2.4 Wingate Test και υποξία.....	σελ.15
<b>III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>σελ.17</b>
3.1. Δείγμα.....	σελ.17
3.2. Περιγραφή Διαδικασίας.....	σελ.17
3.3. Περιγραφή Αναερόβιας Δοκιμασίας Wingate .....	σελ.18
3.4. Στατιστική ανάλυση .....	σελ.19
<b>IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>σελ.20</b>
4.1.Αποτελέσματα πριν την έναρξη της δοκιμασίας .....	σελ.20
4.2.Αποτελέσματα κατά την διάρκεια της δοκιμασίας .....	σελ.20
4.3.Αποτελέσματα μετά το πέρας της δοκιμασίας.....	σελ.24
<b>V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>σελ.25</b>
<b>VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>σελ.27</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα 4.2.1.** Μέση καρδιακή συχνότητα κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate και στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.2.** Μέγιστη καρδιακή συχνότητα κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate και στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.3.** Μέση παραγόμενη ισχύς κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate και στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.4.** Μέση παραγόμενη ισχύς ανά κιλό σωματικού βάρους κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.5.** Μέγιστη παραγόμενη ισχύς κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.6.** Μέγιστη παραγόμενη ισχύς ανά κιλό σωματικού βάρους κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.7.** Δείκτης κόπωσης στη δοκιμασία Wingate στις 2 συνθήκες

**Σχήμα 4.2.8.** Κορεσμός αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (%) κατά την διάρκεια της δοκιμασίας

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

**ATP:** Τριφωσφορική αδενοσίνη

**ADP:** Διφωσφορική αδενοσίνη

**Bla:** Γαλακτικό οξύ στο αίμα

**FIO<sub>2</sub>:** Ποσοστό εισπνεόμενου οξυγόνου (%)

**HR:** Καρδιακή συχνότητα

**Y:** Υποξία

**N:** Νορμοξία

**PC:** Φωσφοκρεατίνη

**Pi:** Ανόργανο φωσφορικό

**P<sub>max</sub>:** Μέγιστη παραγόμενη ισχύς

**P<sub>mean</sub>:** Μέση παραγόμενη ισχύς

**SaO<sub>2</sub>:** Κορεσμός αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο

**VO<sub>2max</sub>:** Ο ανώτατος όγκος οξυγόνου που καταναλώνουν τα κύτταρα στην μονάδα του χρόνου

**WT:** Η αναερόβια δοκιμασία Wingate



## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Κατά τη διάρκεια σύντομων υπερμέγιστων προσπαθειών ο ανθρώπινος οργανισμός αντλεί ενέργεια από συστήματα που δεν απαιτούν κατανάλωση οξυγόνου και για το λόγο αυτό ονομάζονται αναερόβια. Πιο συγκεκριμένα, αυτά είναι το φωσφορογόνο και το γλυκολυτικό. Το πρώτο ενεργοποιείται σε μυϊκές προσπάθειες μέγιστης ισχύος που διαρκούν λίγα μόνο δευτερόλεπτα και αυτό συμβαίνει κυρίως σε εκρηκτικές εκκινήσεις που πραγματοποιούνται είτε σε καθημερινές (π.χ. αποφυγή κινδύνου) είτε σε αθλητικές δραστηριότητες (π.χ. στη φάση της επιτάχυνσης σε δρόμους ταχύτητας, σε ρίψεις, άλματα, άρση βαρών, ενόργανη γυμναστική κ.ά). Σε όλες αυτές τις προσπάθειες είναι απαραίτητη η άμεση χορήγηση ενέργειας, που εξασφαλίζεται από απλές και σύντομες μονοενζυματικές αντιδράσεις διάσπασης της φωσφοκρεατίνης και της τριφωσφορικής αδενοσίνης. Το γλυκολυτικό σύστημα παραγωγής ενέργειας επικρατεί κυρίως σε προσπάθειες που διαρκούν από μερικά δευτερόλεπτα έως ένα λεπτό. Στις προσπάθειες αυτές συμπεριλαμβάνονται καθημερινές ή αγωνιστικές δραστηριότητες, όπως βιαστική απομάκρυνση, τρέξιμο ταχύτητας, κολύμβηση μέχρι 50μ, πάλη, πυγμαχία, διάφορες φάσεις στις αθλοπαιδιές κ.ά. Σ' αυτή την περίπτωση η απαιτούμενη ενέργεια εξασφαλίζεται από πολυενζυματικές αντιδράσεις της αναερόβιας γλυκόλυσης όπου αποδομείται γλυκογόνο και παράγεται γαλακτικό οξύ χωρίς την παρουσία οξυγόνου.

Είναι γνωστό πως η μερική πίεση ενός αερίου σ' ένα μίγμα αερίων εξαρτάται από την εκατοστιαία του αναλογία στο μίγμα αυτό και από την ατμοσφαιρική πίεση. Η εκατοστιαία αναλογία του οξυγόνου ( $FIO_2$ ) είναι σταθερή (20,93%) ανεξάρτητα από το υψόμετρο. Έτσι, στην επιφάνεια της θάλασσας η μερική πίεση ( $PO_2$ ) είναι:

$$PO_2 = (20,93 \div 100) \times 760 \text{ mmHg} = 159,1 \text{ mmHg}$$

Ενώ η αέρια σύνθεση της ατμόσφαιρας ( $N_2 = 79,04\%$ ,  $O_2 = 20,93\%$ ,  $CO_2 = 0,03\%$ ) και η σχέση της μερικής πίεσης των αερίων είναι σταθερή, οι απόλυτες τιμές τους λιγοστεύουν με την αύξηση του υψομέτρου, γιατί σημειώνεται παράλληλα μία λογαριθμική ελάττωση της βαρομετρικής πίεσης. Έτσι, η απόλυτη μερική πίεση του

οξυγόνου μειώνεται από 159,1 mmHg, που είναι στην επιφάνεια της θάλασσας, στα 84,8 mmHg στο μισό δηλαδή σε υψόμετρο 5.000 μέτρων, όπου η βαρομετρική πίεση είναι 405 mmHg  $[(20,93 \div 100) \times 405]$ .

Η ελάττωση της μερικής πίεσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου οδηγεί σε ανάλογη πτώση της μερικής πίεσης του οξυγόνου στις κυψελίδες και του κορεσμού του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο. Για παράδειγμα, ο κορεσμός του αίματος σε οξυγόνο σε υψόμετρο 5.000 μέτρων μειώνεται στα 80% περίπου, από μία μέση τιμή 98% που παρατηρείται στην επιφάνεια της θάλασσας (Κλεισούρας 2011).

Χαρακτηρίζουμε το βαθμό υποξίας ανάλογα με το υψόμετρο, όπως το κατηγοριοποίησαν οι Bärtch & Saltin (2008), και την αντίστοιχη αναλογία σε λειτουργικό ποσοστό οξυγόνου ως εξής:

Ήπια: 500-2000 μ. υψόμετρο	FIO <sub>2</sub> : 19,6-16,3%
Μέτρια: 2000-3000 μ. υψόμετρο	FIO <sub>2</sub> : 16,3-14,4%
Υψηλή: 3000-5500 μ. υψόμετρο	FIO <sub>2</sub> : 14,4-10,5%
Πολύ υψηλή: >5500 μ. υψόμετρο	FIO <sub>2</sub> : <10,5%

Οι φυσιολογικές αποκρίσεις των αθλητών στην υποξία έχουν μελετηθεί εκτενώς, αλλά δεν υπάρχουν οριστικά συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο η υποξία ενδεχομένως βελτιώνει την αερόβια ή αναερόβια ικανότητα (Levine 2002). Εφ' όσον η άσκηση σε υποξία έχει συσχετιστεί με μειωμένη πρόσληψη οξυγόνου (VO<sub>2</sub>max) και ροή στους σκελετικούς μύες, δεχόμαστε ότι σε δραστηριότητες που έχουν μηδαμινή αερόβια συνιστώσα, όπως αναερόβιες προσπάθειες, η μέγιστη μυϊκή ισχύς (π.χ. Wingate test, Bosco test) και η μυϊκή δύναμη επηρεάζονται ελάχιστα από την υποξία (Calbet et al 2003, McLellan et al 1990). Γενικά, η υποξία μειώνει την ικανότητα μεταφοράς και πρόσληψης οξυγόνου (1-2% μείωση της VO<sub>2</sub>max για κάθε 1% πτώσης του κορεσμού οξυγόνου κάτω από 95%) οδηγώντας σε ελαττωμένη αερόβια ικανότητα. Από την άποψη αυτή οι Calbet και συνεργάτες έχουν αναφέρει μία μείωση 7-16% στην απόδοση αερόβιας ισχύος κατά τη διάρκεια μέγιστων προσπαθειών στην υποξία. Ωστόσο, λίγες αναφορές έχουν υποδείξει μείωση στην απόδοση μέγιστης ισχύος κατά τη διάρκεια αναερόβιας άσκησης υπό συνθήκες υποξίας FIO<sub>2</sub> 12% (Bowtell et al 2014). Μερικές μελέτες έχουν δείξει

σημαντικά μεγαλύτερη αναερόβια απόδοση μετά από σύντομα προπονητικά προγράμματα (π.χ. 12 προπονήσεις σε 4 εβδομάδες) σε συνθήκες υποξίας σε σύγκριση με αντίστοιχη προπόνηση στο επίπεδο της θάλασσας (Herms 2014, Galvin et al 2013).

## **1.2 Σκοπός**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση διαφορών σε ορισμένες φυσιολογικές παραμέτρους και στην απόδοση κατά τη μέγιστη αναερόβια προσπάθεια (δοκιμασία Wingate 30 δευτερολέπτων) σε συνθήκες νορμοξίας σε σύγκριση με συνθήκες μερικής έλλειψης οξυγόνου (FIO<sub>2</sub> 16%, που αντιστοιχεί σε μέτριο υψόμετρο ~2100μ.).

## **1.3 Σημασία**

Μέγιστες προσπάθειες σύντομης διάρκειας συντελούνται από όλους τους ανθρώπους και στο μεγαλύτερο κομμάτι της ζωής τους. Από το παιχνίδι των παιδιών, τη βιαστική απομάκρυνση από κάποιον κίνδυνο, τη γρήγορη κίνηση λόγω των ταχύτατων ρυθμών του σύγχρονου τρόπου ζωής, μέχρι και την αθλητική δραστηριότητα, τέτοιες ενέργειες είναι συχνά εμφανιζόμενες και από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης της αθλητικής επιστήμης και της βιολογίας της άσκησης. Επίσης συχνά συναντάται η έντονη φυσική δραστηριότητα και η άσκηση σε υποξικό περιβάλλον που αφορούν επίσης αρκετούς ανθρώπους και σε διαφορετικά επίπεδα τον καθένα. Η άσκηση σε υποξία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επαγγελματίες αθλητές προκειμένου να εκμεταλλευτούν τα οφέλη των φυσιολογικών προσαρμογών υπό αυτές τις συνθήκες και να βελτιώσουν την αγωνιστική τους απόδοση. Ωστόσο, μπορεί να επηρεάζει ακόμη και ερασιτέχνες αθλητές ή απλούς ασκούμενους που επέλεξαν μία τοποθεσία σε υψόμετρο για να πραγματοποιήσουν την προπόνησή τους ή απλά για να συμμετέχουν σε φυσικές δραστηριότητες για λόγους αναψυχής. Επιπλέον, έχει εφαρμογή όταν εκτελείται για βιοποριστικούς λόγους, δηλαδή από μόνιμους κατοίκους τέτοιων περιοχών όπου η

έλλειψη οξυγόνου είναι δεδομένη. Η σημασία της συγκεκριμένης μελέτης, λοιπόν, έγκειται στον εντοπισμό διαφορών στη φυσιολογική λειτουργία και απόδοση κατά τη διάρκεια μέγιστης αναερόβιας προσπάθειας σε συνθήκες ήπιας υποξίας σε σχέση με συνθήκες νορμοξίας, ώστε να διερευνηθεί το κατά πόσο είναι εύκολη και ασφαλής η ίδια η φυσική δραστηριότητα αλλά και η πρακτική εφαρμογή προπονητικών προγραμμάτων σε μέτριο υψόμετρο, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες των διάφορων κοινωνικών ομάδων που προαναφέρθηκαν.

#### **1.4 Ορισμός και διατύπωση προβλήματος**

Η μείωση οξυγόνου επηρεάζει τη λειτουργία του οργανισμού με συγκεκριμένο τρόπο. Στην εργασία αυτή στοχεύουμε να μελετήσουμε εάν και κατά πόσο η έκθεση σε ήπια υποξία (FIO<sub>2</sub> 16%) επηρεάζει την αναερόβια απόδοση, αλλά και παραμέτρους όπως τον καρδιακό παλμό, τον κορεσμό της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο και τη συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα. Έχοντας ως ανεξάρτητη μεταβλητή το ποσοστό οξυγόνου στον εισπνεόμενο αέρα και ως εξαρτημένες μεταβλητές την αναερόβια απόδοση και τις φυσιολογικές αποκρίσεις στην αναερόβια προσπάθεια, στοχεύουμε να παρατηρήσουμε τις πιθανές διαφορές ανάμεσα στις συνθήκες, νορμοξίας και ήπιας υποξίας.

#### **1.5 Υποθέσεις**

Η παρούσα μελέτη στοχεύει να μελετήσει αν και κατά πόσο η συνθήκη ήπιας υποξίας μεταβάλλει την ικανότητα παραγωγής ισχύος κατά τη διάρκεια μίας αναερόβιας προσπάθειας σε σχέση με την νορμοξία. Υποθέτουμε ότι η αναερόβια ικανότητα και ισχύς θα μπορέσει να διατηρηθεί με FIO<sub>2</sub> 16%.

#### **1.6 Περιορισμοί**

Στη μελέτη επιλέχθηκε δείγμα ευκολίας το οποίο αποτελείται από άνδρες νεαρής ηλικίας ελεύθερα ασκούμενους (χωρίς συστηματική προπόνηση). Θα χρειαζόταν

μεγαλύτερος αριθμός δοκιμαζομένων προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Επιπλέον, υπάρχει περιορισμός στη γενίκευση των συμπερασμάτων όσον αφορά παραμέτρους φύλου και ηλικίας. Δεν γνωρίζουμε δηλαδή εάν τα αποτελέσματα θα ήταν αντίστοιχα σε άνδρες μεγαλύτερης ηλικίας, γυναίκες ή παιδιά.

## II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1 Αναερόβια ικανότητα

#### 2.1.1 Όρια αναερόβιας απόδοσης

Η μυϊκή ενέργεια αντλείται από την υδρόλυση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) σε διφωσφορική αδενοσίνη (ADP) και ανόργανο φώσφορο (Pi). Το ATP είναι το παγκόσμιο νόμισμα ελεύθερης ενέργειας και αναγεννάται συνεχώς στα μυϊκά κύτταρα και από τα τρία ενεργειακά συστήματα, το φωσφορογόνο, το γλυκολυτικό και το οξειδωτικό, με διαφορετικό ποσοστό συμμετοχής του καθενός από αυτά ανάλογα με την ένταση της προσπάθειας.

Συγκεκριμένα, με την έναρξη μέγιστης προσπάθειας η πρώτη πηγή φωσφορυλίωσης της τριφωσφορικής αδενοσίνης είναι η φωσφοκρεατίνη (PC), με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή της στα μυϊκά κύτταρα να πέφτει κάτω από το μισό στα πρώτα 10 δευτερόλεπτα σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του ανόργανου φωσφόρου (Pi) που με τη σειρά του ενεργοποιεί το ένζυμο της φωσφοφρουκτοκινάσης που σηματοδοτεί την αύξηση της συμμετοχής του γλυκολυτικού συστήματος. Το τελευταίο έχει μεγαλύτερα αποθέματα και συνεχίζει την φωσφορυλίωση της ADP καθώς τα αποθέματα της PC έχουν σχεδόν εξαντληθεί. Σε μία μέγιστη μυϊκή προσπάθεια, όπως αυτή σε ένα κυκλοεργόμετρο για 90 δευτερόλεπτα συμμετέχουν και τα τρία ενεργειακά συστήματα. Παρατηρείται ότι η μέγιστη μηχανική ισχύς κορυφώνεται στα πρώτα 5-10 δευτερόλεπτα και έπειτα μειώνεται προοδευτικά. Το γεγονός αυτό στα πρώτα στάδια έχει να κάνει με τη μείωση των αποθεμάτων φωσφοκρεατίνης στα μυϊκά κύτταρα (Nevill et al 1996, McMahon et al 2002), ενώ στα επόμενα με την ενδοκυτταρική οξέωση (Sahlin et al 1983, McCann et al 1995).

Όσον αφορά στην αλληλεπίδραση των ενεργειακών συστημάτων είχαν αρχικά δημιουργηθεί δύο εσφαλμένες αντιλήψεις στις επιστήμες της άθλησης και της προπονητικής. Η πρώτη είναι ότι τα συστήματα αυτά ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της έντονης άσκησης με ακολουθία και η δεύτερη ότι ο αερόβιος μηχανισμός αποκρίνεται αργά στις απαιτήσεις αυτές, παίζοντας επομένως μικρό

ρόλο στον καθορισμό της απόδοσης σε προσπάθειες μικρής διάρκειας. Πιστευόταν ότι βραχύβιες υπερμέγιστες προσπάθειες αντλούν ενέργεια αποκλειστικά από τη διάσπαση της φωσφοκρεατίνης. Κι αυτό γιατί η φωσφοκρεατίνη αποθηκεύεται στο κυτοσόλιο και είναι άμεσα διαθέσιμη για την επανασύνθεση του ATP χωρίς να απαιτούνται πολλές μεταβολικές αντιδράσεις. Από νεότερα ερευνητικά δεδομένα όμως προέκυψε ότι κάθε σύστημα παραγωγής ενέργειας συμβάλλει στην παραγόμενη ενέργεια σχεδόν σε όλες τις δραστηριότητες άσκησης. Η διάρκεια της μέγιστης άσκησης κατά την οποία έχουν ίση συνεισφορά ο αναερόβιος και ο αερόβιος μηχανισμός φαίνεται να είναι στα 1-2 λεπτά και πιθανότατα κοντά στα 75 δευτερόλεπτα (Gastin 2001).

Η τεχνολογία όμως παρέχει νέους τρόπους για τη μελέτη των μεταβολικών διεργασιών. Οι μέθοδοι αυτές είναι η μυϊκή βιοψία και η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού. Η μυϊκή βιοψία συνίσταται στη λήψη ενός δείγματος μυός πριν και μετά τη μυϊκή προσπάθεια και στη συνέχεια τη βιοχημική του ανάλυση για τη μέτρηση της συγκέντρωσης δεσμών υψηλής ενέργειας. Η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού ( $^{31}\text{P}$ -NMR) είναι μέθοδος που εκμεταλλεύεται τις μαγνητικές ιδιότητες του πυρήνα του φωσφόρου και έτσι, με ορισμένες ραδιοσυχνότητες σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, μπορεί να εντοπιστεί η σχετική συγκέντρωση ATP και φωσφοκρεατίνης χωρίς την καταστροφή κάποιου ιστού (Mc Cully et al 1988, Kent-Braun et al 1995, McCann et al 1995). Έρευνες που αξιοποίησαν τις μεθόδους αυτές έδειξαν ότι είτε κατά την ισομετρική συστολή είτε σε υπερμέγιστη βραχύβια προσπάθεια σε κυκλοεργόμετρο η συμβολή της φωσφοκρεατίνης είναι η μεγαλύτερη κατά την έναρξη της προσπάθειας και ακολουθεί φθίνουσα πορεία, ενώ μετά τα 6 δευτερόλεπτα και μέχρι το τέλος της προσπάθειας (60 δευτερόλεπτα) κυριαρχεί η αναερόβια γλυκόλυση ως μηχανισμός επανασύνθεσης του ATP. Επίσης ο αερόβιος μηχανισμός δραστηριοποιείται και σε μέγιστες προσπάθειες που διαρκούν περισσότερο από 10 δευτερόλεπτα.

### **2.1.2 Υπολογισμός αναερόβιας ισχύος και ικανότητας**

Για να καταλάβουμε καλύτερα τα αναερόβια όρια της μυϊκής απόδοσης πρέπει να γίνει διάκριση της αναερόβιας ικανότητας και της αναερόβιας ισχύος. Η αναερόβια

ικανότητα περιλαμβάνει τη συνολική ενέργεια που μπορούν να παράγουν τα μυϊκά κύτταρα ενός ατόμου χωρίς οξυγόνο, μέσω του αναερόβιου μεταβολισμού. Η αναερόβια ισχύς υποδηλώνει την ταχύτητα με την οποία παρέχεται η ενέργεια αυτή, δηλαδή τη μέγιστη αναερόβια ενέργεια κατά την υπερμέγιστη προσπάθεια στη μονάδα του χρόνου. Αν και οι δύο όροι χρησιμοποιούνται εναλλακτικά και συγχέονται, πρέπει να γίνει σαφής διάκριση καθώς πρόκειται για διαφορετικές έννοιες με διαφορετικούς μηχανισμούς που ανάλογα με το μέγεθός τους επηρεάζουν και καθορίζουν την απόδοση του ασκούμενου.

Μία άλλη διάκριση που πρέπει να γίνει είναι ανάμεσα στην γαλακτική και αγαλακτική συνιστώσα του αναερόβιου μεταβολισμού. Ο αγαλακτικός μηχανισμός απελευθερώνει ενέργεια μέσω της διάσπασης δεσμών υψηλής ενέργειας χωρίς κατανάλωση οξυγόνου ή παραγωγή γαλακτικού οξέος. Είναι επίσης γνωστός ως φωσφορογόνο σύστημα. Ο γαλακτικός μηχανισμός αποδομεί γλυκογόνο επίσης χωρίς να καταναλώνεται οξυγόνο, όμως, παράγεται γαλακτικό οξύ σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται και γλυκολυτικό σύστημα.

Συγκεκριμένα η αγαλακτική ισχύς είναι διπλάσια από τη γαλακτική, ενώ η αγαλακτική ικανότητα είναι κατά 30% μικρότερη από τη γαλακτική (di Prampero & Ferretti 1999). Στη βιβλιογραφία υπάρχει συμφωνία ως προς τις αναλογίες αυτές, όχι όμως ως προς τις απόλυτες τιμές. Η διάσταση στις απόψεις, όσον αφορά στο πραγματικό μέγεθος της αναερόβιας ικανότητας έχει να κάνει με τις διαφορετικές μεθόδους προσέγγισής της και τις δυσκολίες αυτών. Οι προσεγγίσεις είναι τρεις: η πρώτη είναι η μέτρηση των μεταβολιτών στους μυς και αποτελεί άμεση μέθοδο, ενώ οι άλλες δύο είναι η μέτρηση ελλείμματος οξυγόνου και η εργομετρική απόδοση που αποτελούν έμμεσες μεθόδους.

Μεταβολίτες στους μυς:

Μέσω της μυϊκής βιοψίας μπορούμε να προσδιορίσουμε την περιεκτικότητα των μυών σε μεταβολίτες όπως το ATP, η PC και το γαλακτικό οξύ. Λαμβάνοντας δείγμα από πρωταγωνιστή μυ πριν και μετά την άσκηση παρατηρούμε τις μεταβολές στις συγκεντρώσεις των ουσιών αυτών και άρα μπορούμε να υπολογίσουμε τη συμβολή τους στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Προαπαιτούμενες για την



ακρίβεια του υπολογισμού αυτού είναι οι υποθέσεις ότι η μυϊκή μάζα που επιστρατεύεται αντιπροσωπεύει το 25% της συνολικής και ότι οι μεταβολικές αποκρίσεις του συγκεκριμένου μύος-δείγματος είναι αντιπροσωπευτικές όλων των υπόλοιπων που συνεργούν στην άσκηση. Επιπλέον, στην μυϊκή βιοψία υπολογίζεται η ενέργεια του γαλακτικού στον μυ αλλά όχι αυτή που διαχέεται από τους συνεργούς μύς στο αίμα. Έτσι, υποεκτιμάται η αναερόβια παραγωγή ενέργειας, το μέγεθος της υποεκτίμησης εξαρτάται από τον όγκο αίματος και εξωκυττάριου υγρού και μπορεί να είναι 5-38% (Medbo et al., 1998). Για να έχει, λοιπόν, η παραπάνω μέθοδος τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια πρέπει να ακολουθηθούν πρωτόκολλα που απομονώνουν μυϊκές ομάδες και ελέγχουν τη ροή του αίματος σε αυτές.

Έλλειμμα οξυγόνου:

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη διαφορά ανάμεσα σε προσλαμβανόμενο και απαιτούμενο οξυγόνο κατά την άσκηση. Κατά την υπομέγιστη ένταση η πρόσληψη οξυγόνου σταθεροποιείται μέσα σε λίγα λεπτά και αντανακλά τη συνολική απελευθέρωση ενέργειας. Σε εντάσεις μεγαλύτερες της  $\dot{V}O_{2max}$ , όμως, το απαιτούμενο οξυγόνο είναι μεγαλύτερο από το προσλαμβανόμενο. Το έλλειμμα αυτό στις υπερμέγιστες προσπάθειες αντανακλά τη συμβολή του αναερόβιου μηχανισμού και είναι δείκτης της αναερόβιας ικανότητας. Υπάρχουν αρκετοί υποστηρικτές της μεθόδου αυτής όπως οι Medbo και συνεργάτες (1998), που έδειξαν ότι απαιτείται υπερμέγιστη εξαντλητική προσπάθεια 2 λεπτών για την πλήρη αξιοποίηση των αναερόβιων πηγών και ότι η γαλακτική παραγωγή προμηθεύει 3 φορές περισσότερη ενέργεια από την αγαλακτική. Επίσης έδειξαν υψηλή συσχέτιση ( $r=0,94$ ) ανάμεσα στη μέθοδο μέτρησης της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας μέσω μυοβιοψίας και μέσω του ελλείμματος οξυγόνου. Άλλοι ερευνητές, ωστόσο, αμφισβήτησαν τη σχέση αυτή. Ειδικότερα ο Bangsbo (1993) μελετώντας δεδομένα κατέληξε ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ συσσωρευμένου ελλείμματος οξυγόνου και αναερόβιας ενέργειας, όπως υπολογίζεται με τη μυϊκή βιοψία. Επιπλέον, αναίρεσε ότι η ενεργειακή απαίτηση αυξάνεται γραμμικά και ακόμη ισχυρίστηκε ότι η ενεργειακή απαίτηση σε υπερμέγιστες προσπάθειες είναι ελαφρώς υψηλότερη από την προέκταση των τιμών των υπομέγιστων προσπαθειών.

Τέλος, δεν λαμβάνεται υπόψιν η αναερόβια συμμετοχή κατά την υπομέγιστη προσπάθεια. Έτσι, φαίνεται ότι υπάρχει μία επιστημονική αντιπαράθεση όσον αφορά την αξιοπιστία της μεθόδου αυτής.

Εργομετρική απόδοση:

Η μέτρηση του μηχανικού έργου και ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται μέσα από μέγιστες δοκιμασίες όπου υπερिशύει ο αναερόβιος μεταβολισμός φαίνεται να είναι μια αξιόπιστη και πρακτική προσέγγιση για την αξιολόγηση της αναερόβιας ισχύος και ικανότητας. Για το λόγο αυτό είναι και η επικρατέστερη. Υπάρχουν αρκετές τέτοιες δοκιμασίες (Vandewalle et al 1987, Bouchard et al 1991). Οι τρεις πιο διαδεδομένες είναι η δοκιμασία Margarita, η δοκιμασία Bosco και η δοκιμασία Wingate. Η πρώτη μετρά την αναερόβια ισχύ και η δεύτερη την αναερόβια ικανότητα, ενώ η τελευταία μετρά και τις δύο παραμέτρους. Επομένως, για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας θα γίνει αναφορά κύρια στη δοκιμασία Wingate. Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν τη δοκιμασία απαιτείται μια υπερμέγιστη εξαντλητική προσπάθεια σε κυκλοεργόμετρο διάρκειας 30sec, όπου ο δοκιμαζόμενος πρέπει να υπερνικήσει μια προκαθορισμένη αντίσταση ίση του 7,5% του σωματικού του βάρους. Το παραγόμενο μηχανικό έργο στα πρώτα 5sec αντανακλά την αναερόβια ισχύ, ενώ η μέση μηχανική ισχύς στο σύνολο των 30sec αντικατοπτρίζει την αναερόβια ικανότητα. Επιπλέον, μετρώντας το ρυθμό πτώσης της ισχύος υπολογίζεται ο δείκτης αναερόβιας κόπωσης. Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα στη δοκιμασία Wingate και στην αγωνιστική απόδοση σε αγώνες ταχύτητας δρόμου, κολύμβησης και ποδηλασίας κυμαίνεται από 0,66 έως 0,92 (Tharp et al 1984, Inbar et al 1996). Αξιόπιστη είναι επίσης και η κορύφωση της συγκέντρωσης γαλακτικού ( $r=0,93$ ) και η κορύφωση της καρδιακής συχνότητας ( $r=0,94$ ) κατά την επαναλαμβανόμενη εκτέλεση της δοκιμασίας (Weinstein et al 1998). Η εγκυρότητα του Wingate test ενισχύεται και από ιστοχημικά ευρήματα τα οποία συσχετίζουν την κατανομή μυϊκών ινών ταχείας συστολής με την αναερόβια απόδοση (Kaczowski et al 1982). Ακόμα, έγιναν έρευνες με μετρήσεις ελλείμματος οξυγόνου σε αντίστοιχα πρωτόκολλα μέγιστης προσπάθειας που έδειξαν ότι ο αναερόβιος μεταβολισμός συμμετέχει στην παραγωγή ενέργειας κατά 72-84% (23-28%

φωσφοκρεατίνη, 49-53% γλυκόλυση) και ο αερόβιος μεταβολισμός κατά 16-18% (Serresse et al 1988, Kavanagh et al 1988, Smith et al 1991). Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με αυτά των μετρήσεων συγκέντρωσης μεταβολιτών (Bangsbo et al 1990). Ακόμα υπάρχουν αρκετοί ερευνητές που θεωρούν ότι χρειάζονται 60-120sec προκειμένου να εξαντληθούν οι αναερόβιες πηγές (Jacobs et al 1982, Medbo et al 1989, Withers et al 1991, 1993, Gastin et al 1995), αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το ότι η συμβολή του αναερόβιου μεταβολισμού στη δοκιμασία είναι διαφορετική ανάμεσα σε αθλητές ταχύτητας και αθλητές αντοχής. Επίσης, σύμφωνα με δεδομένα από τους Gaitanos et al 1993 και Bogdanis et al 1995, κατά τα πρώτα 5sec το απαιτούμενο ATP απελευθερώνεται από τον αγαλακτικό μηχανισμό, ενώ στα 30sec το 23% εκλύεται από τον αγαλακτικό, το 48% από τον γαλακτικό και το 29% από τον αερόβιο μεταβολισμό. Οι αναλογίες αυτές επαληθεύτηκαν και από έρευνες όπου η παραγόμενη ενέργεια του αναερόβιου αγαλακτικού μεταβολισμού υπολογίστηκε από την ταχεία συνιστώσα της περίσσειας οξυγόνου κατά την αποκατάσταση, ενώ η ενέργεια από τον αναερόβιο γαλακτικό μεταβολισμό, από τη συσσώρευση του γαλακτικού και το ενεργειακό του ισοδύναμο (DiPrampiero & Ferretti 1999, Beneke et al 2002).

### **2.1.3 Αναερόβια απόδοση και μυϊκές ίνες**

Η αναερόβια απόδοση σχετίζεται και έχει άμεση σχέση με τις λειτουργικές και μορφολογικές διαφοροποιήσεις των μυϊκών ινών. Κατά τη διάρκεια βραχύβιων υπερμέγιστων προσπαθειών οι ίνες ταχείας συστολής αποδομούν φωσφοκρεατίνη και γλυκογόνο με γοργότερο ρυθμό και έτσι συμπεραίνουμε πως ενεργοποιούνται και συμβάλλουν περισσότερο στις προσπάθειες αυτές σε σχέση με τις ίνες βραδείας συστολής (Maughan et al 1997). Επομένως, το ποσοστό ινών ταχείας συστολής συσχετίζεται τόσο με την αναερόβια ισχύ ( $r=0,84$ ) όσο και με την αναερόβια ικανότητα ( $r=0,83$ ) όπως έχει φανεί σε αθλητές αθλημάτων ισχύος (Komi et al 1979, Bar-or et al 1980, Kaczkowski et al 1982, Bosco et al 1983, Bouchard et al 1991). Αντίθετα, σε αθλητές αντοχής κυριαρχούν μυϊκές ίνες βραδείας συστολής (Weltman 1995).

#### **2.1.4. Αναερόβια απόδοση: ηλικία και φύλο**

Η ηλικία και το φύλο αποτελούν ακόμα δύο παράγοντες που επηρεάζουν τον αναερόβιο μεταβολισμό. Συγκεκριμένα, η αναερόβια γαλακτική απόδοση είναι υψηλότερη στις ηλικίες 20-40 ετών και ακολουθεί φθίνουσα πορεία με ρυθμό 6% ανά δεκαετία (Makrides et al 1985). Οι γυναίκες παρουσιάζουν μικρότερη αναερόβια απόδοση σε σχέση με τους άντρες λόγω μειωμένης παραγωγής γαλακτικού που οφείλεται πιθανότατα στη μικρότερη μυϊκή μάζα (Wells 1991, Kohrt et al 1993). Τα παιδιά παράγουν επίσης λιγότερη αναερόβια ενέργεια που όμως οφείλεται σε μια σειρά βιοχημικών και νευρομυϊκών λειτουργιών. Αυτές είναι η χαμηλότερη δραστηριότητα των αναερόβιων ενζύμων (φωσφοφρουκτοκινάση), χαμηλότερα αποθέματα φωσφοκρεατίνης και γλυκογόνου, μειωμένη ικανότητα επιστράτευσης κινητικών μονάδων και χαμηλότερα επίπεδα τεστοστερόνης. Υπάρχει μία υπόθεση σύμφωνα με την οποία δεν είναι η παραγωγή γαλακτικού μειωμένη στα παιδιά, αλλά η απομάκρυνσή του αυξημένη, λόγω χαμηλότερης συμπαθητικής διέγερσης κατά την μέγιστη μυϊκή προσπάθεια (Macek et al 1980, Rowland 1990, Hebestreit et al 1993).

#### **2.1.5. Κληρονομησιμότητα αναερόβιας ικανότητας**

Ο δείκτης κληρονομησιμότητας ( $h^2$ ), ο οποίος υποδηλώνει τη σημαντικότητα του γενετικού παράγοντα στις ατομικές διαφορές, υπολογίστηκε με το μοντέλο των διδύμων, όπου συγκρίνονται οι ενδοζευγικές διαφορές ανάμεσα σε μονοζυγωτικά και διζυγωτικά δίδυμα αδέρφια. Ο δείκτης βρέθηκε υψηλός για αρκετές παραμέτρους της αναερόβιας απόδοσης, όπως η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα (συσχέτιση 0,93 σε μονοζυγωτικά αδέρφια και 0,76 σε διζυγωτικά,  $h^2$  81,4%) και η αναερόβια ισχύς με  $h^2$  99,2% (Klissouras 1971, Komí et al 1973). Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι γενετικές διαφορές παίζουν καθοριστικό ρόλο στις ατομικές διαφορές που παρατηρούνται στην απόδοση του αναερόβιου μεταβολισμού.

#### **2.1.6. Γαλακτικό στο αίμα**

Το γαλακτικό οξύ αποτελεί κυρίαρχο καύσιμο για τον καρδιακό και το σκελετικό μυ κατά την οξειδωτική φωσφορυλίωση καθώς και προδρομική ουσία της

γλυκονεογένεσης. Καθώς το γαλακτικό έχει πολύ χαμηλό μοριακό βάρος, διαχέεται συνεχώς ανάμεσα σε κύτταρα, αίμα και όργανα όπως ενεργοί/ανενεργοί μυς, καρδιά, ήπαρ, δέρμα. Αυτή η συνεχής ροή ονομάζεται γαλακτικός διάυλος. Ένα μέρος του γαλακτικού που παράγεται στις μυϊκές ίνες ταχείας συστολής μεταφέρεται σε παρακείμενες ίνες βραδείας συστολής, ενώ το υπόλοιπο φτάνει στις μυϊκές ίνες βραδείας συστολής με την κυκλοφορία του αίματος. Η μεταφορά του στις μυϊκές ίνες τύπου 1 είναι ταχύτερη απ' ό τι στις τύπου 2 πιθανώς γιατί στις πρώτες λειτουργεί ως καύσιμο, ενώ στις δεύτερες χρησιμεύει στην επανασύνθεση γλυκογόνου κατά την αποκατάσταση (Gladden 2000). Έτσι, στον μυϊκό ιστό των ασκούμενων μυών το γαλακτικό και παράγεται και καταναλώνεται και ίσως να μη φτάνει ποτέ στο φλεβικό αίμα (Brooks 1991). Έτσι, συμπεραίνεται ότι το γαλακτικό στο αίμα δεν αντικατοπτρίζει την αναερόβια γαλακτική παραγωγή ενέργειας στους μυς, αλλά τη διαφορά ανάμεσα στο ρυθμό σύνθεσής του στους μυς και στο ρυθμό απομάκρυνσής του από το αίμα.

## **2.2 Υποξία**

### **2.2.1 Μείωση $\dot{V}O_{2max}$ στην υποξία**

Η μείωση της  $\dot{V}O_{2max}$  με την αύξηση του υψομέτρου είναι καλά τεκμηριωμένη με πληθώρα ερευνών (Fulco et al 1998). Παλαιότερα πιστευόταν, λόγω περιορισμένων παρατηρήσεων, ότι η μείωση της  $\dot{V}O_{2max}$  αρχίζει σε υψόμετρο 1500 μέτρων και με ρυθμό 3,2% για κάθε 350 μέτρων ανόδου. Αργότερα έγινε γνωστό ότι η μείωση γίνεται εμφανής σε υψόμετρο μόλις 580 μέτρων, όπου οι αθλητές υψηλού επιπέδου χάνουν 7% της  $\dot{V}O_{2max}$  και αγύμναστα άτομα περίπου το μισό αυτής της τιμής (Gore et al 1996). Ο δε ρυθμός μείωσης της  $\dot{V}O_{2max}$  για αθλητές υπολογίζεται ότι είναι 1% για κάθε 305 μέτρα, πάνω από το επίπεδο της θαλάσσης (Jackson et al 1988).

### **2.2.2 Αναερόβια άσκηση σε υποξικό περιβάλλον**

Η πρόσληψη οξυγόνου ( $\dot{V}O_2$ ) είναι ένας δείκτης απελευθέρωσης αερόβιας ενέργειας κατά τη διάρκεια της άσκησης και η μειωμένη  $\dot{V}O_2$  περιορίζει άμεσα την απόδοση

κατά την διάρκεια αερόβιας άσκησης (Ogura et al 2006). Για παράδειγμα, η μειωμένη διαθεσιμότητα O<sub>2</sub> λόγω μεγάλου υψομέτρου ή εισπνοής υποξικού αερίου μειώνει την VO<sub>2</sub>, οδηγώντας σε μειωμένη αντοχή και αύξηση της σχετικής προσπάθειας σε μία δεδομένη ένταση (Linnarsson et al. 1974). Στην υπερ-μέγιστη άσκηση (π.χ. Wingate test [WT]), το 70-80% της καταναλώμενης ενέργειας παρέχεται μέσω των αναερόβιων ενεργειακών οδών (Beneke et al. 2002, Calbet et al. 2003, Parolin et al. 1999, Withers et al. 1991), αλλά η υπόλοιπη ενέργεια 20-30% παρέχεται μέσω αερόβιας ενεργειακής οδού. Έτσι, μία μειωμένη VO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια της υπερμέγιστης άσκησης θα μπορούσε να περιορίσει την απόδοση. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η μείωση της VO<sub>2</sub> δεν περιορίζει τη βραχυπρόθεσμη υπερ-μέγιστη απόδοση (Ogura et al 2006). Πράγματι, μια μελέτη έδειξε ότι ένα επίπεδο υποξίας 13,0% O<sub>2</sub> δεν επηρέασε την ταχύτητα του σπριντ χρονικής διάρκειας 60 δευτερολέπτων, σε σύγκριση με τη νορμοξία, παρόλο που η VO<sub>2</sub> μειώθηκε στα τελευταία 30 δευτερόλεπτα της προσπάθειας (Weyand et al. 1999). Μια άλλη μελέτη με πιο υψηλή υποξία (10,8% O<sub>2</sub>) από τις προηγούμενες, έδειξε ότι δεν περιορίστηκε η ισχύς στα 30 ή 45 s κατά τη διάρκεια του WT, παρά τη μείωση της VO<sub>2</sub> σε επίπεδο σημαντικά χαμηλότερο από την νορμοξία (McLellan et al. 1990). Σε αυτές τις δύο μελέτες (McLellan et al. 1990; Weyand et al. 1999), το έλλειμμα οξυγόνου και η συγκέντρωση μυϊκού γαλακτικού ήταν υψηλότερα στην συνθήκη υποξίας σε σύγκριση με εκείνη της νορμοξίας. Τέτοια ευρήματα υποδηλώνουν ότι η απελευθέρωση ενέργειας από τις αναερόβιες ενεργειακές οδούς αντισταθμίζουν την μείωση της παραγωγής αερόβιας ενέργειας κατά τη διάρκεια της υπερμέγιστης άσκησης (Ogura et al 2006).

### **2.2.3 Bosco test και Υποξία**

Η προπόνηση εκρηκτικής δύναμης είναι ένας κοινός τύπος προπόνησης δύναμης που χρησιμοποιείται σε διαφορετικά αθλήματα για τη βελτίωση των ειδικών νευρικών προσαρμογών των μυών. Το τεστ αξιολόγησης της απόδοσης της εκρηκτικής δύναμης έχει επίσης χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά ως δείκτης βελτιωμένων νευρομυϊκών χαρακτηριστικών και αναερόβιας απόδοσης. Η εκρηκτική ισχύς μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας την παραγωγή ισχύος κατά τη

διάρκεια διαδοχικών αλμάτων, όπως το Bosco Test (Alvarez et al 2015). Σε μία έρευνα των Alvarez και συνεργατών (2015), οι ερευνητές θέλησαν να βρουν αν διαφορετικά επίπεδα υποξίας πρόκειται να επηρεάσουν την παραγόμενη ισχύ σε ένα Bosco Test. Οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν 3 σετ των 15 δευτερολέπτων με άλματα «all-out» και διάλειμμα 3 λεπτών μεταξύ των σετ. Το πρώτο σετ πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες νορμοξίας ( $FIO_2$  21%), και τα επόμενα 2 σε συνθήκες ήπιας ( $FIO_2$  16,5%) και υψηλής υποξίας ( $FIO_2$  13,5%). Μία πλατφόρμα ισχύος κατέγραφε τον μέσο όρο παραγόμενης ισχύος καθώς και την μέγιστη ισχύ σε Watt. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις, ώστε να συγκριθούν τα επίπεδα κρεατινικής κινάσης και γαλακτικού στο αίμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ούτε η ήπια, αλλά ούτε η υψηλή υποξία μπόρεσαν να επηρεάσουν αρνητικά την ικανότητα παραγωγής αναερόβιας ισχύος, σε σύγκριση με την συνθήκη νορμοξίας, στο Bosco Test. Παρ' όλα αυτά οι δοκιμαζόμενοι στην συνθήκη της υψηλής υποξίας είχαν εντονότερη υποξαιμία καθώς και υψηλότερη υποκειμενική κόπωση. Τέλος τα επίπεδα γαλακτικού και κρεατινικής κινάσης στο αίμα, δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά και στις 3 συνθήκες.

#### **2.2.4 Wingate Test και υποξία**

Παρόλο που η ήπια υποξία δείχνει να μην έχει επίδραση στην πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2$ ) και στην απόδοση σε υπερμέγιστες προσπάθειες μικρότερες των 30 δευτερολέπτων, έχουν αναφερθεί αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση που μπορεί να έχουν υψηλότερα επίπεδα υποξίας στην απόδοση και στο μεταβολισμό (Calbet et al 2003). Ο McLellan et al (1990), παρατήρησε αμετάβλητη μέση παραγόμενη ισχύ και  $VO_2$  κατά την διάρκεια ενός Wingate 30 δευτερολέπτων σε υψηλή υποξία. Επεκτείνοντας την δοκιμασία στα 45 δευτερόλεπτα είχε ως αποτέλεσμα μείωση της  $VO_2$  στην συνθήκη υποξίας, ενώ συγκριτικά με την νορμοξία η μέση παραγόμενη ισχύς δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια εξαντλητικής άσκησης σε οξεία υποξία διάρκειας 30 ή 45 δευτερολέπτων, η συσσώρευση γαλακτικού στο μυ αυξήθηκε σημαντικά, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη αναερόβια απελευθέρωση ενέργειας με οξεία υποξία. Επιπλέον, ορισμένα αποδεικτικά στοιχεία υποδηλώνουν ότι κατά τη

διάρκεια υπερ-μέγιστης άσκησης που προκαλεί εξάντληση μεταξύ 30 και 60 δευτερολέπτων, η συμβολή των αναερόβιων πηγών ενέργειας αυξάνεται στην οξεία μέτρια υποξία (Weyland et al 1999).

Οι Calbet et al (2003) πραγματοποίησαν μία έρευνα η οποία έγινε σε συνθήκες προσομοίωσης υποξίας 5.300 μέτρων και το ερώτημα ήταν αν η οξεία υψηλή υποξία κατά την διάρκεια ενός Wingate Test μπορεί να έχει επίδραση σε υψηλού επιπέδου ποδηλάτες ταχύτητας καθώς και σε ποδηλάτες αντοχής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και στα δύο γκρουπ δεν υπήρξε διαφορά στην παραγωγή μέγιστη ισχύος, όμως στους ποδηλάτες ταχύτητας παρατηρήθηκε μειωμένη μέση ισχύς κατά 6-7% στην κατάσταση υποξίας σε σύγκριση με αυτή της νορμοξίας. Και στα δύο γκρουπ υπήρξε μείωση της  $\dot{V}O_2$  κατά 16%. Επιπλέον, σε αντίθεση με τους ποδηλάτες ταχύτητας, οι ποδηλάτες αντοχής είχαν ανώτερη μέγιστη αερόβια ισχύ στη δοκιμασία  $\dot{V}O_{2max}$ , εμφάνισαν χαμηλότερα μέγιστη και μέση ισχύ στη δοκιμασία Wingate, έδειξαν χαμηλότερο έλλειμμα  $O_2$ , είχαν χαμηλότερο δείκτη κόπωσης, παρήγαγαν μέσα από οξειδωτικά μονοπάτια μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που δαπανάται κατά τη διάρκεια μιας δοκιμασίας Wingate 30 δευτερολέπτων και εμφάνισαν χαμηλότερο γαλακτικό στο αίμα μετά τη δοκιμασία Wingate. Σε αντίθεση με την υπόθεσή τους, η απόδοση στο Wingate μειώθηκε μόνο με υψηλή οξεία υποξία στους ελίτ σπρίντερ ποδηλάτες, ενώ διατηρήθηκε ίδια στους ποδηλάτες αντοχής. Και στις δύο ομάδες, η  $\dot{V}O_2$  μειώθηκε στον ίδιο βαθμό (δηλαδή κατά 16%), αλλά επειδή η  $\dot{V}O_2/kg$  ήταν μεγαλύτερη στους ποδηλάτες αντοχής, η απόλυτη μείωση της  $\dot{V}O_2$  ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη στους ποδηλάτες αντοχής από ότι στους σπριντ ποδηλάτες. Ως πιθανή εξήγηση δόθηκε η υψηλότερη αναερόβια απελευθέρωση ενέργειας στην συνθήκη υποξίας, αφού και το έλλειμμα  $O_2$  αυξήθηκε με την υποξία στους αθλητές αντοχής αλλά όχι στους σπριντ ποδηλάτες. Φαίνεται ότι αρκετές μεταβολικές οδοί διεγείρονται, η διάσπαση φωσφοκρεατίνης και η γλυκόλυση, για να συμπληρώσουν την παραγωγή ενέργειας όταν ο αερόβιος μεταβολισμός δεν είναι ικανός να ταιριάζει την παραγωγή αερόβιας ATP με την κατανάλωση. Έτσι, οι ερευνητές έδειξαν ότι μέγιστη ισχύς δεν επηρεάζεται από τα υψηλά ποσοστά υποξίας σε ελίτ αθλητές που έχουν διαφορετικά αθλητικά χαρακτηριστικά όπως οι αθλητές αντοχής και ταχύτητας.



### III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1 Δείγμα

Στη μελέτη συμμετείχαν 4 δοκιμαζόμενοι άνδρες, οι οποίοι ήταν φοιτητές ΣΕΦΑΑ ελεύθερα ασκούμενοι ηλικίας 22-23 ετών, σωματικού βάρους  $74,9 \pm 11,5$  κιλών, ύψους  $178 \pm 6$  εκατοστών, με ποσοστό λίπους  $12 \pm 3\%$  και με μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου  $47,65 \pm 5$  ml/kg/min.

#### 3.2 Περιγραφή Διαδικασίας

Οι δοκιμαζόμενοι υποβλήθηκαν σε δύο δοκιμασίες με τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά. Η πρώτη ήταν μέγιστη άσκηση 30 δευτερολέπτων στο κυκλοεργόμετρο μέχρι εξάντλησης (Wingate Test) σε συνθήκες νορμοξίας ( $FIO_2$  20.9%). Η δεύτερη ήταν πάλι Wingate Test, όμως σε συνθήκες ήπιας υποξίας ( $FIO_2$  16%).

Πριν την δοκιμασία, οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να είναι τουλάχιστον 3 ώρες νηστικοί και να μην έχουν καταναλώσει κάποιο ρόφημα που να περιείχε καφεΐνη ή οποιαδήποτε εργογόνο ουσία. Οι δοκιμαζόμενοι εισήλθαν στον χώρο του εργαστηρίου με χαλαρή αθλητική περιβολή και αθλητικά παπούτσια. Έγινε πλήρης ενημέρωση των συμμετεχόντων για τον σκοπό, τη διαδικασία της έρευνας, τους πιθανούς κινδύνους καθώς και την αξιοποίηση των ευρημάτων. Συμπλήρωσαν και υπέγραψαν το απαραίτητο δελτίο υγείας και το έντυπο συγκατάθεσης τα οποία είχαν εγκριθεί από την επιτροπή ερευνητικής δεοντολογίας-βιοηθικής της ΣΕΦΑΑ. Σε αυτό αναφέρθηκαν στην χρονολογική τους ηλικία, στο αθλητικό τους παρελθόν, καθώς και σε κάποιον πρόσφατο τραυματισμό αν υπήρχε. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μέτρηση των σωματομετρικών τους χαρακτηριστικών, λιπομέτρηση με λήψη 3 δερματοπτυχών (Jackson & Pollock 1985) και μέτρηση της αρτηριακής πίεσης. Οι συνθήκες στο εργαστήριο ήταν: θερμοκρασία 22°C, σχετική υγρασία 40% και βαρομετρική πίεση 749 mmHg. Το εργομετρικό ποδήλατο που χρησιμοποιήθηκε για την αναερόβια ικανότητα Wingate ήταν τύπου Monark 894E. Το ύψος της σέλας ρυθμίστηκε κατάλληλα, έτσι ώστε το πόδι ήταν ελαφρώς

λυγισμένο στην άρθρωση του γόνατος όταν αυτό ήταν στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του.

Στους δοκιμαζόμενους φορέθηκε και στις δύο μετρήσεις μάσκα προσώπου με επιστόμιο (2-way valve, Hans Rudolf), για διάστημα 3 λεπτών πριν την έναρξη της δοκιμασίας καθώς και κατά την διάρκειά της, μέσω της οποίας μπορούσε να εισπνεύσει είτε ατμοσφαιρικό αέρα (FIO<sub>2</sub> 20,94%) είτε αέρα με μειωμένο οξυγόνο (FIO<sub>2</sub> 16%) ώστε να είναι μονά τυφλή η διαδικασία, δηλαδή να μην αναγνωρίζει ο δοκιμαζόμενος τη συνθήκη. Επίσης τους τοποθετήθηκε ζώνη στο στήθος για την μέτρηση της καρδιακής συχνότητας με τηλεμετρία (Monark), ενώ μετρήθηκε και ο κορεσμός αιμοσφαιρίνης με παλμικό οξύμετρο δακτύλου (Nellcor Symphony N-3000). Τέλος, 5 λεπτά μετά το πέρας της δοκιμασίας έγινε λήψη μικρού δείγματος μεικτού τριχοειδούς αίματος από το δάχτυλο του χεριού, προκειμένου να μετρηθεί η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα. Όσο οι ασκούμενοι ξεκουράζονταν στο ιατρικό κρεβάτι και πριν τη λήψη αίματος έγινε έλεγχος της αρτηριακής πίεσης.

### **3.3 Περιγραφή Αναερόβιας Δοκιμασίας Wingate**

Οι δοκιμαζόμενοι ξεκίνησαν να ποδηλατούν κάνοντας προθέρμανση επί 3 λεπτά με μικρή αντίσταση στον τροχό και ρυθμό 60 περιστροφές το λεπτό επιχειρώντας ενδιάμεσα 3 «σπρινταρίσματα» διάρκειας 6sec το καθένα, ώστε να συνηθίσουν στο γρήγορο ρυθμό ποδηλάτησης που απαιτεί η δοκιμασία. Μετά την προθέρμανση ξεκουράστηκαν για 3 λεπτά, πραγματοποιώντας παράλληλα συγκεκριμένες δυναμικές διατάσεις για τα κάτω άκρα. Έπειτα, ανέβηκαν στο ποδήλατο χωρίς να παράγουν έργο προκειμένου να ληφθούν τιμές ηρεμίας για την καρδιακή συχνότητα και τον κορεσμό οξυγόνου. Εν συνεχεία, δίχως επιβάρυνση ξεκίνησαν να ποδηλατούν για 3-4 δευτερόλεπτα, ώστε να υπερνικήσουν την αδράνεια και την αντίσταση τριβής του τροχού, και με αντίστροφη μέτρηση 3-2-1-«πάμε» εφαρμόστηκε η επιβάρυνση και ξεκίνησε το χρονόμετρο για τη μέτρηση των 30sec. Η επιβάρυνση ορίστηκε στα 0.075 kp·kg<sup>-1</sup> σωματικού βάρους.

Με το σύνθημα «πάμε», οι δοκιμαζόμενοι άρχισαν να ποδηλατούν με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα και την προκαθορισμένη σύμφωνα με το σωματικό τους βάρους επιβάρυνση για 30sec, ενώ καταγράφονταν οι περιστροφές του τροχού συνεχώς ανά χρονικά διαστήματα 5 δευτερολέπτων, χειρόγραφα και με υπολογιστή. Στους δοκιμαζόμενους καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμασίας παρεχόταν λεκτική ενθάρρυνση και ιδιαίτερα στα τελευταία 10sec, όπου η κόπωση ήταν σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Κατά την αποκατάσταση, 5 λεπτά μετά το πέρας της δοκιμασίας (σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία) έγινε λήψη μικρού δείγματος μεικτού τριχοειδούς αίματος από το δάχτυλο του χεριού τοποθετώντας ειδική ταινία η οποία στη συνέχεια έμπαινε στην ειδική συσκευή Lactatescout, μέσω της οποίας γινόταν η μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα.

Με το πέρας της λήψης γαλακτικού οι δοκιμαζόμενοι συνέχισαν να ποδηλατούν για 3 λεπτά στο κυκλοεργόμετρο, ως αποθεραπεία, στο 50% της έντασης που χρησιμοποιήθηκε στην κυρίως δοκιμασία.

### **3.4 Στατιστική ανάλυση**

Για την στατιστική ανάλυση διεξήχθη *t*-test για εξαρτημένα δείγματα και οι τιμές που παρουσιάζονται είναι μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε ως  $p < 0,05$  και η ανάλυση των δεδομένων έγινε μέσω του στατιστικού πακέτου STATISTICA 8.

## IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1. Πριν την έναρξη της δοκιμασίας Wingate:

Η μέση καρδιακή συχνότητα κατά την διάρκεια των 3 λεπτών ηρεμίας πριν τη δοκιμασία Wingate ήταν στην νορμοξία  $95,62 \pm 3,59$  bpm και στην υποξία  $110,41 \pm 30,14$  bpm. Η διαφορά μεταξύ των δύο συνθηκών δεν ήταν στατιστικά σημαντική ( $p=0,42$ ).

Ο κορεσμός της αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο στο τέλος της περιόδου ηρεμίας πριν τη δοκιμασία Wingate ήταν στην νορμοξία  $98,25 \pm 0,61\%$  και στην υποξία  $97,04 \pm 1,46\%$  ( $p=0,10$ ).

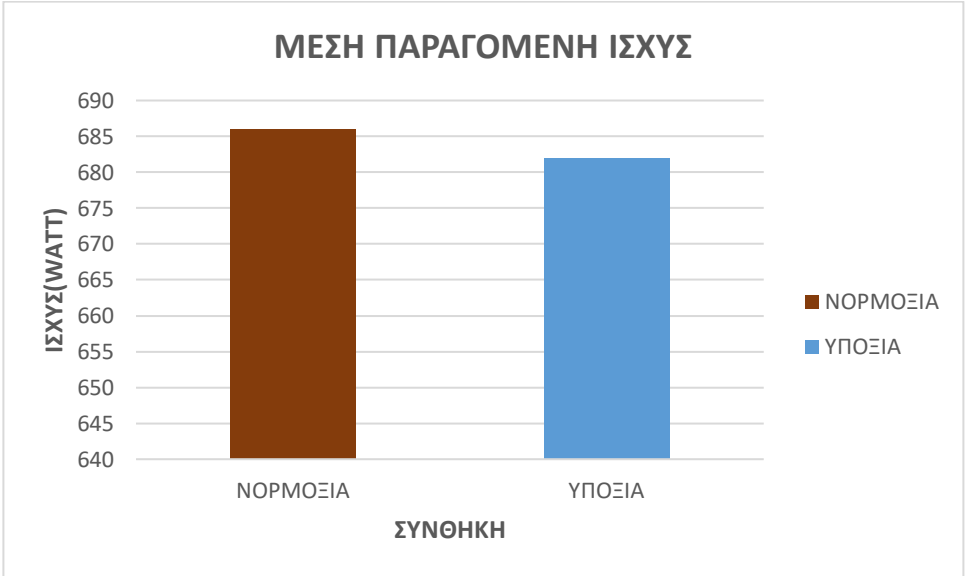
### 4.2. Κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate:



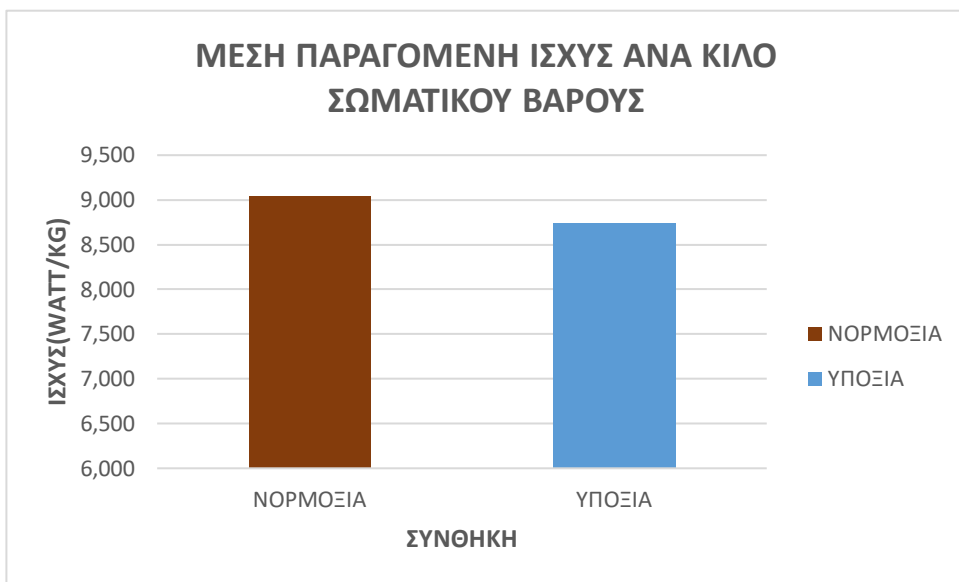
**Σχήμα 4.2.1.** Μέση καρδιακή συχνότητα κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες ( $N=152,32 \pm 9,2$  παλμοί/λεπτό,  $Y=166,53 \pm 8,7$  παλμοί/λεπτό,  $p=0,10$ ).



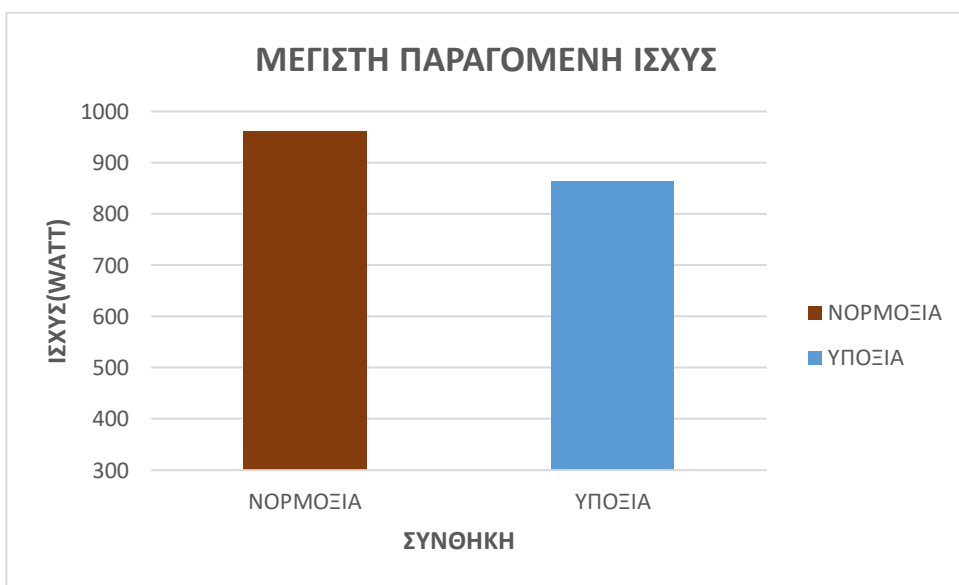
**Σχήμα 4.2.2.** Μέγιστη καρδιακή συχνότητα κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες (N=180,25±3,94 παλμοί/λεπτό, Y=189,75±7,67 παλμοί/λεπτό, p=0,10)



**Σχήμα 4.2.3.** Μέση παραγόμενη ισχύς κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες (Y=681,84±96,28 Watt και N=685,94±89,65 Watt, p=0,62).



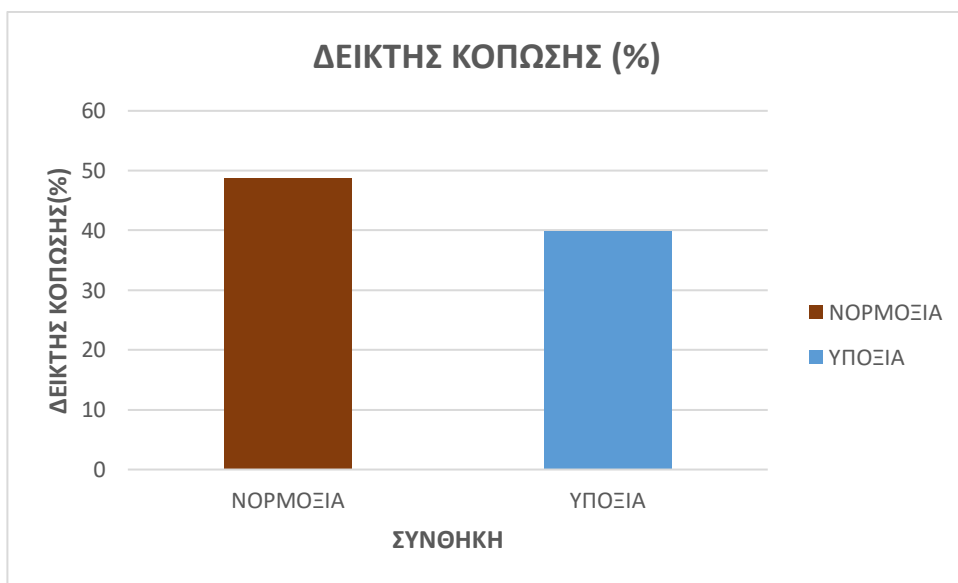
**Σχήμα 4.2.4.** Μέση παραγόμενη ισχύς ανά κιλό σωματικού βάρους κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες (N=9,03±0,41 Watt/kg, Y=8,97±0,6 Watt/kg, p=0,67).



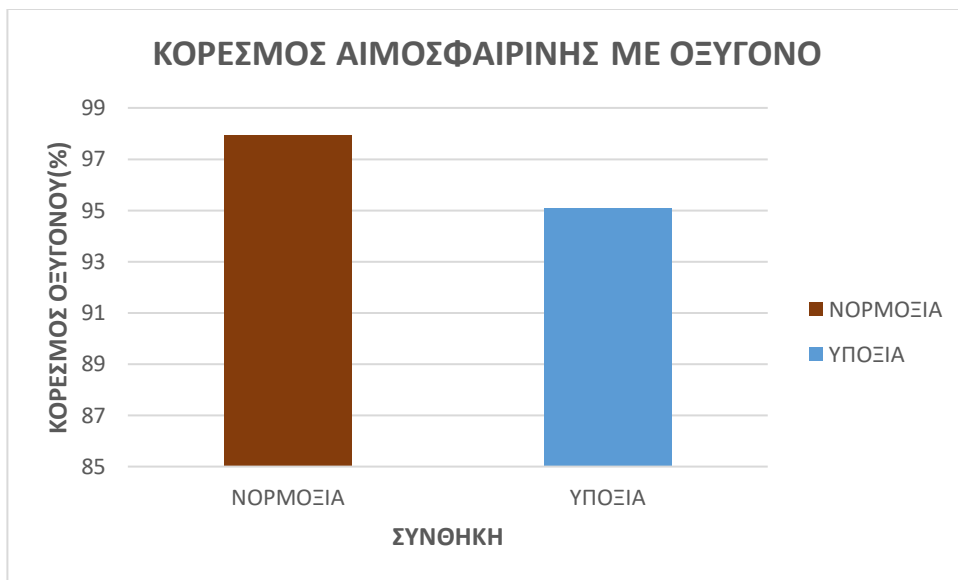
**Σχήμα 4.2.5.** Μέγιστη παραγόμενη ισχύς κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες (Y=863,9±87 Watt, N=961,22±112,5 Watt, p=0,25).



**Σχήμα 4.2.6.** Μέγιστη παραγόμενη ισχύς ανά κιλό σωματικού βάρους κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate στις 2 συνθήκες (N=12,7±0,98 Watt/kg, Y=11,6±2,43 Watt/kg, p=0,27).



**Σχήμα 4.2.7.** Δείκτης κόπωσης στη δοκιμασία Wingate στις 2 συνθήκες (N=48,77±7,5%, Y=39,87±15,7%, p=0,31).



**Σχήμα 4.2.8.** Κορεσμός αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο (%) κατά την διάρκεια της δοκιμασίας Wingate ( $Y=95,0\pm 0,7\%$  και  $N=97,92\pm 0,44\%$ ,  $p=0,005$ ).

### 4.3. Μετά το πέρας της δοκιμασίας Wingate:

Στο 5ο λεπτό της αποκατάστασης μετρήθηκε το γαλακτικό στο αίμα και οι τιμές ήταν  $17,25\pm 0,69\text{mmol/L}$  στη νορμοξία και  $14,275\pm 0,7\text{mmol/L}$  στην υποξία ( $p=0,004$ ).



## V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα έρευνα έγινε με σκοπό τη μελέτη της αναερόβιας απόδοσης σε συνθήκες νορμοξίας και οξείας νορμοβαρικής ήπιας υποξίας. Αυτό επετεύχθη με εκτέλεση της αναερόβιας δοκιμασίας Wingate σε κυκλοεργόμετρο εισπνέοντας μείγμα αερίων με φυσιολογικό (20,93%) και μειωμένο (16%) ποσοστό οξυγόνου. Παράλληλα, ελέγχθηκαν οι διαφορές μεταξύ των δύο συνθηκών σε φυσιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού πριν και μετά τη δοκιμασία (κορεσμό αιμοσφαιρίνης με οξυγόνο, καρδιακή συχνότητα, συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα).

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, η ήπια υποξία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δεν στάθηκε εμπόδιο στην παραγωγή αναερόβιας ισχύος (μέγιστης) και ικανότητας (μέσης ισχύος) αφού δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους αυτές σε σχέση με τη συνθήκη της νορμοξίας. Οι δοκιμαζόμενοι, ενώ δεν γνώριζαν ποια ήταν η εκάστοτε συνθήκη κατά την οποία εκτελούσαν τη δοκιμασία, ανταποκρίθηκαν το ίδιο.

Αρχικά, η διαφορά στον κορεσμό οξυγόνου στο αίμα ανάμεσα στις δύο συνθήκες ήταν αναμενόμενη. Είναι γνωστό πως η μερική πίεση ενός αερίου σ' ένα μίγμα αερίων εξαρτάται από την εκατοστιαία του αναλογία στο μίγμα αυτό (West 1984, Κλεισούρας 2011). Όταν μειώνεται το ποσοστό οξυγόνου στο εισπνεόμενο μίγμα αερίων μειώνεται και ο κορεσμός του στο αίμα, όπως παρατηρήθηκε και κατά την παρούσα μελέτη. Ακόμη ένα αποτέλεσμα της μείωσης οξυγόνου ήταν η αυξημένη καρδιακή συχνότητα των δοκιμαζομένων όπου παρατηρήθηκε τάση για στατιστικά σημαντική διαφορά. Η συμπαθητική δραστηριότητα αυξάνεται στην υποξία και επηρεάζει την καρδιακή συχνότητα.

Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν για την αναερόβια απόδοση ήταν α) η μέγιστη παραγόμενη ισχύς, που θεωρείται δείκτης της αναερόβιας αερακτικής ικανότητας, β) η μέση ισχύς, που θεωρείται δείκτης της συνολικής αναερόβιας ικανότητας (αερακτικής και αερακτικής), και γ) ο δείκτης κόπωσης, που δείχνει το βαθμό διατήρησης της μέγιστης παραχθείσας ισχύος έως το τέλος της δοκιμασίας.

Ενώ παρατηρούμε σχετικά μικρότερη απόδοση κατά την υποξία, οι τιμές που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των δύο συνθηκών δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό συμβαδίζει με τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών, όπου φάνηκε ότι η μέτρια υποξία (FIO<sub>2</sub> 16%) δεν περιορίζει σημαντικά ή και καθόλου τους αναερόβιους μηχανισμούς παραγωγής ενέργειας, ενώ χρειάζεται υψηλότερο επίπεδο υποξίας για να διεγείρει σημαντικά τη γλυκόλυση (Ogurra et al 2006, McLellan et al 1990, Weyand et al 1999, Herms 2014, Calbet et al 2003).

Οι τιμές του γαλακτικού στο αίμα μετά τη δοκιμασία στη συνθήκη της νορμοξίας κυμάνθηκαν σε υψηλότερα επίπεδα συγκριτικά με την συνθήκη της υποξίας. Ο χρόνος λήψης του τριχοειδικού αίματος για τον προσδιορισμό του γαλακτικού (στο 5<sup>ο</sup> λεπτό της αποκατάστασης), ο μικρός αριθμός δοκιμαζομένων και το ότι λήφθηκε μόνο ένα δείγμα μετά από κάθε δοκιμασία αποτελούν μεθοδολογικό περιορισμό που δεν επιτρέπει ασφαλή συμπεράσματα για την παράμετρο αυτή, καθώς ο χρόνος διάχυση του γαλακτικού από τους εργαζόμενους μυς στο αίμα διαφέρει από άτομο σε άτομο και μπορεί να επηρεαστεί από την υποξία.

Εν κατακλείδι, στην εργασία αυτή, με ένα μικρό δείγμα δοκιμαζομένων, επιβεβαιώθηκε ότι η αναερόβια ικανότητα και ισχύς, καθώς και ο δείκτης κόπωσης, δεν επηρεάζονται σημαντικά από υποξία FIO<sub>2</sub> 16%, υποδηλώνοντας ότι η απόδοση σε μέγιστες προσπάθειες σύντομης διάρκειας μπορεί να διατηρηθεί σε ήπια υποξία, που αντιστοιχεί σε υψόμετρο περίπου 2100 μέτρων.

## VI. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Gatterer H, Viscor G, Burtscher M. Differing levels of acute hypoxia do not influence maximal anaerobic power capacity. *Wilderness Environ Med.* 2015;26(1):78-82.
- Bangsbo J, Michalsik L, Petersen A. Accumulated O<sub>2</sub> deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *Int J Sports Med.* 1993;14(4):207-213.
- Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, et al. Anaerobic energy production and O<sub>2</sub> deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol.* 1990; 422:539-559.
- Bar-Or, O., Dotan, R., Inbar, O., Rothstein, A., Karlsson, J., & Tesch, P. (1980). Anaerobic Capacity and Muscle Fiber Type Distribution in Man. *Int J Sports Med.* 01(02), 82–85.
- Beneke R, Pollmann C, Bleif I, Leithäuser RM, Hütler M. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur J Appl Physiol.* 2002;87(4-5):388-392.
- Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK, Nevill AM. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol.* 1995;482(Pt 2):467-480.
- Bosco C, Komi PV, Tihanyi J, Fekete G, Apor P. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;51(1):129-135.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;50(2):273-282.
- Bouchard C, Taylor AW, Simoneau J, and Dulac S. Testing anaerobic power and capacity. In: *Physiological testing of the high-performance athlete.* Macdougall JD, Wenger HA and Green HJ. (eds), Champaign IL: Human Kinetics, 1991.
- Bowtell JL, Cooke K, Turner R, Mileva KN, Sumners DP. Acute physiological and performance responses to repeated sprints in varying degrees of hypoxia. *J Sci Med Sport.* 2014;17:399–403.
- Brooks GA. Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23(8):895-906.
- Calbet JA, De Paz JA, Garatachea N, Cabeza de Vaca S, Chavarren J. Anaerobic energy provision does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. *J Appl Physiol.* 2003; 94:668–676.

- Calbet JA, Boushel R, Rådegran G, Søndergaard H, Wagner PD, Saltin B. Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2003;284(2):R291-R303.
- Di Prampero PE, Ferretti G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*. 1999;118(2-3):103-115.
- Fulco CS, Rock PB, Cymerman A. Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med*. 1998;69(8):793-801
- Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol (1985)*. 1993;75(2):712-719.
- Galvin HM, Cooke K, Sumners DP, Mileva KN, Bowtell JL. Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med*. 2013;47(Suppl1): i74–i79.
- Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*. 2001;31(10):725-741.
- Gastin PB, Costill DL, Lawson DL, Krzeminski K, McConell GK. Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(2):255-263.
- Gladden LB. The role of skeletal muscle in lactate exchange during exercise: introduction. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(4):753-755.
- Gore CJ, Hahn AG, Scroop GC, et al. Increased arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. *J Appl Physiol (1985)*. 1996;80(6):2204-2210. doi:10.1152/jappl.1996.80.6.2204
- Hebestreit H, Mimura K, Bar-Or O. Recovery of muscle power after high-intensity short-term exercise: comparing boys and men. *J Appl Physiol (1985)*. 1993;74(6):2875-2880.
- Inbar O, Bar-Or O and Skinner JS. *The Wingate Anaerobic Test*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1996.
- Jackson CG, Sharkey BJ. Altitude, training and human performance. *SportsMed*. 1988;6(5):279-284.
- Jackson AS, Pollock ML. Practical Assessment of Body Composition. *Phys Sportsmed*. 1985;13(5):76-90.
- Jacobs I, Bar-Or O, Karlsson J, et al. Changes in muscle metabolites in females with 30-s exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(6):457-460.
- Kaczkowski W, Montgomery DL, Taylor AW, Klissouras V. The relationship between muscle fiber composition and maximal anaerobic power and capacity. *J Sports Med Phys Fitness*. 1982;22(4):407-413.

- Kavanagh MF, Jacobs I. Breath-by-breath oxygen consumption during performance of the Wingate Test. *Can J Sport Sci.* 1988;13(1):91-93.
- Kent-Braun JA, Miller RG, Weiner MW. Human skeletal muscle metabolism in health and disease: utility of magnetic resonance spectroscopy. *Exerc Sport Sci Rev.* 1995; 23:305-347.
- Klissouras V. Heritability of adaptive variation. *J Appl Physiol.* 1971;31(3):338-344.
- Kohrt WM, Spina RJ, Ehsani AA, Cryer PE, Holloszy JO. Effects of age, adiposity, and fitness level on plasma catecholamine responses to standing and exercise. *J Appl Physiol (1985).* 1993;75(4):1828-1835.
- Komi PV, Klissouras V, Karvinen E. Genetic variation in neuromuscular performance. *Int Z Angew Physiol.* 1973;31(4):289-304.
- Komi PV, Karlsson J. Physical performance, skeletal muscle enzyme activities, and fibre types in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol Scand Suppl.* 1979; 462:1-28.
- Levine BD. Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Alt Med Biol.* 2002; 3:177–193.
- Linnarsson D, Karlsson J, Fagraeus L, Saltin B. Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *J Appl Physiol.* 1974;36(4):399-402.
- Macek M and Vavra J. The Adjustment of Oxygen Uptake at the Onset of Exercise: A Comparison Between Prepubertal Boys and Young Adults. *International Journal of Sports Medicine* 1:75, 1980.
- Makrides L, Heigenhauser GJ, McCartney N, Jones NL. Maximal short-term exercise capacity in healthy subjects aged 15-70 years. *Clin Sci (Lond).* 1985;69(2):197-205.
- Maughan R, Gleeson M and Greenhaff PL. *Biochemistry of exercise and training.* Oxford University Press, New York: 1997.
- McCann DJ, Molé PA, Caton JR. Phosphocreatine kinetics in humans during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(3):378-389.
- McLellan TM, Kavanagh MF, Jacobs I. The effect of hypoxia on performance during 30 s or 45 s of supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;60(2):155-161.
- McMahon S, Jenkins D. Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med.* 2002;32(12):761-784.
- Medbø JJ, Tabata I. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol (1985).* 1998;75(4):1654-1660.

- Medbø JJ, Tabata I. Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* (1985). 1989;67(5):1881-1886.
- Nevill ME, Bogdanis GC, Boobis LH, et al Muscle metabolism and performance during sprinting. In: Maughan RJ, Shiereffs SM (eds.). *Biochemistry of exercise IX*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1996.
- Sahlin K, Edström L, Sjöholm H. Fatigue and phosphocreatine depletion during carbon dioxide-induced acidosis in rat muscle. *Am J Physiol*. 1983;245(1):C15-C20.
- Serresse O, Lortie G, Bouchard C, Boulay MR. Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *Int J Sports Med*. 1988;9(6):456-460.
- Smith JC, Hill DW. Contribution of energy systems during a Wingate power test. *Br J Sports Med*. 1991;25(4):196-199.
- Tharp GD, Johnson GO, Thorland WG. Measurement of anaerobic power and capacity in elite young track athletes using the Wingate test. *J Sports Med Phys Fitness*. 1984;24(2):100-106.
- Vandewalle H, Pérès G, Monod H. Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med*. 1987;4(4):268-289.
- Weinstein Y, Bediz C, Dotan R, Falk B. Reliability of peak-lactate, heart rate, and plasma volume following the Wingate test. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(9):1456-1460.
- Wells CL. *Women, Sport and Performance: a Physiological Perspective (2<sup>nd</sup> edition)*. Champaign Illinois: Human Kinetics Publishers, 1991.
- Weltman A. *The Blood Lactate Response to Exercise*. Human Kinetics, Champaign Ill, 1995.
- Weyand PG, Lee CS, Martinez-Ruiz R, Bundle MW, Bellizzi MJ, Wright S. High-speed running performance is largely unaffected by hypoxic reductions in aerobic power. *J Appl Physiol* (1985). 1999;86(6):2059-2064.
- Withers RT, Sherman WM, Clark DG, et al. Muscle metabolism during 30, 60 and 90 s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;63(5):354-362.
- Withers RT, Van der Ploeg G, Finn JP. Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75 and 90-s maximal cycling on an air-braked ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1993;67(2):185-191.
- Κλεισούρας, Β. (2011). *Εργοφυσιολογία*. Broken Hill Publishers LTD.