



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

**«ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ
ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΩΠΗΛΑΣΙΑ»**

Μαυροματάκη Ευαγγελία

Μεταπτυχιακή Διατριβή
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»

ΑΘΗΝΑ 2008

Copyright
Μαυρομματάκη Ευαγγελία

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

Εθνικής Αντίστασης 41, Δάφνη 17237, Αθήνα, Ελλάδα



Μεταπτυχιακή Διατριβή
«ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΚΩΠΗΛΑΣΙΑ»

Μαυρομματάκη Ευαγγελία

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αναπλ. Καθηγήτρια Μαριδάκη Μαρία

Αναπλ. Καθ. Καλουψής Σωκράτης

Καθ. Κουτεντάκης Ιωάννης

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η διατριβή αυτή πραγματεύεται τη δράση των μηχανισμών παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενης άσκησης στην κωπηλασία. Παράλληλα συγκρίνει δύο πρωτόκολλα επαναλαμβανόμενης άσκησης που χρησιμοποιούνται στην προπόνηση της κωπηλασίας με στόχο τους τη βελτίωση της αναερόβιας ικανότητας.

Η ανάγκη για την εκπόνηση της διατριβής αυτής γεννήθηκε από τους προβληματισμούς μου ως αθλήτρια της κωπηλασίας και αργότερα ως φοιτήτρια του τμήματος φυσικής αγωγής και αθλητισμού σχετικά με την παραγωγή ενέργειας κατά τη μέγιστη προσπάθεια. Στόχος της είναι να φωτίσει μια ακόμη πτυχή του τρόπου ενεργοποίησης και αλληλεπίδρασης των ενεργειακών μηχανισμών κατά την επαναλαμβανόμενη άσκηση, ιδιαίτερα όταν συμμετέχουν όλες οι μεγάλες μυϊκές ομάδες, όπως στο άθλημα της κωπηλασίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα Αναπλ. Καθηγήτρια Μαρία Μαριδάκη, καθώς και στα μέλη της τριμελούς επιτροπής Αναπλ. Καθ. Σωκράτη Καλουπή και Καθ. Ιωάννη Κουτεντάκη για την αμέριστη συμπαράσταση, καθοδήγηση και βοήθεια που μου παρείχαν, μακράν πέραν των τυπικών καθηκόντων τους.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γρηγόρη Μπογδάνη για την πολύτιμη συμβολή και καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια διεξαγωγής της έρευνας. Επίσης, τους συνεργάτες του εργαστηρίου της Εργοφυσιολογίας καθώς και τον φοιτητή Σταμάτη Μουρτάκο για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους δοκιμαζόμενους που είχαν την υπομονή και τη θέληση να συμμετάσχουν στην έρευνα αυτή.

Περίληψη

ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΩΠΗΛΑΣΙΑ

Ευαγγελία Μαυροματάκη

Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ενεργειακοί μηχανισμοί κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενης άσκησης έχουν μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές σε προσπάθειες μικρής διάρκειας (4 - 30 sec). Έχει βρεθεί πως παρόλο που η συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού είναι μικρή κατά την πρώτη προσπάθεια, αυξάνεται κατά τις επόμενες και συνεισφέρει σημαντικά στην παραγωγή ενέργειας. Εντούτοις, υπάρχει ένα ερευνητικό κενό όσον αφορά στις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες διάρκειας μεγαλύτερης του 1 λεπτού. Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η σύγκριση της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών πρωτοκόλλων επαναλαμβανόμενων μέγιστων δοκιμασιών στο κωπηλατοεργόμετρο.

ΜΕΘΟΔΟΣ

Το δείγμα μας αποτέλεσαν εννέα κωπηλάτες (ηλικία 28.2 ± 4.7 έτη, σωματική μάζα 75.8 ± 4.7 kg και ύψος 179.8 ± 6.1 cm) υψηλού αγωνιστικού επιπέδου. Αφού εξοικειώθηκαν με το χώρο και τα όργανα μέτρησης, πραγματοποίησαν στο κωπηλατοεργόμετρο δύο πρωτόκολλα επαναλαμβανόμενων μέγιστων δοκιμασιών που αποτελούνταν α) από οχτώ μέγιστες δοκιμασίες του 1 λεπτού με διάλειμμα 60 s και β) από τέσσερις μέγιστες δοκιμασίες διάρκειας 2 λεπτών με διάλειμμα 140 s. Επομένως, ο συνολικός χρόνος άσκησης (8 λεπτά) και ο συνολικός χρόνος διαλείμματος (7 λεπτά) ήταν ίδιος και στα δύο πρωτόκολλα. Η ισχύς μετρούνταν ανά κουπιά και η πρόσληψη οξυγόνου ανά δευτερόλεπτο σε όλη τη διάρκεια της άσκησης και του διαλείμματος. Οι μετρούμενες μεταβλητές ήταν η πρόσληψη οξυγόνου, η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα, η μέση και μέγιστη ισχύς και η αρτηριακή πίεση. Η στατιστική ανάλυση για τα δεδομένα της ισχύος, της πρόσληψης οξυγόνου και του γαλακτικού οξέος για τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες έγινε με ανάλυση διασποράς (ANOVA) σε εξαρτημένα δείγματα σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού στη συνολική διάρκεια της άσκησης δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δύο πρωτόκολλα (59 και 64 % για τα μονόλεπτα και τα δίλεπτα, αντίστοιχα). Η αερόβια παραγωγή ενέργειας ήταν σημαντικά χαμηλότερη μόνο κατά την πρώτη δοκιμασία και στα δύο πρωτόκολλα ($p < 0.01$). Δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη μέση τιμή της πρόσληψης οξυγόνου στο ίδιο πρωτόκολλο (εκτός του 1ου μονολέπτου) ή μεταξύ των δύο πρωτοκόλλων (76.2 ± 6.7 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ στα μονόλεπτα και 74.4 ± 6.3 % $\text{VO}_{2\text{max}}$ στα δίλεπτα). Το έλλειμμα οξυγόνου ήταν σημαντικά υψηλότερο κατά τα δίλεπτα σε σχέση με τα μονόλεπτα (37.9 ± 12.1 και 23.9 ± 8.4 ml $\text{O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$, αντίστοιχα, $p < 0.01$). Η απόσταση που διανύθηκε, η μέγιστη ισχύς και η καρδιακή συχνότητα δε μεταβλήθηκαν σημαντικά με την πάροδο των προσπαθειών και στις δύο συνθήκες. Η μέση ισχύς μειώθηκε σημαντικά κατά την τελευταία προσπάθεια στα μονόλεπτα και κατά τις δύο τελευταίες προσπάθειες στα δίλεπτα ($p < 0.05$).

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα έρευνα φαίνεται πως όταν προσπάθειες μικρής χρονικής διάρκειας επαναλαμβάνονται η παραγωγή ενέργειας προέρχεται κυρίως από αερόβιες διεργασίες. Παράλληλα, η συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού διατηρείται σε υψηλά επίπεδα πιθανόν

λόγω της διαλειμματικής μορφής της άσκησης που επιτρέπει τη μερική ανασύνθεση της φωσφοκρεατίνης και την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος από τους λειτουργούντες μύες στο αίμα. Το συνολικά παραγόμενο έργο, η μέση και η μέγιστη ισχύς ήταν σημαντικά μεγαλύτερα κατά τα μονόλεπτα παρόλο που ο συνολικός χρόνος άσκησης και διαλείμματος ήταν ίδιος και στις δύο συνθήκες. Επομένως, σαν προπονητική εφαρμογή των ευρημάτων της παρούσας έρευνας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το πρωτόκολλο των μονολέπτων είναι καταλληλότερο από αυτό το διλέπτων όσον αφορά στη βελτίωση της αερόβιας και αναερόβιας ικανότητας των κωπηλατών.

Abstract

RELATIVE CONTRIBUTION OF THE ENERGY MECHANISMS DURING INTERVAL EXERCISE IN ROWING

Mavrommataki Evaggelia

Ergophysiology Laboratory, Faculty of Physical Education & Sport Science, National & Kapodistrian University of Athens

INTRODUCTION

Energy mechanisms during repeated exercise have been studied previously (Bogdanis et al, 1995; 1996; Gastin, 2001) in short exercise durations including 4s to 30s intervals. It has been found that although the aerobic mechanism has a small contribution during the first bout, becomes much more important to the energy production in the next bout (or bouts). While much is known about the energy system contribution in maximal efforts lasting < 30 s yet, there is a lack of information concerning repeated bouts of duration > 1 min. Therefore, the aim of the present study was to compare the relative contribution of the energy mechanisms between two different protocols of repeated maximal rowing exercise.

METHODS

Nine male, national level rowers (age 28.2, s = 4.7 years, body mass mean 75.8, s = 4.7 kg and height mean 179.8, s = 6.1 cm, volunteered to participate in this study. Following familiarization and VO₂max measurement on a Concept II rowing ergometer, each participant performed two different interval exercise protocols 1 week apart. One occasion included eight maximal 1-min bouts separated by 60 s of passive recovery (EX1), while the other included four maximal 2-min bouts with 140 s recovery (EX2). Thus, total exercise (8 min) and recovery time (7 min) were identical in the two protocols. Power output was measured stroke-by-stroke and oxygen uptake (VO₂) was monitored during exercise and recovery. Differences in power output and VO₂ were analyzed using a 2-way ANOVA with repeated measures.

RESULTS

No significant differences were revealed in the aerobic energy contribution for the total exercise duration between the two protocols (59 and 64 % for EX1 and EX2, respectively). The aerobic energy production was significantly lower only during the 1st bout in both protocols ($p < 0.01$). No significant differences were found in average VO₂ during exercise in the same protocol (except the 1st bout in EX1) or between the two protocols (76.2 ± 6.7 %VO_{2max} in EX1 and 74.4 ± 6.3 %VO_{2max} in EX2). Oxygen deficit during each bout was significantly higher in EX2 compared to EX1 (37.9 ± 12.1 vs 23.9 ± 8.4 ml O₂ · kg⁻¹, respectively, $p < 0.01$). No significant differences were found in distance, maximal power and heart rate between the bouts in EX1 and EX2. Average power was significantly lower during the last bout of EX1 and the last two bouts of EX2 ($p < 0.05$).

DISCUSSION - CONCLUSION

According to the findings of our study, when efforts of short duration are repeated the energy production derives mainly from the aerobic metabolism. On the other hand, the contribution of the anaerobic metabolism stays at high levels probably due to the interval nature of the exercise that allows the partial PCr resynthesis and lactate removal from the working muscles to the blood. Even though total exercise and recovery time were the same in the two protocols, power output was higher in EX1. Based on the present evidence, EX1 may be considered as a superior protocol compared to EX2 for the improvement of both anaerobic and aerobic capacity in rowing.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	iv
ΕΚΦΡΑΣΗ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΩΝ.....	v
ΠΕΡΙΛΗΨΕΙΣ.....	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiii

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Εντοπισμός του προβλήματος.....	1
1.2 Σκοπός της έρευνας.....	1
1.3 Σημασία της έρευνας	2
1.4 Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων.....	2
1.4.1 Ερευνητικές υποθέσεις.....	2
1.4.2 Μεταβλητές.....	2
1.5 Οριοθετήσεις και περιορισμοί.....	2
1.5.1 Οριοθετήσεις.....	2
1.5.2 Περιορισμοί.....	2
1.6 Διευκρίνιση όρων.....	2
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	3
2.1 Ενεργειακοί μηχανισμοί.....	3
2.1.1 Τριφωσφορική αδενοσίνη.....	3
2.1.2 Αναερόβιος μεταβολισμός.....	3
2.1.2.1 Φωσφοκρεατίνη.....	3
2.1.2.2 Αναερόβια γλυκόλυση.....	4
2.1.2.3 Κόπωση κατά τη μέγιστη άσκηση.....	5
2.1.3 Αερόβιος μεταβολισμός.....	5
2.1.3.1 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.....	5
2.1.3.2 Κινητική οξυγόνου.....	6
2.1.3.3 Αερόβια παραγωγή ενέργειας σε επαναλαμβανόμενα σπριντ.....	7
2.2 Αλληλεπίδραση των ενεργειακών μηχανισμών.....	8
2.3 Μέθοδοι υπολογισμού της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη μέγιστη άσκηση.....	9
2.3.1 Άμεσες μέθοδοι.....	9
2.3.1.1 Μυϊκή βιοψία.....	9
2.3.1.2 Μαγνητική τομογραφία.....	10
2.3.2 Έμμεσες μέθοδοι.....	11
2.3.2.1 Χρέος οξυγόνου.....	11
2.3.2.2 Μέτρηση γαλακτικού οξέος στο αίμα	12
2.3.2.3 Έλλειμμα οξυγόνου.....	12
2.4 Φυσιολογία της κωπηλασίας.....	14
2.4.1 Χαρακτηριστικά του αγωνίσματος.....	14
2.4.2 Φυσιολογικά χαρακτηριστικά των κωπηλατών.....	15
2.4.2.1 Σωματική μάζα.....	15
2.4.2.2 Πρόσληψη οξυγόνου.....	16
2.4.3.3 Πνευμονικός αερισμός.....	16
2.4.3.4 Αναερόβιο κατώφλι	17
2.4.3.5 Καρδιακή συχνότητα.....	17

2.4.3	Σχετική συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών στην κωπηλασία.....	18
2.4.3.1	Παλαιότερες έρευνες.....	18
2.4.3.2	Σύγχρονες έρευνες.....	19
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	21
3.1	Δείγμα.....	21
3.2	Όργανα μέτρησης.....	21
3.2.1	Σωματομετρήσεις.....	21
3.2.2	Μέτρηση της ισχύος.....	21
3.2.3	Μέτρηση των αναπνευστικών παραμέτρων.....	21
3.2.4	Μέτρηση της καρδιακής συχνότητας.....	21
3.2.5	Μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος και μεταβολών όγκου πλάσματος.....	21
3.3	Διαδικασίες.....	22
3.3.1	Δοκιμασία μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.....	22
3.3.2	Υπομέγιστες δοκιμασίες.....	23
3.3.3	Δοκιμασία εξοικείωσης.....	24
3.3.4	Δοκιμασία επαναλαμβανόμενων υπερμέγιστων προσπάθειών.....	24
3.4	Ανάλυση δεδομένων.....	26
3.4.1	Ανάλυση δεδομένων ισχύος.....	26
3.4.2	Ανάλυση δεδομένων αναπνευστικών μεταβλητών.....	26
3.4.3	Στατιστική ανάλυση.....	26
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	27
4.1	Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.....	27
4.2	Υπομέγιστες προσπάθειες.....	27
4.3	Απόσταση που διανύθηκε και παραγωγή ισχύος.....	28
4.4	Πρόσληψη οξυγόνου.....	30
4.5	Έλλειμμα οξυγόνου και σχετική συμμετοχή μηχανισμών παραγωγής ενέργειας.....	31
4.6	Γαλακτικό οξύ.....	35
4.7	Καρδιακή συχνότητα.....	36
4.8	Αιματοκρίτης, αιμοσφαιρίνη και μεταβολές όγκου πλάσματος.....	36
4.9	Συστολική, διαστολική και μέση πίεση.....	38
5.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	41
5.1	Βασικά ευρήματα έρευνας.....	41
5.2	Αναερόβια παραγωγή ενέργειας και έλλειμμα οξυγόνου.....	41
5.3	Πρόσληψη οξυγόνου κατά την επαναλαμβανόμενη άσκηση.....	43
5.4	Ισχύς και παραγόμενο έργο.....	43
5.5	Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος.....	44
5.6	Αρτηριακή πίεση πριν και μετά την επαναλαμβανόμενη άσκηση.....	44
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	45
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
	Δήλωση συναίνεσης.....	53
	Πρωτόκολλο μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.....	54
	Πρωτόκολλο υπομέγιστων δοκιμασιών.....	55
	Πρωτόκολλα επαναλαμβανόμενης άσκησης.....	57
	Πίνακες παράθεσης δεδομένων έρευνας.....	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση των αναερόβιων μεταβολικών διεργασιών της αναερόβιας γλυκόλυσης.

Σχήμα 2.2. Η απαίτηση οξυγόνου, η πρόσληψη οξυγόνου και το έλλειμμα που δημιουργείται κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενης άσκησης μέγιστης έντασης.

Σχήμα 2.3. Φάση αρπάγματος (Α) και φάση ξενερώματος (Β)

Σχήμα 3.1. Η γραμμική σχέση ισχύος – πρόσληψης οξυγόνου που προέκυψε από τις υπομέγιστες δοκιμασίες για έναν τυχαίο δοκιμαζόμενο.

Σχήμα 3.2. Στο σχήμα αυτό εμφανίζεται το πρωτόκολλο άσκησης, στο οποίο ο συνολικός χρόνος άσκησης και ο συνολικός χρόνος διαλείμματος είναι ίσοι και για τις δύο προσπάθειες.

Σχήμα 3.3. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού του ελλείμματος οξυγόνου και της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών.

Σχήμα 4.1. Η καμπύλη της πρόσληψης οξυγόνου για όλους τους δοκιμαζόμενους κατά τη διάρκεια του τεστ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.

Σχήμα 4.2. Η σχέση ισχύος – πρόσληψης οξυγόνου και η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος για τον κάθε δοκιμαζόμενο.

Σχήμα 4.3. Η μέση απόσταση που καλύφθηκε σε κάθε προσπάθεια και για τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.

Σχήμα 4.4. Η μέση ισχύς σε κάθε προσπάθεια και για τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.

Σχήμα 4.5. Η μέγιστη ισχύς σε κάθε προσπάθεια και για τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.

Σχήμα 4.6. Η πρόσληψη οξυγόνου των δοκιμαζόμενων κατά τη διάρκεια της άσκησης και της αποκατάστασης.

Σχήμα 4.7. Η απαίτηση και η πραγματική πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης για τη συνθήκη των μονολέπτων. Ο χώρος ανάμεσα στις δύο καμπύλες είναι το έλλειμμα οξυγόνου που δημιουργείται.

Σχήμα 4.8. Η απαίτηση και η πραγματική πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης για τη συνθήκη των διλέπτων. Ο χώρος ανάμεσα στις δύο καμπύλες είναι το έλλειμμα οξυγόνου που δημιουργείται.

Σχήμα 4.9. Η σχετική συμμετοχή των μηχανισμών παραγωγής ενέργειας κατά τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες και στις δύο συνθήκες.

Σχήμα 4.10. Η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας κατά τα δίλεπτα εκφρασμένα ως δύο μονόλεπτά.

Σχήμα 4.11. Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο τέλος κάθε προσπάθειας για τα μονόλεπτα. Για τα δίλεπτα υπάρχουν δύο τιμές για κάθε προσπάθεια, μία στο τέλος της προσπάθειας και μία στο 2^ο λεπτό του διαλείμματος.

Σχήμα 4.12. Ο ρυθμός παραγωγής γαλακτικού οξέος κατά την άσκηση και κατά τα 3'30'' της αποκατάστασης.

Σχήμα 4.13. Οι τιμές του αιματοκρίτη κατά την ηρεμία και στο τέλος της άσκησης.

Σχήμα 4.14. Οι τιμές της αιμοσφαιρίνης πριν και στο τέλος της άσκησης.

Σχήμα 4.15. Οι μεταβολές του όγκου πλάσματος πριν και μετά το τέλος της άσκησης.

Σχήμα 4.16. Η αρτηριακή πίεση στην ηρεμία, το τέλος της άσκησης και κατά τα 3'30'' της αποκατάστασης.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Εκτίμηση της συνεισφοράς του αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας (%) σε διαδοχικές φάσεις άσκησης διαφορετικού τύπου και έντασης.

Πίνακας 2.2. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά και μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου αθλητών κωπηλασίας (Shephard, 1998, Bourgois et al, 2001).

Πίνακας 4.1. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και η ισχύς στην οποία επιτεύχθηκε για τον κάθε δοκιμαζόμενο.

Πίνακας 4.2. Το έλλειμμα οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1 Εντοπισμός του προβλήματος

Στις λιγοστές έρευνες που έχουν γίνει ως τώρα στην κωπηλασία με σκοπό τον προσδιορισμό της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών, χρησιμοποιήθηκαν δοκιμασίες των 2000 μέτρων (m) ή των 6 λεπτών (min). Ο Hagerman και συνεργάτες (1978) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του χρέους οξυγόνου, προσδιόρισαν το ποσοστό συμμετοχής του αναερόβιου μηχανισμού, το οποίο ήταν 30%, κατά τη διάρκεια μέγιστης δοκιμασίας 6 λεπτών. Η μέθοδος αυτή όμως, δε θεωρείται ως η πλέον αξιόπιστη καθώς τείνει να υπερεκτιμά τη συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού. Σε νεότερη έρευνα, ο Russell και συνεργάτες (1998) αναφέρουν ότι η συνεισφορά του αναερόβιου μεταβολισμού κατά τη δοκιμασία των 2000 μέτρων είναι 16% σε νεαρούς κωπηλάτες. Επίσης, ο Pripstein και συνεργάτες (1999) υπολόγισαν τη σχετική συμμετοχή του αερόβιου και αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας σε γυναίκες, κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης, μέσω της μεθόδου του ελλείμματος οξυγόνου. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν πως η αναερόβια συνεισφορά στην παραγωγή ενέργειας κατά το τεστ των 2000 m ήταν 12%.

Συχνά στην προπόνηση της κωπηλασίας χρησιμοποιούνται αποστάσεις μικρότερες της αγωνιστικής και ειδικά κατά την αγωνιστική περίοδο (Secher, 1993). Σε αυτή την περίοδο ο στόχος της προπόνησης είναι η βελτίωση της ειδικής αντοχής και επιτυγχάνεται μέσω της διαλειμματικής προπόνησης (Nielsen, 2001). Ένας τύπος διαλειμματικής προπόνησης είναι η

«προπόνηση ταχύτητας» που περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενα διαστήματα μέγιστης έντασης με σύντομο διάλειμμα. Μια εκδοχή της διαλειμματικής προπόνησης που προτείνεται και από την Παγκόσμια Κωπηλατική Ομοσπονδία, κατά την αγωνιστική περίοδο, περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενες προσπάθειες των 500 ή 1000 m με μέγιστη ένταση και διάλειμμα 2 – 4 min, με συχνότητα 3 έως 4 φορές την εβδομάδα (Nielsen, 2001). Για την ολοκλήρωση μιας μέγιστης δοκιμασίας 500 ή 1000 m χρειάζονται περίπου 80-90 ή 180-200 δευτερόλεπτα (sec), αντίστοιχα, οπότε είναι αναμενόμενο πως η συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού θα είναι μεγάλη. Από αντίστοιχες έρευνες που έχουν γίνει σε διαφορετικά αθλήματα, έχει βρεθεί πως η σχετική συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού είναι περίπου 55% και 30% για δοκιμασίες των 90 και 180 sec, αντίστοιχα (Medbo and Tabata, 1993; Gustin et al, 1995, 2001). Σύμφωνα με όσα γνωρίζουμε δεν υπάρχουν έρευνες που να έχουν υπολογίσει τη σχετική συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών σε αποστάσεις ή χρονικές διάρκειες μικρότερες της αγωνιστικής (2000 m ή 6 – 7 min) στην κωπηλασία, ιδιαίτερα όταν οι προσπάθειες αυτές επαναλαμβάνονται.

1.2 Σκοπός της έρευνας

Κύριος σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η σύγκριση της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη διάρκεια δύο διαφορετικών πρωτοκόλλων, επαναλαμβανόμενων μέγιστων προσπάθειών μικρής διάρκειας στο κωπηλατοεργόμετρο. Τα δύο πρωτόκολλα θα περιλαμβάνουν

προσπάθειες διαφορετικής διάρκειας άσκησης και διαλείμματος το καθένα, αλλά θα έχουν την ίδια συνολική διάρκεια άσκησης και διαλείμματος (15 λεπτά άσκησης και 7 λεπτά διαλείμματος).

1.3 Σημασία της έρευνας

Τα αποτελέσματα της έρευνας θα δώσουν πληροφορίες για τη σχετική συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη διαλειμματική άσκηση μέγιστης έντασης. Οι πληροφορίες αυτές θα έχουν μεγάλη πρακτική χρησιμότητα στην προπόνηση της κωπηλασίας.

1.4 Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων

1.4.1 Ερευνητικές υποθέσεις

Οι ερευνητικές υποθέσεις είναι οι εξής:

- 1) Η πρόσληψη οξυγόνου και η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού θα είναι μεγαλύτερη στις προσπάθειες των 2 λεπτών σε σχέση με τις προσπάθειες του 1 λεπτού.
- 2) Η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού θα αυξάνεται με την πάροδο των προσπαθειών και η αύξηση αυτή θα είναι εντονότερη κατά τις προσπάθειες των 2 λεπτών.
- 3) Η πτώση της ισχύος θα είναι μεγαλύτερη κατά τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες του 1 λεπτού σε σχέση με τις προσπάθειες των 2 λεπτών.

1.4.2 Μεταβλητές

Ως ανεξάρτητες μεταβλητές ορίστηκαν η διάρκεια της άσκησης (1'

και 2' λεπτά) και η διάρκεια του διαλείμματος (1' και 2'20'' λεπτά).

Ως εξαρτημένες μεταβλητές ορίστηκαν τα εξής μεγέθη: η μέση και μέγιστη ισχύς, η διανυθείσα απόσταση, οι αναπνευστικές παράμετροι, η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος, η μέση και μέγιστη καρδιακή συχνότητα.

1.5 Οριοθετήσεις και περιορισμοί

1.5.1 Οριοθετήσεις

Οριοθέτηση αποτελεί η ηλικία των δοκιμαζόμενων καθώς πρόκειται για κωπηλάτες της κατηγορίας Senior A (> 22 ετών) και το φύλο τους (άρρεν). Επίσης, οριοθέτηση αποτελεί και η κωπηλατική τους εμπειρία (> 4 ετών).

1.5.2 Περιορισμοί

Περιορισμό στην έρευνα αποτελεί το γεγονός ότι όλοι οι δοκιμαζόμενοι προέρχονται από ναυτικούς ομίλους του κέντρου (Αθηνών - Πειραιώς). Επίσης, περιορισμό αποτελεί και ο τρόπος προσδιορισμού της αναερόβιας ικανότητας των δοκιμαζόμενων μέσω του ελλείμματος οξυγόνου, καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα λήψης μυϊκής βιοψίας.

1.6 Διευκρίνιση όρων

Άρπαγμα: η φάση εισόδου των κουπιών στο νερό

Τράβηγμα: η φάση προώθησης της βάρκας μέσου των κουπιών που βρίσκονται μέσα στο νερό

Ξενέρωμα: η φάση εξόδου των κουπιών από το νερό

Κύκλος κουπιάς: το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο φάσεις αρπάγματος

Σκιφ: τύπος λέμβου όπου ο κωπηλάτης κρατάει σε κάθε χέρι ένα κουπί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

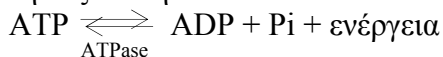
Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

2.1 Ενεργειακοί μηχανισμοί

Η ενέργεια για την οποιαδήποτε άσκηση προέρχεται από τη διάσπαση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Τα αποθέματα ATP στους μύες είναι περιορισμένα και θα μπορούσαν να εξαντληθούν μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα έντονης δραστηριότητας. Όμως, η ικανότητα του ανθρώπινου οργανισμού για παραγωγή έργου είναι μεγάλη, διότι με την έναρξη της άσκησης ξεκινά η διαδικασία της ανασύνθεσής της ATP από τα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Τα συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι τρία και λειτουργούν ταυτόχρονα, αλλά με διαφορετικό ποσοστό συμμετοχής το καθένα: φωσφοκρεατίνη, αναερόβια γλυκόλυση, αερόβιος μεταβολισμός.

2.1.1 Τριφωσφορική αδενοσίνη

Η τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) είναι η ενεργειακή πηγή για όλες τις μυϊκές συστολές. Η ενέργεια για την παραγωγή μυϊκού έργου προέρχεται από την υδρόλυση του ATP, σύμφωνα με την εξίσωση:



όπου ADP είναι διφωσφορική αδενοσίνη και P_i ανόργανο φωσφορικό. Τα αποθέματα ATP στους μύς είναι 20-25 mmol / κιλό ξηρού μύος (Glaister, 2005; Bogdanis et al, 1998; Gaitanos et al, 1993). Ο ρυθμός κατανάλωσης του ATP κατά τη μέγιστη άσκηση είναι περίπου 15 mmol / κιλό ξηρού μύος / δευτερόλεπτο, με αποτέλεσμα τα μυϊκά αποθέματα ATP να επαρκούν για 1 - 2 sec (Glaister, 2005; Bogdanis et al, 1998; Gaitanos et al, 1993). Καθώς οι αποθήκες του ATP αδειάζουν, για να μπορέσει να συνεχιστεί η μυϊκή συστολή, το ATP πρέπει να

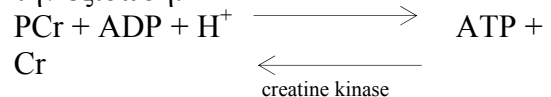
ανασυντεθεί. Η ανασύνθεση του ATP μπορεί να γίνει μέσα από αναερόβιες (δεν απαιτείται οξυγόνο) ή αερόβιες (απαιτείται οξυγόνο) διεργασίες. Η κύρια ενεργειακή πηγή για την ανασύσταση του ATP κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας εξαρτάται κυρίως από την ένταση των μυϊκών συστολών.

2.1.2. Αναερόβιος μεταβολισμός

Οι δύο κύριες αναερόβιες πηγές ανασύνθεσης του ATP είναι η διάσπαση της φωσφοκρεατίνης και η αναερόβια γλυκόλυση.

2.1.2.1. Φωσφοκρεατίνη

Η φωσφοκρεατίνη (PCr) είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη διάρκεια εκρηκτικών δραστηριοτήτων όπου απαιτείται υψηλός ρυθμός παραγωγής ενέργειας. Η επανασύνθεση του ATP γίνεται μέσα από την αντίδραση της PCr και του ADP που καταλύεται από το ένζυμο κρεατινική κινάση, σύμφωνα με την εξίσωση:

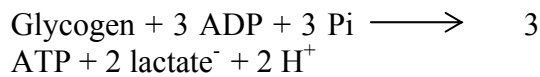


Τα ενδομυϊκά αποθέματα PCr αντιστοιχούν σε περίπου 80 mmol / κιλό ξηρού μύος (Bangsbo et al, 2001; Bogdanis et al, 1996b). Κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης τα αποθέματα της PCr μειώνονται εκθετικά με μέγιστο ρυθμό περίπου 9 mmol / κιλό ξηρού μύος / δευτερόλεπτο (Glaister, 2005), με αποτέλεσμα να εξαντλούνται μέσα σε 10-30 sec. Η ενέργεια που προέρχεται από τις αποθήκες του ATP και της PCr, δηλαδή από τον αναερόβιο αγαλακτικό μηχανισμό, έχει υπολογιστεί ότι αποτελεί το 20-30 % της συνολικής αναερόβιας παραγωγής ενέργειας κατά την έντονη άσκηση διάρκειας 2 - 3 min

(Bangsbo et al, 1993; Medbo & Tabata, 1988).

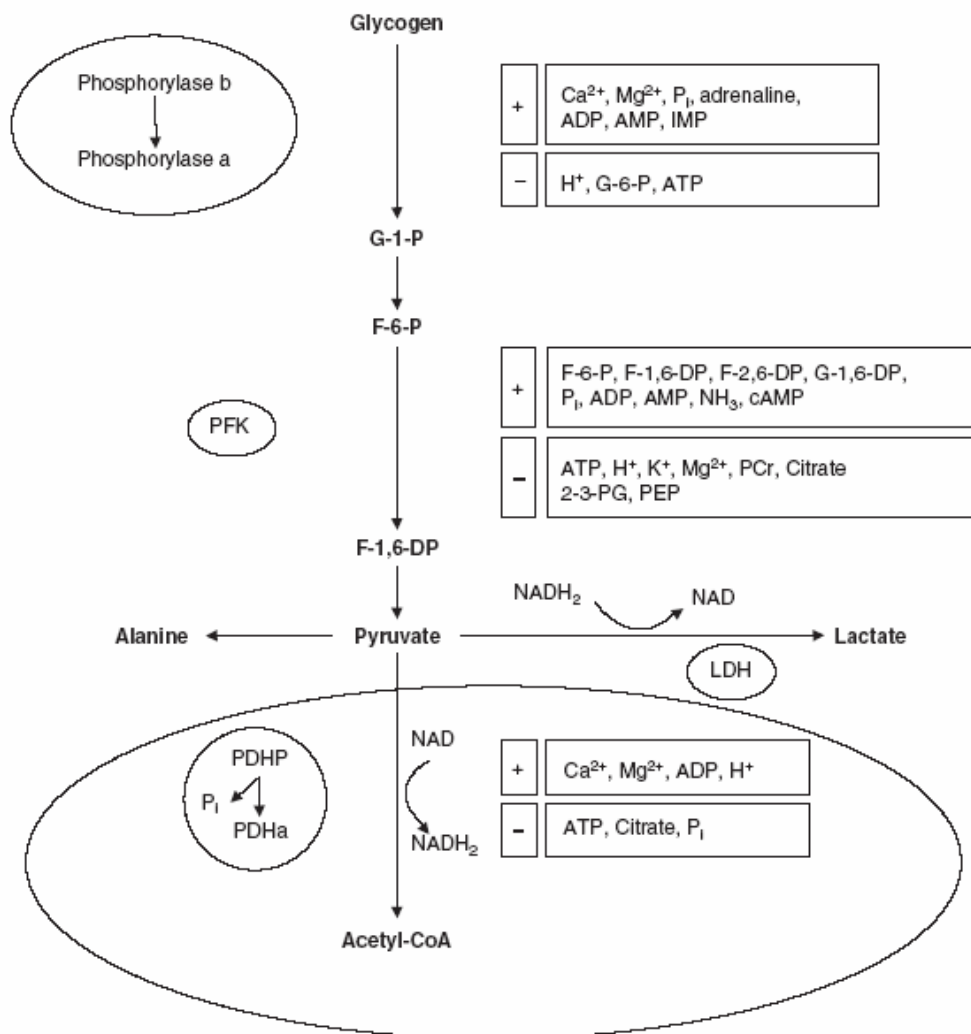
2.1.2.2. Αναερόβια γλυκόλυση

Η αναερόβια γλυκόλυση περιλαμβάνει τη διάσπαση της γλυκόζης και του μυϊκού γλυκογόνου σε ATP και πυροσταφυλικό οξύ, το οποίο απουσία οξυγόνου, μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ (σχήμα 1):



Η παραγωγή ATP μέσω της αναερόβιας γλυκόλυσης ενεργοποιείται ταχύτατα

στο ξεκίνημα της άσκησης και έχει μέγιστο ρυθμό παραγωγής ATP 6 - 9 mmol / κιλό ξηρού μύος / δευτερόλεπτο μετά τα πρώτα 5 sec της άσκησης (Gastin, 2001). Εντούτοις, η συσσώρευση γαλακτικού οξέος και άλλων μεταβολικών προϊόντων μπορούν να αποτελέσουν περιοριστικό παράγοντα. Άσκηση υψηλής έντασης και διάρκειας 1 - 3 λεπτά βασίζεται κύρια στην αναερόβια γλυκόλυση, με αποτέλεσμα τη μεγάλη συσσώρευση γαλακτικού οξέος (Duffield et al, 2005; Hill, 1999).



Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση των αναερόβιων μεταβολικών διεργασιών της αναερόβιας γλυκόλυσης.

2.1.2.3. Κόπωση κατά τη μέγιστη άσκηση

Κόπωση είναι η μείωση στην ικανότητα απόδοσης των μυών, η οποία γίνεται αντιληπτή ως αδυναμία διατήρησης ή ανάπτυξης της αναμενόμενης ή απαιτούμενης δύναμης ή ισχύος (Gastin, 2001). Οι αιτίες της κόπωσης μπορεί να πηγάζουν από κεντρικούς ή περιφερικούς παράγοντες. Οποιοσδήποτε κρίκος της αλυσίδας από τα κινητικά κέντρα του εγκεφάλου μέχρι τα συστατικά στοιχεία μιας μυϊκής ίνας μπορεί να ευθύνεται για την κόπωση.

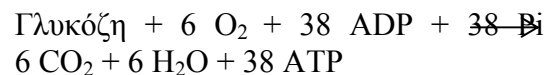
Η τοπική μυϊκή κόπωση ορίζεται σαν μείωση της ικανότητας παραγωγής δύναμης ενός μυός ως αποτέλεσμα της άσκησης. Η περιφερική κόπωση μπορεί να εμφανιστεί στη νευρομυϊκή σύναψη, το σαρκείλημα και τα συστατικά στοιχεία, ενώ πιθανές αιτίες εμφάνισής της περιλαμβάνουν τη σύζευξη διέγερσης-συστολής, τη συσσώρευση μεταβολικών προϊόντων και την εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων (Schillings et al, 2003).

Εκτός από τους περιφερικούς παράγοντες, οι αιτίες της μειωμένης παραγωγής δύναμης κατά τη μέγιστη άσκηση μπορεί να προέρχονται από το κεντρικό νευρικό σύστημα. Αυτή η κεντρική κόπωση πηγάζει από δομές που βρίσκονται πάνω από τη νευρομυϊκή σύναψη.

2.1.3 Αερόβιος μεταβολισμός

Ο αερόβιος μηχανισμός παραγωγής ενέργειας ή αλλιώς, αερόβιος μεταβολισμός λαμβάνει χώρα μέσα στο μιτοχόνδριο, παρουσία οξυγόνου. Εκεί συντελούνται δύο βασικές αερόβιες διεργασίες: ο κύκλος του κιτρικού οξέος (κύκλος του Krebs) και η οξειδωτική φωσφορυλίωση. Πιο συγκεκριμένα, όταν υπάρχει επάρκεια οξυγόνου το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται σε ακετυλο-συνένζυμο Α και εισέρχεται στον κύκλο του Krebs, όπου οξειδώνεται

σε διοξειδίο του άνθρακα και νερό. Δύο περιστροφές του κύκλου απαιτούν 6 μόρια νερού και 2 μόρια ADP, ενώ παράγουν 4 μόρια διοξειδίου του άνθρακα, 2 ATP και 8 ζεύγη ιόντων υδρογόνου. Η μεταφορά των υδρογόνων στο οξυγόνο γίνεται από την τελική κοινή οξειδωτική οδό που ονομάζεται οξειδωτική φωσφορυλίωση. Το σημαντικό χαρακτηριστικό της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης είναι ότι για κάθε ζευγάρι ιόντων υδρογόνου που μεταφέρεται στο οξυγόνο, τρία μόρια ATP φωσφορυλιώνονται και σχηματίζουν αντίστοιχο αριθμό ATP μορίων, δεσμεύοντας έτσι μεγάλα ποσά ενέργειας. Συνοψίζοντας, η ολική παραγωγή ενέργειας μέσω του αερόβιου μεταβολισμού της γλυκόζης, μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση:



Επομένως, πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ATP παράγεται με τη μορφή της πλήρους οξείδωσης της γλυκόζης παρά με την αναερόβια γλυκόλυση. Όμως, η παραγωγή του ATP στο μιτοχόνδριο γίνεται με ρυθμό πολύ αργότερο από αυτόν με τον οποίο παράγεται μέσα στο σαρκόπλασμα μέσω των αναερόβιων οδών της διάσπασης της φωσφοκρεατίνης και της γλυκόλυσης. Οπότε, η σπουδαιότητα του αναερόβιου μεταβολισμού έγκειται στο ότι προμηθεύει το μυϊκό κύτταρο με ενέργεια σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια άσκησης υψηλής έντασης.

2.1.3.1 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_{2\text{max}}$)

Ως μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ονομάζουμε τον ανώτατο όγκο οξυγόνου που μπορούν να καταναλώσουν οι ιστοί στη μονάδα του χρόνου. Η $\text{VO}_{2\text{max}}$ αποτελεί τον καλύτερο δείκτη της

αερόβιας ικανότητας παραγωγής ενέργειας καθώς αποτελεί συνισταμένη πολλών βιολογικών προσαρμογών όπως αναπνευστικών, καρδιαγγειακών και μεταβολικών. Η $\text{VO}_{2\text{max}}$ είναι το γινόμενο της καρδιακής παροχής επί την αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου.

πρόσληψη οξυγόνου = καρδιακή παροχή x αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου

Η πρόσληψη οξυγόνου εκφράζεται σε λίτρα ανά λεπτό (L / min). Επειδή όμως η σχέση ανάμεσα σε αυτήν και το σωματικό βάρος είναι αναλογική, δηλαδή ένα άτομο μεγαλόσωμο καταναλώνει περισσότερο οξυγόνο από ένα μικρόσωμο για το ίδιο μυϊκό έργο, είναι προτιμότερο να εκφράζεται σε χιλιοστόλιτρα ανά κιλό σωματικού βάρους ανά λεπτό (ml / kg / min). Η $\text{VO}_{2\text{max}}$ παίζει προσδιοριστικό ρόλο σε αθλήματα αντοχής όπως είναι οι δρόμοι αντοχής, η κωπηλασία, η ποδηλασία. Οι αθλητές των αθλημάτων αυτών έχουν $\text{VO}_{2\text{max}}$ που ξεπερνά τα 70 ml / kg / min (Bangsbo et al, 1993; Hagerman, 1984).

Ο προσδιορισμός της $\text{VO}_{2\text{max}}$ γίνεται συνήθως σε δαπεδοεργόμετρο ή σε κυκλοεργόμετρο. Το πρωτόκολλο μέτρησης της $\text{VO}_{2\text{max}}$ περιλαμβάνει άσκηση αυξανόμενης έντασης με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης τιμής και την εμφάνιση πλατό, δηλαδή την σταθεροποίηση της πρόσληψης οξυγόνου ανεξάρτητα με τη συνέχιση της προσπάθειας. Στην περίπτωση που ο δοκιμαζόμενος είναι αθλητής θα πρέπει η μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου να γίνεται σε ανάλογο εργόμετρο που να προσομοιάζει το κινητικό πρότυπο εκτέλεσης της τεχνικής του αθλήματός του. Σε έρευνες των Yoshiga και Higuchi (2002, 2003) σε κωπηλάτες, βρέθηκε ότι ο πνευμονικός αερισμός και η $\text{VO}_{2\text{max}}$ ήταν χαμηλότερα κατά το τρέξιμο σε σχέση με την κωπηλασία

(147 ± 13 L / min, 4.35 ± 0.4 L / min και 157 ± 16 L / min, 4.50 ± 0.5 L / min, αντίστοιχα).

2.1.3.2 Κινητική οξυγόνου

Ο ρυθμός της κινητικής του οξυγόνου στο ξεκίνημα της άσκησης αντικατοπτρίζει την προσαρμογή των συστημάτων μεταφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου στις απαιτήσεις της άσκησης (Xu & Rhodes, 1999). Η απόκριση της πρόσληψης οξυγόνου χαρακτηρίζεται από μια διαδικασία τριών φάσεων (Hebestreit et al, 2005; Korpo et al, 2004; Pringle et al, 2003). Η φάση I, διαρκεί 15-25 sec και είναι η αρχική «καρδιοδυναμική» φάση, όπου η πρόσληψη οξυγόνου αυξάνεται απότομα ως αποτέλεσμα της αύξησης της καρδιακής παροχής και της αιματικής ροής στους πνεύμονες στο ξεκίνημα της άσκησης. Η φάση II, χαρακτηρίζεται από επιπλέον αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου, καθώς η φλεβική επαναφορά συνεχίζει να αυξάνεται και περισσότερο οξυγόνο αποδεσμεύεται στους λειτουργούντες μυς. Σε ασκήσεις ήπιας έντασης (< αναερόβιο κατώφλι), η φάση II μπορεί να περιγραφεί ως μια μονο-εκθετική καμπύλη. Η φάση III είναι η φάση σταθεροποίησης. Όταν η ένταση της άσκησης είναι ήπια, η πρόσληψη οξυγόνου φτάνει σε σταθερή τιμή. Όταν, όμως, η ένταση της άσκησης είναι υψηλή (> αναερόβιο κατώφλι), μια δεύτερη μονοεκθετική καμπύλη αναπτύσσεται μερικά λεπτά μετά το ξεκίνημα της άσκησης (Whipp, 1994; Barstow, 1991). Ονομάζεται αργή συνιστώσα (slow component) και ανάλογα με την ένταση της άσκησης είτε καθυστερεί την επίτευξη πλατό στην πρόσληψη οξυγόνου είτε την οδηγεί σε μέγιστα επίπεδα. Όταν η άσκηση είναι υπερμέγιστη (> $\text{VO}_{2\text{max}}$), τότε η πρόσληψη οξυγόνου συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι να φτάσει σε μέγιστη

τιμή ή να επέλθει η κόπωση (Xu & Rhodes, 1999).

Η εμφάνιση της αργής συνιστώσας σχετίζεται στενά με την έναρξη της συσσώρευσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η συσσώρευση του γαλακτικού οξέος τόσο μεγαλύτερο είναι και το εύρος της αργής συνιστώσας (Barstow et al, 1993; Casaburi et al, 1989). Το εύρος της αργής συνιστώσας εξαρτάται επίσης και από τη διάρκεια της άσκησης. Οι πιθανές αιτίες αυτής της αυξημένης απαίτησης σε οξυγόνο κατά τη διάρκεια της έντονης άσκησης είναι πολλές: η αύξηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος, η αύξηση των επιπέδων της επινεφρίνης στο πλάσμα, το αυξημένο αναπνευστικό έργο, η αύξηση της θερμοκρασίας σώματος καθώς και η επιστράτευση των μυϊκών ινών τύπου IIb (Zoladz & Korzeniewski, 2001).

Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την κινητική του οξυγόνου κατά την έναρξη της άσκησης είναι η φυσική κατάσταση και η ηλικία. Όσον αφορά στο μηχανισμό ελέγχου της κινητικής του οξυγόνου στο ξεκίνημα της άσκησης υπάρχουν δύο θεωρίες. Η μια θεωρία υποστηρίζει ότι ο ρυθμός της αύξησης της πρόσληψης οξυγόνου κατά την έναρξη της άσκησης περιορίζεται από την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου στους λειτουργούντες μύες. Αντίθετα, η δεύτερη θεωρία υποστηρίζει πως ο περιοριστικός παράγοντας στην αρχική αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου είναι η αδυναμία των μυών να καταναλώσουν το προσφερόμενο οξυγόνο (Xu & Rhodes, 1999).

2.1.3.3 Αερόβια παραγωγή ενέργειας σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες

Στο ξεκίνημα έντονης άσκησης υπάρχει μια καθυστέρηση στην πρόσληψη οξυγόνου από τους λειτουργούντες μύς. Σύμφωνα με τον

Bangsbo και συνεργάτες (2001), η αερόβια παραγωγή ενέργειας στα πρώτα 5 sec μιας μέγιστης δοκιμασίας 3 min ήταν 0.7 mmol ATP / κιλό ξηρού μύος / δευτερόλεπτο. Μπορεί η συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού σε ένα μόνο σπριντ να είναι πολύ μικρή, όμως καθώς τα σπριντ επαναλαμβάνονται η συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού στην παραγωγή ενέργειας αυξάνεται λόγω της αυξημένης και πιθανώς επιταχυνόμενης κινητικής του οξυγόνου (Glaister, 2005; Bogdanis et al, 1996a). Κατά τη διάρκεια της αποκατάστασης ύστερα από ένα σπριντ μέγιστης έντασης, η πρόσληψη οξυγόνου παραμένει αυξημένη για ορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να αποκαταστήσει το μεταβολικό περιβάλλον του μύος μέσα από διεργασίες όπως η τροφοδότηση των αποθηκών της αιμοσφαιρίνης, η επανασύνθεση της PCr, ο μεταβολισμός του γαλακτικού οξέος και η απομάκρυνση των συσσωρευμένων στο μυϊκό κύτταρο φωσφορικών ιόντων. Επομένως, αν τα ακόλουθα σπριντ πραγματοποιηθούν πριν να επανέλθει η πρόσληψη οξυγόνου στα επίπεδα ηρεμίας, τότε η πρόσληψη οξυγόνου θα αυξηθεί περαιτέρω. Το 1996(a) ο Bogdanis και συνεργάτες μελέτησαν τη συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού σε επαναλαμβανόμενες μέγιστες προσπάθειες. Πραγματοποίησαν δύο σπριντ των 30 sec με 4 min διάλειμμα. Μέσα από μυοβιοψίες οι ερευνητές υπολόγισαν την ανασύνθεση του ATP από αναερόβιες πηγές και διαπίστωσαν ότι μειώθηκε κατά 41% μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σπριντ, ενώ η παραγόμενη ισχύς μειώθηκε μόλις κατά 18%. Όμως, η συνεισφορά του αερόβιου μηχανισμού αυξήθηκε κατά το δεύτερο σπριντ, όπως φάνηκε από την αύξηση στην πρόσληψη οξυγόνου (2.68 L / min στο πρώτο σπριντ και 3.17 L / min στο δεύτερο σπριντ). Μάλιστα η πρόσληψη

οξυγόνου κατά τα 20 τελευταία δευτερόλεπτα του δεύτερου σπριντ έφτασε στο 85% της μέγιστης τιμής της (3.76 L/ min). Από αυτό φαίνεται η σημαντική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού σε επαναλαμβανόμενες μέγιστες προσπάθειες.

2.2 Αλληλεπίδραση των ενεργειακών μηχανισμών

Η διάσπαση των αποθηκευμένων φωσφορικών, του ATP και της φωσφοκρεατίνης, μαζί με την αναερόβια καύση των υδατανθράκων αποτελούν το αναερόβιο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Το σύστημα αυτό έχει την ικανότητα να αναπληρώνει το ATP με γρήγορο ρυθμό, με αποτέλεσμα να παράγεται μεγάλη ισχύς. Η ικανότητά του όμως αυτή είναι περιορισμένη. Η γρήγορη μείωση της αποθηκευμένης φωσφοκρεατίνης σε συνδυασμό με τη συσσώρευση του γαλακτικού οξέος και την πτώση του pH, προκαλούν είτε το σταμάτημα της άσκησης είτε την έντονη μείωση στην παραγωγή ισχύος. Αντίθετα, ο αερόβιος μηχανισμός είναι ικανός να παράγει εξαιρετικά μεγάλα ποσά ενέργειας, σε πιο αργούς, όμως, ρυθμούς. Ο αερόβιος μηχανισμός περιορίζεται, από τα όρια της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης καθώς και από το αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα που είναι υπεύθυνα για την παροχή οξυγόνου στους λειτουργούντες μυς (Gastin, 2001).

Προσπάθειες για να ερευνηθεί η αλληλεπίδραση και η σχετική συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης πρωτοξεκίνησαν από το 1960 - 1970 (Hagerman et al, 1978; Fox et al, 1969; Astrand & Saltin, 1961). Οι έρευνες αυτές στήριξαν τους υπολογισμούς τους σε μεθόδους που σήμερα αμφισβητούνται. Λόγω της συχνής αναπαραγωγής τους όλα αυτά τα

χρόνια, οι έρευνες αυτές οδήγησαν σε δύο λανθασμένα συμπεράσματα όσον αφορά στην ενεργοποίηση των ενεργειακών μηχανισμών. Πρώτον, ότι συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών στην παραγωγή του μυϊκού έργου γίνεται με χρονική αλληλουχία και δεύτερον, ότι ο αερόβιος μηχανισμός ανταποκρίνεται με καθυστέρηση στις ενεργειακές απαιτήσεις γι' αυτό και η συμμετοχή του σε έντονες προσπάθειες μικρής χρονικής διάρκειας είναι περιορισμένη (Gastin, 2001). Σήμερα, ύστερα από πιο πρόσφατες έρευνες, δεχόμαστε πως όλοι οι ενεργειακοί μηχανισμοί μπορούν να συμμετέχουν ταυτόχρονα στην παραγωγή μυϊκής ενέργειας, η σχετική τους όμως συμβολή εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης (Duffield et al, 2005; Spencer & Gastin, 2001; Withers et al, 1993, 1991). Η διάρκεια της μέγιστης άσκησης κατά την οποία οι δύο κύριοι μηχανισμοί παραγωγής ενέργειας (αερόβιος και αναερόβιος) συνεισφέρουν σε ίσα ποσοστά, είναι ανάμεσα στο 1 και στα 2 λεπτά (Duffield et al, 2005; Hill, 1999; Withers et al, 1993, 1991).

Η αλληλεπίδραση και συνεισφορά των ενεργειακών συστημάτων εξαρτάται και από τον τύπο της άσκησης. Σε έρευνες που έχουν γίνει κατά τη διάρκεια τρεξίματος μεσαίων αποστάσεων έχει βρεθεί πως η αερόβια συνεισφορά σε προσομοίωση αγώνα 400 μέτρων (χρονική διάρκεια $\approx$ 49 - 52 sec) κυμαίνεται μεταξύ 37 - 43%, ενώ για τις αποστάσεις των 800 και 1500 μέτρων (χρονική διάρκεια $\approx$ 113 - 126 και 235 - 245 sec, αντίστοιχα) έχει βρεθεί πως η αερόβια συνεισφορά κυμαίνεται μεταξύ 60 - 66 % και 80 - 84 %, αντίστοιχα (Duffield et al, 2005; Spencer & Gastin, 2001; Hill, 1999).

Σε έρευνες που έχουν γίνει κατά την ποδηλάτηση σε κυκλοεργόμετρο, η συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού

σε προσπάθειες του 1 min κυμαίνεται από 47 - 51 % ενώ για προσπάθειες των 90 sec κυμαίνεται μεταξύ 57 - 64 % (Gastin et al, 1995; Withers et al, 1993, 1991). Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται η εκτιμώμενη συνεισφορά του αερόβιου

μηχανισμού σε 90 sec μέγιστης ποδηλάτησης, 800 και 1500 m τρεξίματος, ποδηλασίας μέχρι εξάντλησης με ένταση 110 % της $\text{VO}_{2\text{max}}$ και έκταση του γόνατος στα 65 W.

Πίνακας 2.1 Εκτίμηση της συνεισφοράς του αερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας (%) σε διαδοχικές φάσεις άσκησης διαφορετικού τύπου και έντασης.

Διάρκεια της άσκησης (sec)	90 s all-out ποδηλασία (Gastin & Laurson, 1994)	800 m τρέξιμο (Spencer & Gastin, 2001)	1500 m τρέξιμο (Spencer & Gastin, 2001)	110% $\text{VO}_{2\text{max}}$ ποδηλασία (Gastin et al, 1995)	Έκταση γόνατος με ένα πόδι στα 65 W (Bangsbo et al, 1990)
Μέθοδος υπολογισμού	Έλλειμμα οξυγόνου	Έλλειμμα οξυγόνου	Έλλειμμα οξυγόνου	Έλλειμμα οξυγόνου	Έλλειμμα οξυγόνου
0-30	30	41	57	35	20
30-60	73	73	84	66	44
60-90	91	76	87	76	57
90-120		76	88	81	62
120-150			89	85	70
150-180			89	89	70

2.3 Μέθοδοι υπολογισμού της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη μέγιστη άσκηση

2.3.1 Άμεσες μέθοδοι

Οι άμεσες μέθοδοι για τον υπολογισμό της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης, περιλαμβάνουν τη μυϊκή βιοψία και τη μαγνητική τομογραφία (MRS).

2.3.1.1 Μυϊκή βιοψία

Για να ποσοτικοποιηθεί άμεσα η αναερόβια παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια έντονης δυναμικής άσκησης, γίνονται μυϊκές βιοψίες πριν και μετά την άσκηση. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της μείωσης της μυϊκής φωσφοκρεατίνης (CP) και της

τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), καθώς επίσης και στη μέτρηση της συγκέντρωσης μεταβολικών προϊόντων όπως του πυροσταφυλικού και του γαλακτικού οξέος, για να υπολογιστεί η αναερόβια παραγωγή ενέργειας στο μυ στον οποίο έγινε η βιοψία. Για εξαντλητική άσκηση διάρκειας 2 - 3 min οι Medbo και Tabata (1993) υπολόγισαν την αναερόβια παραγωγή ενέργειας σε 234 mmol ATP / kg ξηρού μύος. Επίσης, σε έρευνες όπου μετρήθηκε η αναερόβια παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια υπερμέγιστης άσκησης 30 sec βρέθηκε ότι η αναερόβια παραγωγή ενέργειας ήταν 235 ± 9 mmol / κιλό ξηρού μύος (Bogdanis et al, 1996a,b).

Από μετρήσεις βασιζόμενες σε μυϊκές βιοψίες είναι δύσκολο να καθοριστεί η συνολική αναερόβια

παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια ασκήσεων που ενεργοποιούν όλο το σώμα όπως είναι το τρέξιμο, η ποδηλασία, η κωπηλασία, εφόσον η μάζα και η δραστηριότητα των λειτουργούντων μυών είναι άγνωστες και η μεταβολική απάντηση του μυ στον οποίο έγινε η βιοψία μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτική όλων των άλλων μυών που λειτουργούν κατά την άσκηση. Επίσης είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια η παραγωγή ενέργειας που σχετίζεται με τη διάχυση του γαλακτικού οξέος από τους λειτουργούντες μυς στο αίμα. Σύμφωνα με υπολογισμούς των Medbo και Tabata (1993) η εκτίμηση της παραγωγής ενέργειας που σχετίζεται με τη διάχυση του γαλακτικού οξέος κυμαίνεται μεταξύ 5 και 38 % της συνολικής αναερόβιας παραγωγής ενέργειας, ανάλογα με τη διάρκεια της άσκησης. Όμως, πρέπει να σημειωθεί πως ακόμα και αυτοί οι υπολογισμοί υποτιμούν την πραγματική διάχυση του γαλακτικού οξέος από τους μυς, καθώς δεν έχουν λάβει υπόψη την ποσότητα που μεταβολίζεται από τους διάφορους ιστούς όπως είναι η καρδιά και οι μυς που δε λειτουργούν. Επομένως, η αναερόβια παραγωγή ενέργειας του μυ στον οποίο έγινε η βιοψία, υποτιμάται.

Η ποσοτικοποίηση της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια δυναμικών ασκήσεων ολόκληρου του σώματος (τρέξιμο, ποδηλασία, κωπηλασία), φαίνεται πως είναι δύσκολη. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο έκτασης του γόνατος (knee-extensor model) στο οποίο η άσκηση περιορίζεται σε έναν απομονωμένο μυ, συγκεκριμένα, στον τετρακέφαλο. Στην έρευνα του Bangsbo και συνεργατών (1990), οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν εξαντλητική άσκηση περίπου 3 min, με ένταση περίπου στο 130 % της VO_{2max} των λειτουργούντων μυών. Μετρήθηκε

η αιματική ροή στα πόδια ενώ κατά τη διάρκεια της άσκησης συλλέγονταν τακτικά δείγματα αρτηριακού και φλεβικού αίματος. Η καθαρή παραγωγή γαλακτικού οξέος από τον τετρακέφαλο μυ, που καθορίστηκε ως η συνολική διάχυση γαλακτικού οξέος από τον τετρακέφαλο μυ (λαμβάνοντας υπόψη πως το γαλακτικό οξύ μεταβολίζεται από τους οπίσθιους μηριαίους και τους προσαγωγούς μυς) και η συγκέντρωσή του, βρέθηκε ότι αντιστοιχούσε σε 280 mmol / κιλό ξηρού μύος. Προσθέτοντας και την ενέργεια που απελευθερώθηκε από τη διάσπαση της CP, τις αλλαγές των νουκλεοτιδίων και τη συγκέντρωση ενδιάμεσων μεταβολικών προϊόντων, η συνολική παραγωγή ενέργειας από αναερόβιες διαδικασίες υπολογίστηκε σε 370 mmol / κιλό ξηρού μύος. Τα ευρήματα αυτά ήταν ελαφρώς υψηλότερα από την προβλεπόμενη αναερόβια παραγωγή ATP των 305 mmol/ κιλό ξηρού μύος από τον τετρακέφαλο μυ μετά από 100 sec διαλειμματικής ηλεκτρικής διέγερσης (Spriet et al, 1987). Η διαφορά που παρατηρείται προφανώς οφείλεται στην απόφραξη της κυκλοφορίας στη δεύτερη έρευνα.

2.3.1.2 Μαγνητική τομογραφία (MRS)

Η μαγνητική τομογραφία (MRS) μπορεί να προσφέρει μια μοναδική εικόνα του μεταβολισμού του μύος *in vivo* και συγκεκριμένα της παραγωγής ATP και της διαχείρισης πρωτονίων. Έτσι, είναι δυνατό να μελετηθεί η λειτουργία των μιτοχονδρίων μέσα από το ρυθμό αλλαγής της συγκέντρωσης της φωσφοκρεατίνης [PCr] κατά την άσκηση και ειδικά κατά την αποκατάσταση μετά την άσκηση. Η MRS έχει πολλές εφαρμογές στη φυσιολογία που βασίζονται κυρίως στην παρατήρηση του ^{31}P , καθώς τα επίπεδα των φωσφορικών ενώσεων φανερώνουν την ενεργειακή κατάσταση των ιστών

και αλλάζουν κατά τη διάρκεια της άσκησης, της κόπωσης, της αποκατάστασης, της υποξίας, της υπερκαπνίας και της αναισθησίας. Εκτός από τον ^{31}P και άλλοι πυρήνες μπορούν να παρατηρηθούν και να έχουν εφαρμογές στην έρευνα όπως ^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F και ^{23}Na . Συγκεκριμένα, η ^{13}C -MRS είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα γιατί επιτρέπει την ανάλυση των μεταβολικών οδών στους ζωντανούς οργανισμούς (Kemp et al, 2007).

Πολλές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση των μεταβολιτών που περιέχουν φώσφορο μέσω της ^{31}P MRS. Ένας τρόπος είναι να εκτιμηθεί η $[\text{PCr}]$ από την αναλογία $[\text{PCr}]/[\text{ATP}]$, στην ουσία χρησιμοποιώντας την $[\text{ATP}]$ σαν εσωτερική σταθερά. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι η διακύμανση της $[\text{ATP}]$ μεταξύ διαφορετικών ατόμων είναι σχετικά μικρή καθώς επίσης στην έλλειψη διαφορών μεταξύ των μυϊκών ινών τύπου I και II. Ένας άλλος τρόπος είναι η χρησιμοποίηση του νερού που βρίσκεται στους ιστούς σαν εσωτερική σταθερά, με τη χρήση της ^1H -MRS (Kemp et al, 2007).

2.3.2 Έμμεσες μέθοδοι

2.3.2.1 Χρέος οξυγόνου

Το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά τη φάση της αποκατάστασης το οποίο είναι παραπάνω από αυτό που χρειάζεται στην κατάσταση της ηρεμίας, ονομάζεται «χρέος οξυγόνου». Η υπόθεση του χρέους οξυγόνου διατυπώθηκε στις αρχές του 1900 από τον εργοφυσιολόγο A. V. Hill. Η αρχική αντίληψη του Hill ήταν πως το χρέος οξυγόνου χρησίμευε αποκλειστικά για την αντιστροφή των αναερόβιων διεργασιών και κυρίως την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος που συσσωρεύεται κατά τη διάρκεια της άσκησης. Το 1933, ο Margaria και οι

συνεργάτες του τροποποίησαν την υπόθεση του χρέους οξυγόνου, χωρίζοντάς το σε δύο μέρη: στο αρχικό, γρήγορο γαλακτικό και στο αργό γαλακτικό χρέος οξυγόνου. Το γαλακτικό ονομάστηκε έτσι γιατί θεωρήθηκε ότι είναι ανεξάρτητο από την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος και αντιστοιχεί στην αρχική μείωση της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη φάση της αποκατάστασης. Αντίθετα, το γαλακτικό θεωρήθηκε ότι σχετίζεται κυρίως με την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος από το αίμα.

Εντούτοις, η χρήση του χρέους οξυγόνου για τον υπολογισμό της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας έχει αμφισβητηθεί από πολλούς ερευνητές (Bangsbo et al, 1990; Gaesser et al, 1984; Rieu et al, 1988). Ο Bangsbo και συνεργάτες (1990) σε έρευνά τους, βρήκαν πως το χρέος οξυγόνου υπερεκτιμούσε σημαντικά την αναερόβια παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια 60 λεπτών αποκατάστασης. Παράλληλα, μόνο το ένα τρίτο του χρέους οξυγόνου μπορούσε να εξηγηθεί από την ανασύνθεση των νουκλεοτιδίων και της φωσφοκρεατίνης και την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος από το αίμα. Επομένως, η αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου κατά την αποκατάσταση δε σχετίζεται αποκλειστικά με τη συσσώρευση και τύχη του γαλακτικού οξέος μετά την άσκηση. Άλλοι παράγοντες που ευθύνονται για την αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου κατά την αποκατάσταση και δε σχετίζονται άμεσα με την αναερόβια παραγωγή ενέργειας κατά την άσκηση, είναι η ανύψωση στη θερμοκρασία, η αυξημένη ορμονική δραστηριότητα και οι γενικά αυξημένες ενεργειακές δαπάνες που σχετίζονται με την αποκατάσταση της ομοιόστασης του οργανισμού.

2.3.2.2 Μέτρηση γαλακτικού οξέος στο αίμα

Η μέγιστη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος χρησιμοποιείται συχνά σαν ένας δείκτης της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας κατά την άσκηση (Hill, 1999; Lacour et al, 1990). Παραδοσιακά, το γαλακτικό οξύ θεωρείται ένα μεταβολικό προϊόν, η παρουσία του οποίου στους μυς και το αίμα κατά τη διάρκεια της άσκησης, υποδηλώνει την παρουσία του αναερόβιου μεταβολισμού. Ωστόσο, παρόλο που η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα αποτελεί μια ένδειξη του εύρους της γλυκόλυσης, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση της παραγωγής γαλακτικού οξέος ούτε να δώσει ενδείξεις για την ενέργεια που παράγεται από τα αποθηκευμένα φωσφορικά, δηλαδή το ATP και την φωσφοκρεατίνη (Bangsbo, 1990).

Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα έχει βρεθεί ότι είναι σαφώς χαμηλότερη από την συγκέντρωσή του στους μυς και ιδιαίτερα κατά τη διαλειμματική άσκηση (Rieu et al, 1988; Gaesser & Brooks, 1984). Ο Rieu και συνεργάτες (1988) σε έρευνα τους μελέτησαν τη συσσώρευση του γαλακτικού οξέος σε υπερμέγιστες επαναλαμβανόμενες προσπάθειες και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα δεν είναι αντιπροσωπευτική της πραγματικής συγκέντρωσής του στους μυς. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους: πρώτον, μέρος του γαλακτικού οξέος που παράγεται σε μια προσπάθεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας κατά τη διάρκεια της επόμενης προσπάθειας και δεύτερον, η διάχυση του γαλακτικού οξέος από τα σημεία παραγωγής του γίνεται με αργό ρυθμό με αποτέλεσμα η επόμενη προσπάθεια να πραγματοποιείται ενώ το γαλακτικό οξύ που είχε παραχθεί προηγουμένως

εξακολουθεί ακόμα να διαχέεται. Επίσης, δεν υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στους ερευνητές για το ποια χρονική στιγμή μετά το τέλος της άσκησης παρατηρείται η μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα (Hill, 1999; Lacour et al, 1990; Rieu et al, 1988).

2.3.2.3 Έλλειμμα οξυγόνου

Ένας έμμεσος τρόπος καθορισμού της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας είναι η χρήση της μεθόδου του ελλείμματος οξυγόνου, που στηρίζεται σε δύο βασικές παραδοχές: πρώτον, ότι η απαίτηση σε οξυγόνο είναι σταθερή καθόλη τη διάρκεια της άσκησης και δεύτερον, ότι σε άσκηση υπομέγιστης έντασης υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της έντασης της άσκησης και της κατανάλωσης οξυγόνου. Στις υπερμέγιστες εντάσεις η κατανάλωση οξυγόνου (ενεργειακή απαίτηση) υπολογίζεται από την προέκταση αυτής της σχέσης και η αναερόβια συνεισφορά ενέργειας είναι η διαφορά της ενεργειακής απαίτησης σε οξυγόνο και της πρόσληψης οξυγόνου (Bangsbo, 1990; Medbo et al, 1988).

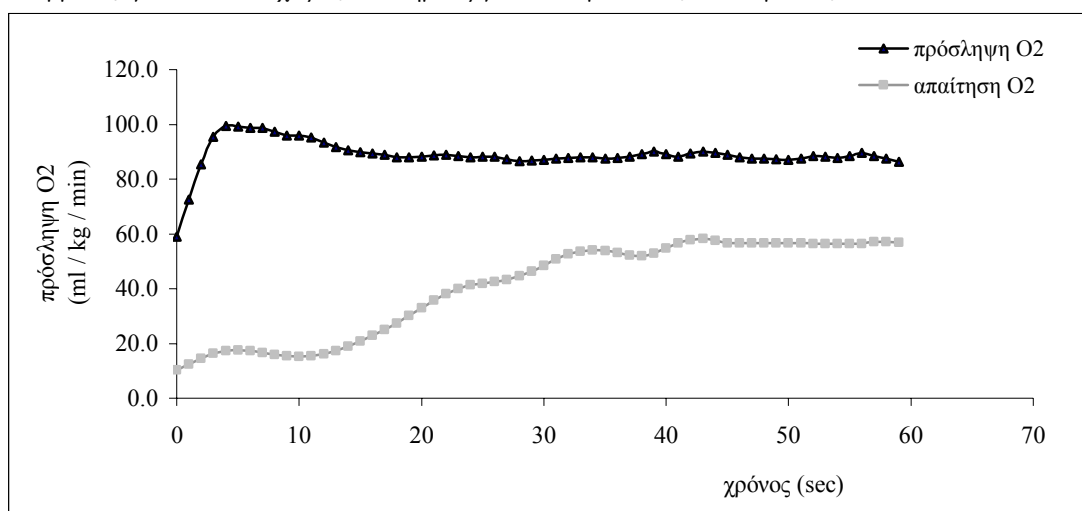
Ποσοτικά το έλλειμμα οξυγόνου είναι η διαφορά μεταξύ του συνολικού οξυγόνου που πραγματικά καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της άσκησης και του πραγματικού ποσού που θα είχε καταναλωθεί εάν είχε επιτευχθεί σταθερός ρυθμός αερόβιου μεταβολισμού αμέσως με την έναρξη της άσκησης. Η ενέργεια που παρέχεται κατά τη μεταβατική αυτή φάση της άσκησης προέρχεται από αναερόβιες πηγές όπως τα αποθέματα φωσφορικών υψηλής ενέργειας και η γλυκόλυση.

Με την έναρξη της άσκησης παρατηρείται αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου η οποία όμως δεν οδηγεί αμέσως στη φάση σταθεροποίησης με αποτέλεσμα να δημιουργείται έλλειμμα οξυγόνου (O_2 deficit). Η πρόσληψη οξυγόνου βρίσκεται πολύ κάτω από το

επίπεδο σταθεροποίησης κατά τα αρχικά στάδια της άσκησης ακόμη κι αν η ενέργεια που απαιτείται για την εκτέλεση της άσκησης είναι σταθερή. Η προσωρινή αυτή καθυστέρηση της κάλυψης της ενεργειακής δαπάνης από τον αερόβιο μεταβολισμό,

αντισταθμίζεται με την αυξημένη συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού διότι η άμεση ενεργειακή πηγή του μυός είναι πάντα το ATP, το οποίο δεν απαιτεί οξυγόνο για τη διάσπασή του (σχήμα 2.2).

Σχήμα 2.2. Η απαίτηση και η πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης. Το έλλειμμα οξυγόνου είναι ο χώρος που δημιουργείται ανάμεσα στις δύο καμπύλες.



Στην έρευνα του Bangsbo (1990) όπου χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο έκτασης του γόνατος, η αναερόβια παραγωγή ενέργειας που προσδιορίστηκε από τις αλλαγές στα μεταβολικά προϊόντα δε διέφερε κατά πολύ από την αναερόβια παραγωγή ενέργειας που υπολογίστηκε από το έλλειμμα οξυγόνου του ενός ποδιού. Η στενή σχέση αυτών των δύο υπολογισμών για μια μόνο συγκεκριμένη μυϊκή ομάδα οδηγεί σε θετικά συμπεράσματα για τη γενίκευση της χρήσης της μεθόδου του ελλείμματος οξυγόνου για τον καθορισμό της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας κατά την άσκηση ολόκληρου του σώματος.

Σε άλλη έρευνα, οι Medbo και Tabata (1993, 1989), μέτρησαν 16 νεαρούς άνδρες οι οποίοι ποδηλατούσαν με ένταση τέτοια ώστε να εξαντληθούν σε 30 sec, 1 min ή 2-3 min. Μέτρησαν

την αναερόβια παραγωγή ενέργειας με δύο τρόπους: άμεσα, παίρνοντας μυϊκές βιοψίες και έμμεσα, μετρώντας την πρόσληψη οξυγόνου ώστε να καθορίσουν το έλλειμμα οξυγόνου. Στη συνέχεια σύγκριναν αυτές τις δύο μεθόδους και βρήκαν πως υπάρχει στενή γραμμική σχέση ανάμεσα στο βαθμό αναερόβιας παραγωγής ATP μέσα στον μυ και της τιμής που εκτιμάται από το έλλειμμα οξυγόνου όλου του σώματος.

Ο Scott και συνεργάτες (1991), θέλησαν κι αυτοί να ελέγξουν κατά πόσο μπορεί να θεωρηθεί η μέθοδος του ελλείμματος οξυγόνου αξιόπιστος δείκτης της αναερόβιας ικανότητας. Χρησιμοποίησαν 16 καλά προπονημένους αθλητές τριών διαφορετικών κατηγοριών (σπρίντερς, δρομείς μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων) και υπέθεσαν πως αν όντως αυτή η μέθοδος ήταν αξιόπιστη θα αποκάλυπτε διαφορές μεταξύ των διαφορετικά προπονημένων, ως προς

την αναερόβια ικανότητα, αθλητών. Επίσης, οι αθλητές υποβλήθηκαν και σε άλλες δοκιμασίες (Wingate test και δρόμο 300, 400, και 600 m) ώστε να διαπιστωθεί αν τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων θα συσχετίζονταν θετικά με αυτά της μεθόδου του ελλείμματος οξυγόνου. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά για τη χρήση της δεύτερης μεθόδου ως δείκτη της αναερόβιας ικανότητας.

Οι περισσότερες έρευνες στη βιβλιογραφία με τη χρήση της μεθόδου του ελλείμματος οξυγόνου, έχουν γίνει σε ποδηλάτες και δρομείς (Spenser & Gustin, 2001; Craig et al, 1995; Di Prampero et al, 1993) με την αποδοχή της υπόθεσης ότι η μυϊκή μάζα που ενεργοποιείται στην ποδηλασία, αποτελεί το 25 % του συνολικού σωματικού βάρους (Medbo et al, 1988). Ελάχιστες είναι οι έρευνες όπου συγκρίνεται η αναερόβια ικανότητα αθλητών διαφορετικών αθλημάτων (Faina et al, 1997; Bangsbo et al, 1993). Ο Bangsbo και συνεργάτες (1993) μελέτησαν το έλλειμμα οξυγόνου κατά την έντονη άσκηση σε κωπηλάτες, δρομείς και ποδηλάτες ενώ ο Faina και συνεργάτες (1997) σε δρομείς, κολυμβητές και καγιάκερς. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τους οδηγούν στο συμπέρασμα πως το έλλειμμα οξυγόνου σχετίζεται με τη μυϊκή μάζα που ενεργοποιείται και συγκεκριμένα είναι μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη είναι η μυϊκή μάζα που συμμετέχει στην άσκηση. Επομένως, οι διαφορές στο έλλειμμα οξυγόνου μεταξύ των αθλητών εξηγούνται κυρίως από τα διαφορετικά ποσοστά της συνολικής μυϊκής μάζας που ενεργοποιούνται σε κάθε τύπο άσκησης.

Εφόσον, λοιπόν, το έλλειμμα οξυγόνου είναι ανάλογο με τη μυϊκή μάζα που συμμετέχει στην άσκηση, θα ήταν ενδιαφέρον να μετρηθεί η αναερόβια παραγωγή ενέργειας σε έναν

τύπο άσκησης που να επιστρατεύει μεγάλο μέρος της συνολικής μυϊκής μάζας, όπως η κωπηλασία όπου συμμετέχει περίπου το 70 % της μυϊκής μάζας (Secher, 1993; Steinacker, 1993).

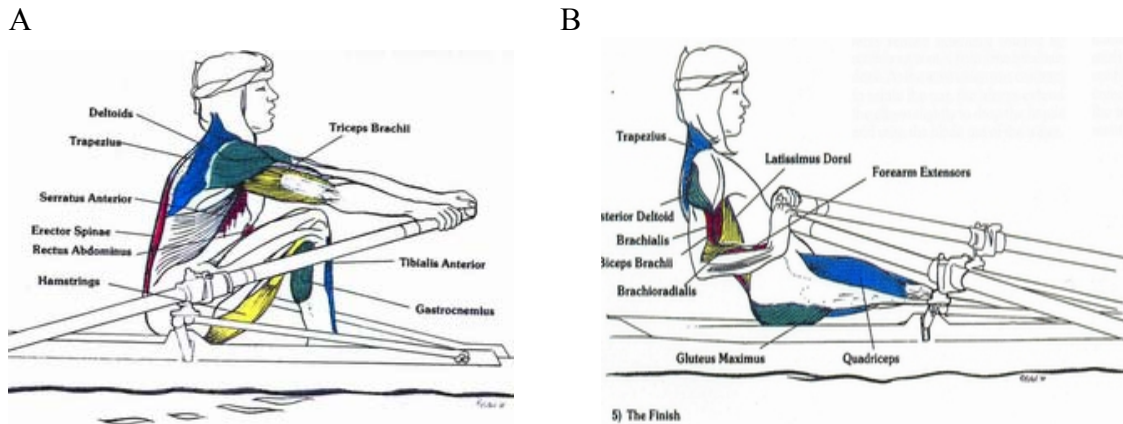
2.4 Φυσιολογία της κωπηλασίας

2.4.1 Χαρακτηριστικά του αγωνίσματος

Η κωπηλασία είναι μια κυκλική κίνηση, όπου τα χέρια και τα πόδια λειτουργούν συγχρονισμένα. Ο κορμός μετακινείται πάνω σε ένα κινούμενο κάθισμα με την προωθητική δύναμη των ποδιών κατά τη διάρκεια της κουπιάς, ενώ τα χέρια τραβάνε ένα (μονόπλευρη - sweep rowing) ή δύο κουπιά (ετερόπλευρη κωπηλασία - sculling). Η κωπηλασία είναι ένα ιδιαίτερο αγώνισμα που διαφέρει από άλλους τύπους άσκησης καθώς ενεργοποιεί μεγάλες μυϊκές ομάδες των χεριών και ποδιών. Σύμφωνα με τον Steinacker (1993), κατά την κωπηλασία ενεργοποιείται περίπου 70% της συνολικής μυϊκής μάζας αφού όλα τα άκρα και ο κορμός συμμετέχουν στην προώθηση της βάρκας.

Επίσης, η κωπηλασία συνδυάζει δύο διαφορετικούς τύπους άσκησης: την ισομετρική και τη ισοτονική. Για παράδειγμα, μετά την είσοδο των κουπιών στο νερό (φάση αρπάγματος - αρχή τραβήγματος), οι μύες των χεριών λειτουργούν ισομετρικά μεταφέροντας στα κουπιά τη δύναμη των ποδιών που λειτουργούν μειομετρικά πιέζοντας τα υποπόδια. Αντίθετα, κατά τη φάση του τραβήγματος των χεριών και της εξόδου των κουπιών από το νερό (τέλος τραβήγματος - φάση ξεενερώματος), τα χέρια κινούνται μειομετρικά φέρνοντας τα κουπιά προς το σώμα, ενώ οι μύες του κορμού και των ποδιών έχουν σταθεροποιητικό ρόλο και λειτουργούν ισομετρικά (σχήμα 2.2).

Σχήμα 2.3. Σχηματική απεικόνιση της συμμετοχής των μυϊκών ομάδων κατά τη φάση του αρπάγματος (Α) και κατά τη φάση του ξενερώματος (Β) στην κωπηλασία.



Ένα ακόμα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κωπηλασίας είναι ο τρόπος εφαρμογής της δύναμης των ποδιών. Κατά τους περισσότερους τύπους της ανθρώπινης κίνησης τα πόδια χρησιμοποιούνται έτσι ώστε η δύναμη να εφαρμόζεται διαδοχικά από το αριστερό και το δεξί πόδι. Κατά την κωπηλάτηση όμως, τα πόδια εφαρμόζουν ταυτόχρονα τη δύναμη τους ενάντια στα σταθερά υποπόδια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός μοναδικού χαρακτηριστικού στους κωπηλάτες: η δύναμη που παράγουν με τη χρήση και των δύο ποδιών ταυτόχρονα, ισούται με το άθροισμα της δύναμης του αριστερού και του δεξιού ποδιού (Secher, 1993, 1990). Σε απροπνήτα άτομα ή αθλητές διαφορετικών αθλημάτων, η δύναμη και των δύο ποδιών ισούται περίπου με το 80% του αθροίσματος της δύναμης του αριστερού και του δεξιού ποδιού καθορισμένων ξεχωριστά (Secher, 1993).

Η απόσταση του αγώνισματος για όλες τις κατηγορίες είναι 2000 m και ανάλογα με τον τύπο της λέμβου, τη φυσική κατάσταση και το φύλο του πληρώματος καλύπτεται σε 5.5 - 8 min. Κατά τη διάρκεια του αγώνα ενεργοποιούνται όλοι οι μηχανισμοί παραγωγής ενέργειας (αναερόβιος

αγαλακτικός και γαλακτικός, αερόβιος) σε πολύ μεγάλο βαθμό. Ο ρυθμός κατά τη διάρκεια του αγώνα κυμαίνεται ανάλογα με το αγώνισμα μεταξύ 32 και 40 κουπιών / min, με αποτέλεσμα ο αγώνας να ολοκληρώνεται σε 210 – 230 κουπιές. Κατά τη φάση της εκκίνησης (0 – 10 sec) η μέγιστη δύναμη που εφαρμόζεται στο κουπί ή στα κουπιά μπορεί να φτάσει τα 1000 – 1500 N και στη συνέχεια μειώνεται στα 500 – 700 N κατά την κύρια φάση του αγώνα (1 – 5 min) (Steinacker, 1993).

2.4.2 Φυσιολογικά χαρακτηριστικά των κωπηλατών

2.4.2.1 Σωματική μάζα

Η κωπηλασία είναι ένα άθλημα στο οποίο το σωματικό βάρος υποβαθμάζεται από το κάθισμα της βάρκας και μετακινείται στον οριζόντιο άξονα. Το άνοιγμα των χεριών και το μήκος των ποδιών καθορίζουν το εύρος της κουπιάς του κάθε κωπηλάτη. Αυτό σημαίνει πως οι μεγάλες σωματικές διατάσεις είναι προτέρημα για έναν κωπηλάτη καθώς του δίνουν τη δυνατότητα να κάνει μεγαλύτερη κουπιά. Στον Πίνακα 2.2, παρουσιάζονται τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου για άνδρες διαφορετικών κατηγοριών.

Πίνακας 2.2. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά και μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου αθλητών κωπηλασίας (Shephard, 1998, Bourgois et al, 2001).

Κατηγορία	Ύψος (m)	Βάρος (kg)	VO ₂ max (L / min)
Men			
FISA champions	1.93	94	6.1
National class	1.91	89	
Lightweight	1.84	71	5.08
Juniors	1.88	82	4.82

2.4.2.2 Πρόσληψη οξυγόνου

Κατά τη διάρκεια του αγώνα ο κωπηλάτης στηρίζεται κυρίως στον αερόβιο μεταβολισμό καθώς η διάσπαση της CP και ATP και η γλυκόλυση, καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών δαπανών μόνο για τα πρώτα 1.5 - 2 min. Διάφορες έρευνες που έχουν γίνει καταλήγουν στο συμπέρασμα πως η αερόβια ικανότητα των κωπηλατών είναι από τις υψηλότερες μεταξύ όλων των αθλητών (Steinacker et al, 1986; Secher, 1983; Hagerman, 1978) και χρησιμεύει ως δείκτης για την πρόβλεψη της απόδοσης των αθλητών σε αγωνιστικές δοκιμασίες (Ingham et al, 2002; Riechman et al, 2002; Cosgrove et al, 1999; Russell et al, 1998). Η πρόσληψη οξυγόνου των κωπηλατών είναι μεγαλύτερη όταν μετριέται σε κωπηλατοεργόμετρο παρά σε κυκλοεργόμετρο (Steinacker, 1986) ή δαπεδοεργόμετρο (Yoshiga & Higuchi, 2003, 2002). Αυτό οφείλεται στη συμμετοχή μεγαλύτερης μυϊκής μάζας καθώς η κωπηλασία ενεργοποιεί εκτός από τους μύες των ποδιών, τους μύες του κορμού και των άνω άκρων.

Οι τιμές της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου που έχουν καταγραφεί, κυμαίνονται για τους άνδρες μεταξύ 6.0 – 6.6 L / min (Secher, 1983; Hagerman, 1978). Για τις γυναίκες και τους άνδρες της ελαφριάς κατηγορίας οι τιμές της VO₂max είναι 4.1 L / min και 5.1 L / min, αντίστοιχα. Παρόλο που σε απόλυτες τιμές η αερόβια ικανότητα των

κωπηλατών είναι πολύ υψηλή, όταν εκφραστεί σε ml / kg / min είναι πιο χαμηλή από αυτή των άλλων αθλητών αντοχής (65 – 70 ml / kg / min), με εξαίρεση τους αθλητές της ελαφριάς κατηγορίας (75 ml / kg / min). Αυτό οφείλεται κυρίως στις μεγάλες σωματικές διαστάσεις των κωπηλατών.

2.4.2.3 Πνευμονικός αερισμός

Η αύξηση στην πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της κωπηλασίας συνοδεύεται, όπως είναι αναμενόμενο, και από σημαντική αύξηση του πνευμονικού αερισμού. Ο Hagerman (1984) αναφέρει ότι ο πνευμονικός αερισμός των κωπηλατών κατά τη διάρκεια 6 λεπτών μέγιστης κωπηλασίας έφτανε κατά μέσο όρο τα 200 L / min, με μέγιστες τιμές να υπερβαίνουν τα 240 L / min. Η αναπνευστική συχνότητα κατά τη διάρκεια ενός αγώνα είναι περίπου 60 αναπνοές / λεπτό, ενώ έχουν παρατηρηθεί και τιμές όπως 80-85 αναπνοές / λεπτό σε άσκηση μέγιστης έντασης (Secher, 1983). Φαίνεται πως οι κωπηλάτες χρησιμοποιούν κυκλική αναπνοή, παίρνοντας δύο αναπνοές στον κάθε κύκλο της κουπιάς. Οι πολύ υψηλές τιμές πνευμονικού αερισμού έρχονται σε αντίθεση με διάφορες υποθέσεις που έχουν εκφραστεί κατά καιρούς για μειωμένο πνευμονικό αερισμό λόγω της κυρτής θέσης του σώματος που εμποδίζει την κανονική συστολή του διαφράγματος (Yoshiga & Higuchi, 2003).

2.4.2.4 Αναερόβιο κατώφλι

Το αναερόβιο κατώφλι (ΑΚ) χρησιμοποιείται πολύ στην κωπηλασία σαν δείκτης κατάλληλης έντασης για προπόνηση μεγάλων αποστάσεων και αντιστοιχεί στην ένταση της άσκησης που μπορεί να διατηρηθεί για 30 – 60 min χωρίς περαιτέρω αύξηση στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα. Για την κωπηλασία, το ΑΚ έχει καθοριστεί από πολλούς ερευνητές ότι αντιστοιχεί σε συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα περίπου 4 mmol / L (Shephard, 1998; Steinacker, 1993; Secker, 1990). Όμως, οι Bourgois και Vrijens (1998) έδειξαν πως για κάθε αθλητή υπάρχει το ατομικό αναερόβιο κατώφλι που δεν αντιστοιχεί σε μια καθορισμένη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος στο αίμα. Στην έρευνά τους, 10 αθλητές κωπηλασίας εκτέλεσαν ένα τεστ παρατεταμένης άσκησης (30 min) σε δύο διαφορετικές εντάσεις που αντιστοιχούσαν: α) σε συγκέντρωση γαλακτικού οξέος 4 mmol / L και β) στο ατομικό ΑΚ. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως στο τέλος των 30 min η τιμή του γαλακτικού οξέος ήταν για την πρώτη περίπτωση 7.03 mmol / L και για τη δεύτερη 3.63 mmol / L. Επομένως για τον καθορισμό της έντασης της άσκησης μεγάλης διάρκειας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ατομικές ιδιαιτερότητες των αθλητών.

Η μέτρηση του ΑΚ για τους κωπηλάτες θα πρέπει να γίνεται σε κωπηλατοεργόμετρο. Σύμφωνα με τον Shephard (1998), όταν καλά προπονημένοι κωπηλάτες μετρήθηκαν σε κυκλοεργόμετρο, το ΑΚ τους αντιστοιχούσε στο 75% της $\dot{V}O_{2max}$ ενώ όταν μετρήθηκαν σε κωπηλατοεργόμετρο αυξήθηκε στο 85% της $\dot{V}O_{2max}$. Σε καλά προπονημένους κωπηλάτες το ΑΚ αντιστοιχεί περίπου στο 80 – 85% της $\dot{V}O_{2max}$ και θεωρείται ως μια από τις πιο έγκυρες παραμέτρους πρόβλεψης της αγωνιστικής απόδοσης,

ιδιαίτερα σε μικρές βάρκες όπως είναι τα απλά και διπλά σκιφ (Secher, 1993; Steinacker, 1993; Hagerman, 1984).

2.4.2.5 Καρδιακή συχνότητα

Κατά τη διάρκεια του αγωνίσματος της κωπηλασίας η καρδιακή συχνότητα φτάνει σε μέγιστα επίπεδα. Ο Hagerman (1984) αναφέρει ότι έχει καταγράψει καρδιακές συχνότητες της τάξης των 190 – 200 παλμών / min, ενώ ο Secher και συν (1983), αναφέρουν λίγο χαμηλότερες τιμές σε κωπηλάτες παγκοσμίου επιπέδου (185 ± 3 παλμούς / λεπτό).

Οι Yoshiga και Higuchi (2002, 2003), μέτρησαν την καρδιακή συχνότητα σε άνδρες και σε γυναίκες, κατά την κωπηλασία και κατά το τρέξιμο, σε διαφορετικές εντάσεις άσκησης: α) σε ένταση που αντιστοιχούσε σε συγκέντρωση γαλακτικού οξέος 2 και 4 mmol / L και β) σε μέγιστη ένταση. Τα αποτελέσματα των ερευνών τους έδειξαν ότι η καρδιακή συχνότητα ήταν χαμηλότερη κατά την κωπηλασία σε σχέση με το τρέξιμο, για όλες τις εντάσεις της άσκησης και για τα δύο φύλα. Οι ερευνητές απέδωσαν τα αποτελέσματα αυτά στην καθιστή θέση και στη συμμετοχή μεγαλύτερης μυϊκής μάζας κατά την κωπηλασία, που διευκολύνουν τη φλεβική επαναφορά με συνέπεια τη μείωση της καρδιακής συχνότητας.

Αντίθετα, σε έρευνα του Steinacker (1993) που σύγκρινε κωπηλάτες και ποδηλάτες κατά την άσκηση διαφορετικών εντάσεων σε κυκλοεργόμετρο και σε κωπηλατοεργόμετρο, δε βρέθηκαν διαφορές στην καρδιακή συχνότητα ανάμεσα στα δύο είδη άσκησης.

2.4.3 Σχετική συμμετοχή των ενεργειακών μηχανισμών στην κωπηλασία

Σύμφωνα με τον Secher (1983), οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για να εκφράσουν τη συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού στην κωπηλασία ήταν η μέτρηση του γαλακτικού οξέος στο αίμα και ο καθορισμός του χρέους οξυγόνου (O_2 debt).

2.4.3.1 Παλαιότερες έρευνες

Ο Hagerman (1984), αναφέρει ότι κατά τη μέτρηση αντρών και γυναικών κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης σε κωπηλατοεργόμετρο, διάρκειας 6 και 3 min, αντίστοιχα, οι μέγιστες τιμές γαλακτικού οξέος στο φλεβικό αίμα μετά το τέλος της άσκησης ήταν 14 – 18 mmol / L για τους άνδρες και 16 mmol / L για τις γυναίκες. Αυτές οι πολύ υψηλές τιμές γαλακτικού οξέος φανερώνουν μια σημαντική συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού στην παραγωγή ενέργειας.

Οι Hagerman και συνεργάτες (1978), μέτρησαν την κατανάλωση ενέργειας κατά την άσκηση σε κωπηλατοεργόμετρο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του χρέους οξυγόνου. Το δείγμα τους αποτελούνταν από 310 κωπηλάτες υψηλού επιπέδου που εκτέλεσαν μέγιστη άσκηση 6 min. Το χρέος οξυγόνου υπολογίστηκε από τη μέτρηση της πρόσληψης οξυγόνου για 30 min κατά την αποθεραπεία με άσκηση ελαφριάς έντασης. Η συνολική πρόσληψη οξυγόνου κατά την άσκηση αντιπροσώπευε την αερόβια συμμετοχή ενώ το χρέος οξυγόνου την αναερόβια. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το μέσο αερόβιο κόστος της άσκησης ήταν 30.9 L O_2 ενώ το μέσο χρέος οξυγόνου ισοδυναμούσε με 13.4 L O_2 . Υποθέτοντας ότι το θερμιδικό ισοδύναμο είναι 5 Kcal / L O_2 , υπολόγισαν πως η συνεισφορά του

αερόβιου μεταβολισμού ήταν 154.5 Kcal ή 70 % της συνολικής ενεργειακής δαπάνης ενώ η συνεισφορά του αναερόβιου μηχανισμού ήταν 67.0 Kcal ή 30 % της συνολικής ενεργειακής δαπάνης.

Οι παραπάνω έρευνες έχουν το μειονέκτημα ότι στηρίχτηκαν στην υπόθεση πως το χρέος οξυγόνου κατά την αποθεραπεία ισούται με το έλλειμμα οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης. Αυτό σήμερα γνωρίζουμε πως δεν ισχύει. Το χρέος οξυγόνου είναι πάντα μεγαλύτερο από το έλλειμμα γιατί δε σχετίζεται μόνο με την ανασύνθεση ATP και CP και την οξείδωση του γαλακτικού οξέος που παράχθηκε κατά την άσκηση. Άλλες αιτίες που προκαλούν την υπερβολική μετασκησιακή κατανάλωση οξυγόνου μετά από έντονη άσκηση είναι η αποκατάσταση του οξυγόνου της μυοσφαιρίνης, η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας του πυρήνα, η επίδραση των ορμονών και η επίδραση της αυξημένης καρδιακής συχνότητας, πνευμονικού αερισμού και φυσιολογικών λειτουργιών.

Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι συγκεκριμένες έρευνες είναι πως η διάρκεια της άσκησης είναι κατά πολύ μικρότερη από την πραγματική διάρκεια ενός αγώνα κωπηλασίας. Για τους άνδρες έχει χρησιμοποιηθεί τεστ 6 min και για τις γυναίκες 3 min. Για την ολοκλήρωση ενός τεστ 2000 m (όση είναι η αγωνιστική απόσταση) στο κωπηλατοεργόμετρο, οι άνδρες χρειάζονται περίπου 6.5 min και οι γυναίκες περίπου 7.5 min. Επομένως, για να μελετηθεί με ακρίβεια η πραγματική συμμετοχή των μηχανισμών παραγωγής ενέργειας κατά τις αγωνιστικές συνθήκες είναι απαραίτητο να διαφοροποιηθεί η διάρκεια των τεστ που χρησιμοποιούνται και να βρεθεί

ένας πιο αξιόπιστος τρόπος υπολογισμού του αναερόβιου μεταβολισμού.

2.4.3.2 Σύγχρονες έρευνες

Σε πρόσφατη έρευνα μετρήθηκε η αερόβια και αναερόβια παραγωγή ενέργειας σε γυναίκες, κατά τη διάρκεια μιας δοκιμασίας 2000 m στο κωπηλατοεργόμετρο (Pripstein et al, 1999). Η αερόβια ισχύς υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ένα ανοιχτό κύκλωμα σπυρομέτρησης και η αναερόβια ικανότητα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του ελλείμματος οξυγόνου. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η αερόβια και η αναερόβια συμμετοχή ήταν 87.7 και 12.3 %, αντίστοιχα. Για την ολοκλήρωση του τεστ χρειάστηκαν περίπου 7.5 min και η πρόσληψη οξυγόνου έφτανε τη μέγιστη τιμή της, συνήθως, κατά το τελευταίο λεπτό του τεστ. Οι ερευνητές αναφέρουν πως από τη συσχέτιση του μέγιστου ελλείμματος οξυγόνου (AOD_{max}) και της επίδοσης στο τεστ, προκύπτει πως παρόλο που η

συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού ήταν μόνο 12 % της συνολικής ενεργειακής απαίτησης, οι αθλήτριες με τις μεγαλύτερες αναερόβιες ικανότητες είχαν και καλύτερες επιδόσεις.

Με τη ίδια μέθοδο υπολογισμού της αναερόβιας ικανότητας, οι Russell και συνεργάτες (1998), μέτρησαν τη σχετική συμμετοχή των μηχανισμών παραγωγής ενέργειας σε νεαρούς κωπηλάτες, κατά τη διάρκεια δοκιμασίας 2000 m. Η χρονική διάρκεια για την πραγματοποίηση του τεστ κυμάνθηκε στα 6.72 ± 0.27 min και η συμμετοχή αερόβιου και αναερόβιου μηχανισμού ήταν 84 και 16 %, αντίστοιχα. Αντίθετα με τους προηγούμενους ερευνητές, δε βρήκαν σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στην αναερόβια ικανότητα και την απόδοση, γεγονός που απέδωσαν στη μικρή συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού (16 %).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Μεθοδολογία

3.1 Δείγμα

Το δείγμα μας αποτέλεσαν 9 κωπηλάτες (ηλικία 28 ± 4.6 έτη, ανάστημα 180 ± 5.7 cm, σωματικό βάρος 76 ± 4.5 kg) υψηλού αγωνιστικού επιπέδου, με κωπηλατική εμπειρία τουλάχιστον 4 ετών. Οι δοκιμαζόμενοι ενημερώθηκαν γραπτώς για τους σκοπούς της έρευνας, το σύνολο των ερευνητικών διαδικασιών που θα λάμβαναν μέρος, τους τυχόν κινδύνους που μπορεί να προέκυπταν, καθώς και για το δικαίωμα τους να αποχωρήσουν από την έρευνα οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

3.2 Όργανα μέτρησης

3.2.1 Σωματομετρήσεις

Κατά τη διάρκεια μιας επίσκεψης στο εργαστήριο οι δοκιμαζόμενοι υποβλήθηκαν σε σωματομετρήσεις για τη μέτρηση ύψους και βάρους. Το ανάστημα των δοκιμαζόμενων μετρήθηκε με αναστημόμετρο με ακρίβεια 0.5 cm και το σωματικό τους βάρος μετρήθηκε, με την ελάχιστη περιβολή (αθλητικό παντελονάκι), σε ζυγαριά ακριβείας 100 gr (Bilance SALUS, Italy).

3.2.2 Μέτρηση της ισχύος

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κωπηλατοεργόμετρο τύπου Concept 2 και τα δεδομένα της καρδιακής συχνότητας και της ισχύος καταγράφηκαν από ειδικό software (e-row software) εγκατεστημένο σε φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή που ήταν συνδεδεμένος με το κωπηλατοεργόμετρο. Η αντίσταση του εργομέτρου (drag factor) που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις μετρήσεις ήταν ρυθμισμένη στο 135, που είναι η

προτεινόμενη για την ηλικία των δοκιμαζόμενων, σύμφωνα με τις οδηγίες της Παγκόσμιας Κωπηλατικής Ομοσπονδίας (FISA indoor rowing training guide 2004).

3.2.3 Μέτρηση των αναπνευστικών παραμέτρων

Οι αναπνευστικές παράμετροι μετρήθηκαν σε κάθε αναπνοή (breath-by-breath) με τη χρήση αναλυτή αερίων (MedGraphics CPX/D, USA). Οι αναπνευστικές μεταβλητές που υπολογίστηκαν ήταν η πρόσληψη οξυγόνου ($\dot{V}O_2$), ο πνευμονικός αερισμός (VE), ο όγκος του εκπνεόμενου διοξειδίου του άνθρακα ($\dot{V}CO_2$), το αναπνευστικό πηλίκο (RER), η τελοεκπνευστική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα (P_{ETCO_2}) και η τελοεκπνευστική πίεση του οξυγόνου (P_{ETO_2}).

3.2.4 Μέτρηση της καρδιακής συχνότητας

Η καρδιακή συχνότητα καταγραφόταν συνεχώς με τηλεμετρικό σύστημα (Polar HR monitor) και τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του e-row software.

3.2.5 Μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος, αιμοσφαιρίνης και μεταβολών όγκου πλάσματος

Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο τύπου (Jenway 6300). Δείγματα αίματος (20μl) λαμβάνονταν από τις άκρες των δακτύλων του δεξιού ή του αριστερού χεριού, τα οποία θα διαλύονταν σε 200 μl υπερχλωρικού οξέος. Στη συνέχεια το μείγμα αυτό φυγοκεντριζόταν ώστε να διαχωριστούν τα έμμορφα συστατικά

του αίματος από το πλάσμα. Κατόπιν λαμβάνονταν 25 μl από το υπερκείμενο υγρό, τα οποία αναμειγνύονταν με 725 μl προκατασκευασμένου μείγματος αντίδρασης (γλυκίνη, απεσταγμένο νερό, γαλακτική αφυδρογονάση, NAD). Το τελευταίο μείγμα τοποθετούταν στο φασματοφωτόμετρο για να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος.

Για τη μέτρηση της συγκέντρωσης της αιμοσφαιρίνης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της κυανμεθαιμοσφαιρίνης (cyanmethemoglobin method). Η βασική αρχή αυτής της μεθόδου είναι πως όταν το αίμα αναμειγνύεται με ένα διάλυμα που περιέχει potassium ferricyanide και potassium cyanide, το potassium ferricyanide οξειδώνει το σίδηρο σχηματίζοντας μεθαιμοσφαιρίνη. Τότε, το potassium cyanide ενώνεται με τη μεθαιμοσφαιρίνη σχηματίζοντας κυανμεθαιμοσφαιρίνη, η οποία έχει σταθερή απόχρωση που "διαβάζεται" από το φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 540 nm.

Οι αλλαγές στον όγκο πλάσματος υπολογίστηκαν από τις τιμές του αιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης μέσω των εξισώσεων του Dill και Costill (1974).

3.3 Διαδικασίες

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι δοκιμαζόμενοι προσήλθαν στο εργαστήριο συνολικά τέσσερις φορές. Τους ζητήθηκε να απέχουν από έντονες φυσικές δραστηριότητες το τελευταίο εικοσιτετράωρο πριν από την κάθε δοκιμασία, ενώ έπρεπε να έχουν λάβει το τελευταίο τους γεύμα τουλάχιστον τρεις ώρες πριν τη μέτρηση. Κατά την πρώτη τους επίσκεψη στο εργαστήριο οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με το χώρο, πραγματοποιήθηκαν οι

σωματομετρήσεις και διεξάχθηκε το τεστ της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Κατά τη δεύτερη επίσκεψη των δοκιμαζόμενων στο εργαστήριο, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία των υπομέγιστων δοκιμασιών και μετά από 30 λεπτά ξεκούρασης ακολούθησε η εξοικειώσή τους με τη διαδικασία των επαναλαμβανόμενων μέγιστων προσπαθειών. Τις δύο τελευταίες φορές που προσήλθαν οι δοκιμαζόμενοι στο εργαστήριο έλαβαν χώρα τα πρωτόκολλα των επαναλαμβανόμενων μέγιστων προσπαθειών, με διαφορετική διάρκεια άσκησης και διαλείμματος σε τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά.

3.3.1 Δοκιμασία μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου

Η δοκιμασία αυτή είναι ένα τεστ προοδευτικά αυξανόμενης έντασης που στόχο έχει τον προσδιορισμό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου του δοκιμαζόμενου. Η συνολική διάρκεια του πρέπει να είναι περίπου 10-12 λεπτά. Η αρχική ένταση της άσκησης στην έρευνά μας καθορίστηκε με την πρόβλεψη κάλυψης της απόστασης των 500 m σε χρόνο 2'30''. Κάθε λεπτό ο χρόνος αυτός μειωνόταν κατά 5 sec, μέχρι εξάντλησης. Ο ρυθμός κωπηλασίας επιλεγόταν ελεύθερα από τον κάθε δοκιμαζόμενο. Τα κριτήρια για την επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ήταν τουλάχιστον δύο από τα παρακάτω (Riechman et al, 2002):

- α) αναπνευστικό πηλίκο $R > 1.2$,
- β) καρδιακή συχνότητα $> 90 \%$ της μέγιστης προβλεπόμενης για την ηλικία του δοκιμαζόμενου και
- γ) η εμφάνιση πλατό στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Οι δοκιμαζόμενοι ανέπνεαν μέσα από μια αμφίδρομη βαλβίδα και τα δείγματα αερίων αναλύονταν για τις συγκεντρώσεις O_2 και CO_2 με τη χρήση παραμαγνητικού αναλυτή οξυγόνου.

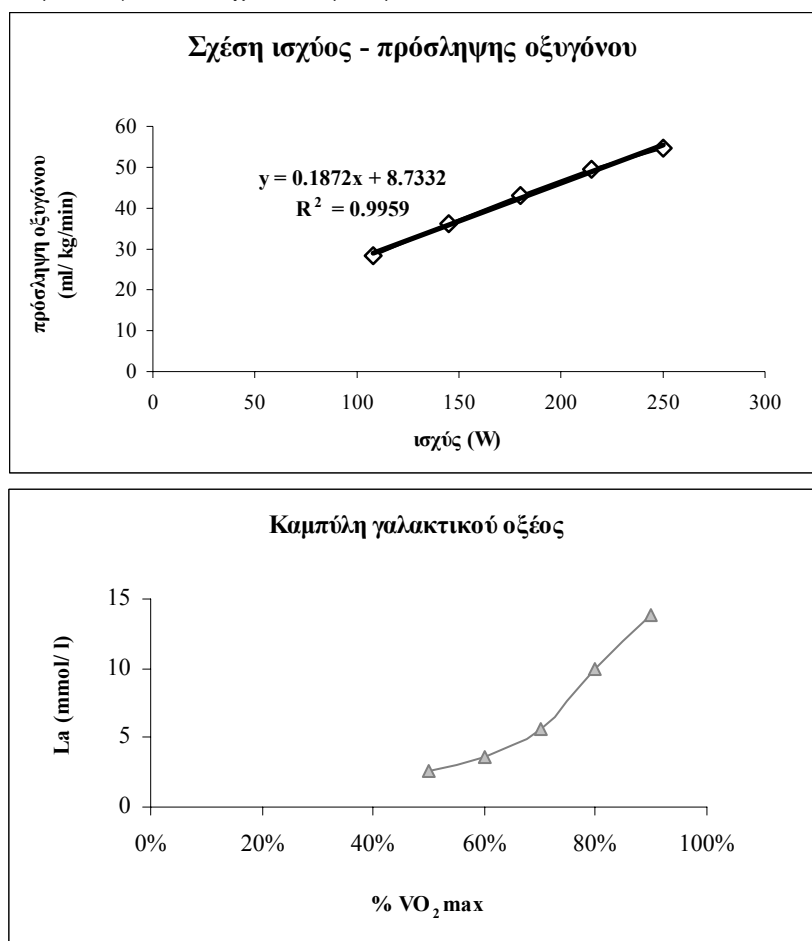
3.3.2 Υπομέγιστες δοκιμασίες

Σε διαφορετική ημέρα, οι δοκιμαζόμενοι υποβλήθηκαν σε 7 υπομέγιστες δοκιμασίες σε εντάσεις από 30 έως 90% της $\text{VO}_2 \text{ max}$ για τον καθορισμό της σχέσης μεταξύ ισχύος και πρόσληψης οξυγόνου (Medbo & Tabata, 1988, 1989). Η διάρκεια για τις υπομέγιστες δοκιμασίες ήταν 5 - 7 λεπτά με 10 λεπτά διάλειμμα ανάμεσα σε κάθε στάδιο. Στο τέλος κάθε υπομέγιστης δοκιμασίας γινόταν λήψη αίματος για τον καθορισμό της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος.

Η καταγραφή των τιμών της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των

υπομέγιστων μετρήσεων γινόταν ανά αναπνοή (breath by breath) και της ισχύος ανά κουπιά. Η μέση πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια του τελευταίου ενός λεπτού θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική για την κάθε υπομέγιστη ένταση. Από τη σχέση της ισχύος με την πρόσληψη οξυγόνου προέκυψε μια εξίσωση για κάθε δοκιμαζόμενο (σχήμα 3.1), βάσει της οποίας έγινε ο υπολογισμός της ενεργειακής απαίτησης της άσκησης κατά τη διάρκεια των κυρίως μετρήσεων (Calbet et al, 2003).

Σχήμα 3.1. Η γραμμική σχέση ισχύος – πρόσληψης οξυγόνου που προέκυψε από τις υπομέγιστες δοκιμασίες για έναν τυχαίο δοκιμαζόμενο.



3.3.3 Διαδικασία εξοικειώσης

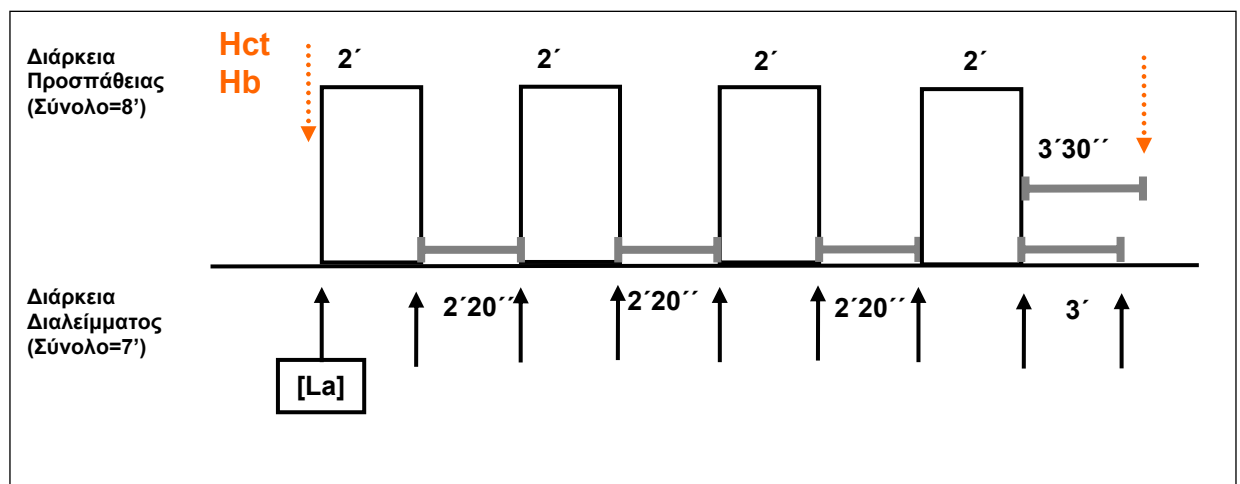
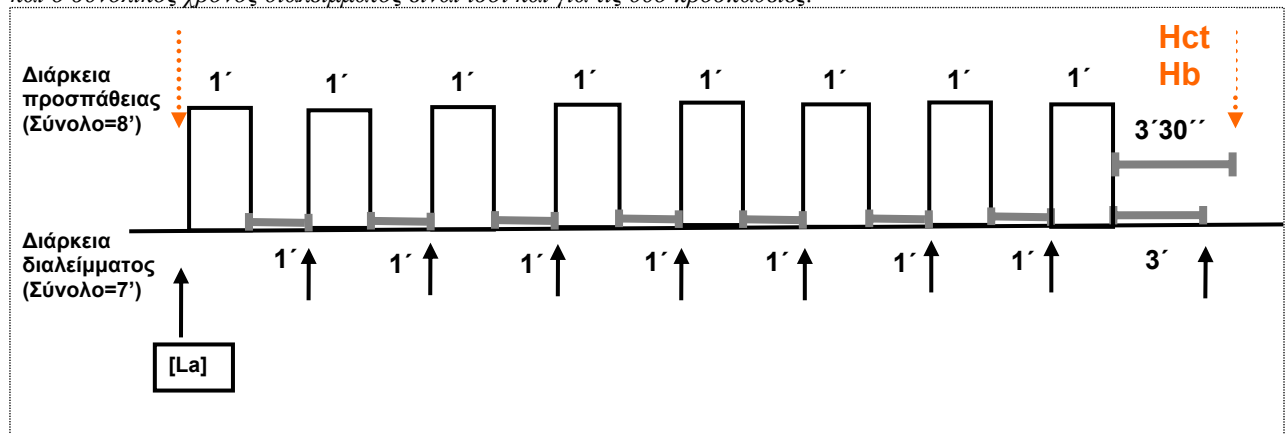
Κατά τη δεύτερη επίσκεψή τους στο εργαστήριο, 30 min μετά τις υπομέγιστες δοκιμασίες, οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με τη διαδικασία των μέγιστων προσπάθειών. Μετά από προθέρμανση πραγματοποίησαν μέγιστες δοκιμασίες διάρκειας 1 και 2 min. Αρχικά εκτέλεσαν 3 επαναλήψεις διάρκειας 1 min με 1 min διάλειμμα μεταξύ των προσπαθειών και στη συνέχεια 2 επαναλήψεις διάρκειας 2 min με 2'20'' διάλειμμα.

3.3.4 Δοκιμασίες επαναλαμβανόμενων υπερμέγιστων προσπαθειών

Το πρωτόκολλο της ερευνητικής αυτής εργασίας περιλάμβανε τις εξής

κύριες δοκιμασίες: α) οχτώ μέγιστες προσπάθειες του 1 min με διάλειμμα 1 min μεταξύ τους και β) τέσσερις επίσης μέγιστες προσπάθειες των 2 min με 2'20'' διάλειμμα (Σχήμα 3.3), σε διαφορετική ημέρα. Με τον τρόπο αυτό ο συνολικός χρόνος άσκησης ήταν 8 min και ο χρόνος διαλείμματος 7 min και στα δύο πρωτόκολλα. Οι δοκιμαζόμενοι ήταν πλήρως εξοικειωμένοι με το εργόμετρο και τις μέγιστες εντάσεις αφενός λόγω της διαδικασίας εξοικειώσης, αφετέρου γιατί αυτό αποτελεί μέρος της προπόνησής τους ειδικά κατά την αγωνιστική περίοδο. Οι δύο ημέρες των κυρίως μετρήσεων απείχαν μεταξύ τους τουλάχιστον τρεις ημέρες.

Σχήμα 3.2. Στο σχήμα αυτό εμφανίζεται το πρωτόκολλο άσκησης, στο οποίο ο συνολικός χρόνος άσκησης και ο συνολικός χρόνος διαλείμματος είναι ίσοι και για τις δύο προσπάθειες.



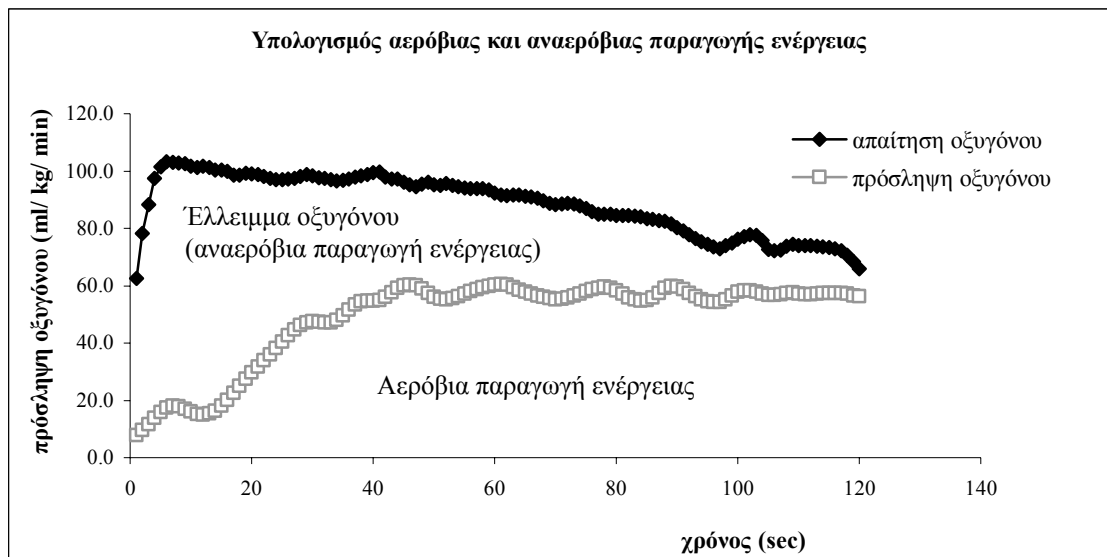
Πριν τις κύριες δοκιμασίες των επαναλαμβανόμενων προσπαθειών προηγήθηκε μια προκαθορισμένη προθέρμανση που αποτελούταν από 10 min κωπηλασίας στο 50 % της $\dot{V}O_2 \max$, διατάσεις και 2 μέγιστα σπριντ των 100 m. Πέντε λεπτά μετά την ολοκλήρωση της προθέρμανσης και ενώ οι δοκιμαζόμενοι παρέμεναν καθιστοί, λαμβανόταν μικρή ποσότητα αίματος (20 μ l) από το δάκτυλο του ενός χεριού, ώστε να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο αίμα κατά την ηρεμία. Συγχρόνως με τη λήψη αίματος καταγραφόταν και η καρδιακή συχνότητα ηρεμίας. Με τη χρήση του αναλυτή αερίων μετρούνταν και όλες οι αναπνευστικές παράμετροι των δοκιμαζόμενων σε κατάσταση ηρεμίας. Η καταγραφή των δεδομένων διαρκούσε 2 λεπτά πριν από την έναρξη της κάθε δοκιμασίας. Επίσης, πριν από το κάθε πρωτόκολλο μετρούνταν η αρτηριακή πίεση, ο αιματοκρίτης και η τιμή της αιμοσφαιρίνης.

Στη συνέχεια, οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποιούσαν οχτώ μέγιστες προσπάθειες του 1 min με διάλειμμα μεταξύ των προσπαθειών 1 min ή τέσσερις προσπάθειες των 2 min με διάλειμμα 2'20'' σε τυχαία και αντισταθμισμένη σειρά. Όλες οι προσπάθειες ξεκινούσαν από στάση με το σύνθημα της εκκίνησης (έτοιμος, πάμε) και συνοδεύονταν από έντονη προφορική ενθάρρυνση. Οι αναπνευστικές παράμετροι μετρούνταν σε κάθε αναπνοή (breath by breath), ενώ η ισχύς και η καρδιακή συχνότητα καταγράφονταν ανά κουπιά, καθ' όλη τη διάρκεια των προσπαθειών. Κατά τη διάρκεια του διαλείμματος λαμβανόταν μικρή ποσότητα αίματος από το δάκτυλο του χεριού για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος. Στο πρωτόκολλο των μονόμεπτων η λήψη αίματος γινόταν αμέσως μετά το τέλος της κάθε προσπάθειας, ενώ στο

πρωτόκολλο των δίλεπτων η λήψη αίματος γινόταν δύο φορές, αμέσως μετά το τέλος της κάθε προσπάθειας και στο 2^ο λεπτό του διαλείμματος. Και στις δύο περιπτώσεις, κατά τη διάρκεια του διαλείμματος οι δοκιμαζόμενοι παρέμεναν καθισμένοι στο κωπηλατοεργόμετρο κάνοντας παθητική αποκατάσταση. Τέλος, στο 3^ο λεπτό της αποκατάστασης λαμβανόταν νέα μικρή ποσότητα αίματος από το δάκτυλο ενός χεριού για τον καθορισμό της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος στο αίμα και μετρούνταν ξανά ο αιματοκρίτης και η τιμή της αιμοσφαιρίνης. Επίσης, στα 3'30'' και στο 10^ο λεπτό της αποκατάστασης μετρούνταν εκ νέου η τιμή της αρτηριακής πίεσης.

Όπως προαναφέρθηκε, η καταγραφή των τιμών της πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των μέγιστων δοκιμασιών γινόταν ανά αναπνοή και της ισχύος ανά κουπιά. Στη συνέχεια έγινε interpolation των δεδομένων αυτών με τη χρήση του προγράμματος Origin ώστε να αναχθούν οι τιμές της πρόσληψης οξυγόνου και της ισχύος ανά δευτερόλεπτο. Η αερόβια παραγωγή ενέργειας για την κάθε προσπάθεια (στα μονόμεπτα και στα δίλεπτα) υπολογίστηκε από το εμβαδόν που περικλείεται από την καμπύλη της πρόσληψης οξυγόνου και τον οριζόντιο άξονα του χρόνου (σχήμα 3.3). Η αναερόβια παραγωγή ενέργειας θεωρήθηκε ότι ισούται με το έλλειμμα οξυγόνου που υπολογίστηκε ως εξής: πρώτον, έγινε εκτίμηση της απαίτησης οξυγόνου της άσκησης προεκτείνοντας τη σχέση ισχύος – πρόσληψης οξυγόνου που προέκυψε από τις υπομέγιστες δοκιμασίες. Ύστερα, το έλλειμμα οξυγόνου υπολογίστηκε ως η διαφορά ανάμεσα στην απαίτηση οξυγόνου και το οξυγόνο που πραγματικά καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια των μέγιστων δοκιμασιών (σχήμα 3.3) (Calbet et al, 2003).

Σχήμα 3.3. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου υπολογισμού του ελλείμματος οξυγόνου και της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών (Calbet et al, 2003).



3.4 Ανάλυση δεδομένων

3.4.1 Ανάλυση δεδομένων ισχύος

Τα δεδομένα της ισχύος αναλύθηκαν για κάθε μία επανάληψη χωριστά (1' ή 2') καθώς και για τη συνολική διάρκεια της άσκησης. Υπολογίστηκαν η μέση και μέγιστη ισχύς σε απόλυτες τιμές καθώς και η % πτώση της ισχύος σε σχέση με την αρχική για την κάθε συνθήκη (μονόλεπτα ή δίλεπτα).

3.4.2 Ανάλυση δεδομένων αναπνευστικών μεταβλητών

Τα δεδομένα της πρόσληψης οξυγόνου αναλύθηκαν για κάθε μια επανάληψη χωριστά (1' ή 2'), για καθεμία από τις επαναλήψεις μαζί με την αντίστοιχη αποκατάσταση (2' ή 4'20'') καθώς και για τη συνολική διάρκεια της άσκησης και της άσκησης μαζί με το διάλειμμα. Η συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού

υπολογίστηκε με τη μέθοδο του ελλείμματος οξυγόνου (Medbo et al, 1988) ενώ η συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού υπολογίστηκε μέσω της πρόσληψης οξυγόνου.

3.4.3 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση για τα δεδομένα της ισχύος, της πρόσληψης οξυγόνου και του γαλακτικού οξέος για τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες έγινε με ανάλυση διασποράς (ANOVA) σε εξαρτημένα δείγματα σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Η στατιστική ανάλυση για τα δεδομένα της αιμοσφαιρίνης, του αιματοκρίτη και τις αλλαγές στον όγκο πλάσματος έγινε με τη χρήση ANOVA.

Το επίπεδο σημαντικότητας για όλες τις παραμέτρους ορίστηκε στο $p < 0.05$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέση τιμή $\pm$ τυπική απόκλιση (SD).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

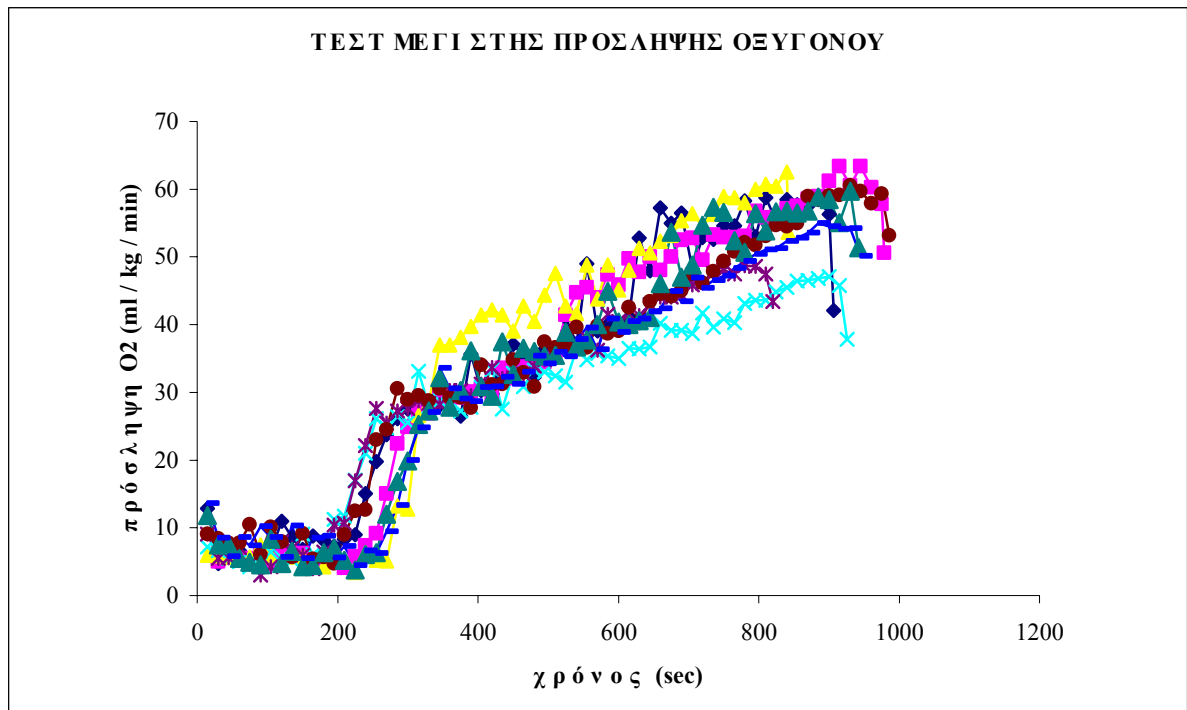
Αποτελέσματα

4.1 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου

Η μέγιστη πρόσληψη των δοκιμαζόμενων ήταν 59.1 ± 5.3 ml/ kg/ min. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η πορεία της πρόσληψης οξυγόνου για τον κάθε δοκιμαζόμενο κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας της μέγιστης πρόσληψης

οξυγόνου. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται αριθμητικά η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και η αντίστοιχη τιμή της ισχύος στην οποία αυτή επιτεύχθηκε.

Σχήμα 4.1. Η καμπύλη της πρόσληψης οξυγόνου για όλους τους δοκιμαζόμενους κατά τη διάρκεια του τεστ μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.



Πίνακας 4.1. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και η ισχύς στην οποία επιτεύχθηκε για τον κάθε δοκιμαζόμενο.

Δοκιμαζόμενοι	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\text{VO}_{2\text{max}}$ (ml/kg/min)	59.6	48.9	63.4	58.2	62.3	59.7	55.0	65.7	47.1
Ισχύς (W)	408.2	302.3	408.2	302.3	408.2	350.0	350.0	302.3	350

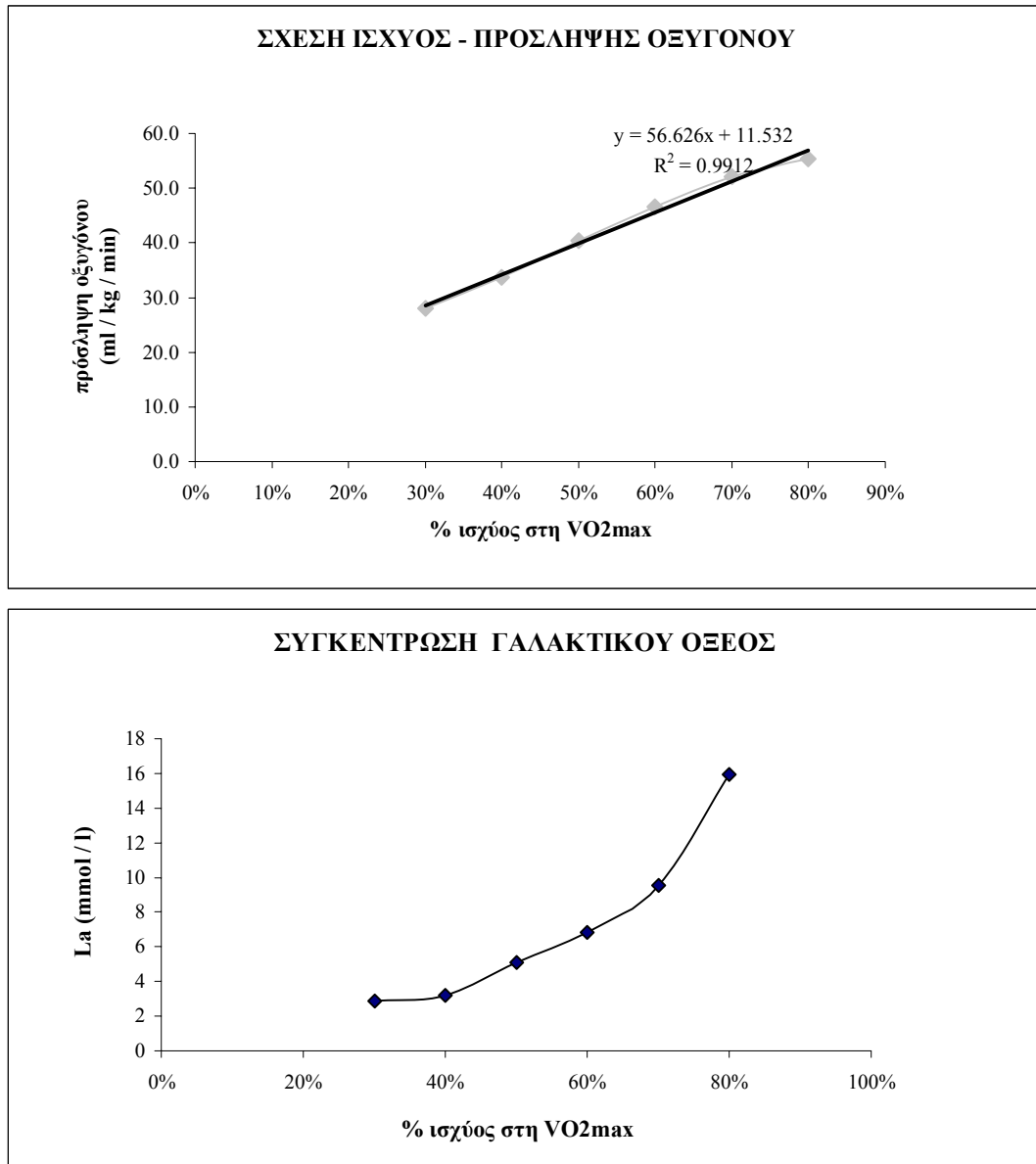
4.2 Υπομέγιστες προσπάθειες

Από τα υπομέγιστα τεστ προέκυψε ότι η σχέση μεταξύ της πρόσληψης οξυγόνου και της ισχύος είναι γραμμική.

Στο σχήμα 4.2 παρατηρούμε την αύξηση στην πρόσληψη οξυγόνου και την αντίστοιχη αύξηση στη συγκέντρωση

του γαλακτικού οξέος σε σχέση με την αύξηση στην ένταση της άσκησης.

Σχήμα 4.2. Η σχέση ισχύος – πρόσληψης οξυγόνου και η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος για τον κάθε δοκιμαζόμενο.

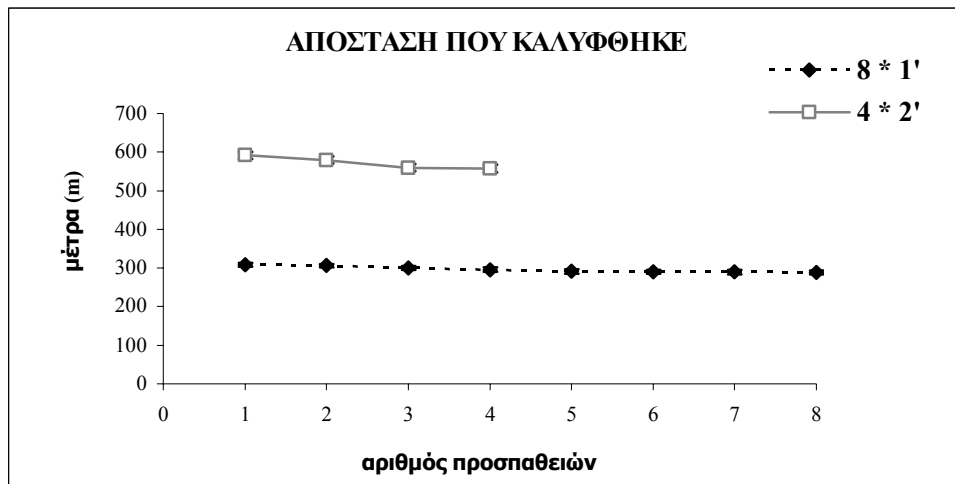


4.3 Απόσταση που διανύθηκε και παραγωγή ισχύος

Η μέση απόσταση που διανύθηκε στο κωπηλατοεργόμετρο Concept II ήταν 296.5 ± 14.1 m για τα μονόλεπτα

και 572.0 ± 24.7 m για τα δίλεπτα. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται η διακύμανση των μέτρων που διανύθηκαν και για τα δύο πρωτόκολλα.

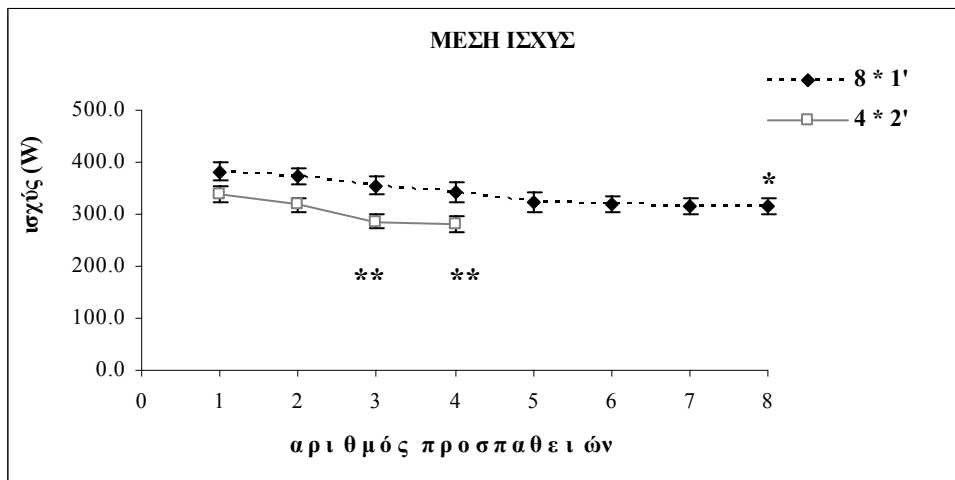
Σχήμα 4.3. Η μέση απόσταση που καλύφθηκε σε κάθε προσπάθεια και για τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.



Η μέση τιμή της παραγόμενης ισχύος ήταν σημαντικά μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια των μονόμεπτων σε σχέση με τα δίλεπτα (340.9 ± 47.5 και 305.8 ± 39.6 W, αντίστοιχα), $p < 0.0001^*$. Συγκριτικά με την πρώτη προσπάθεια, η

μέση ισχύς παρουσίασε σημαντική πτώση στην τελευταία προσπάθεια κατά το πρωτόκολλο των 8*1' και στις δύο τελευταίες προσπάθειες κατά το πρωτόκολλο 4*2' (σχήμα 4.4).

Σχήμα 4.4. Η μέση ισχύς σε κάθε προσπάθεια και για τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.



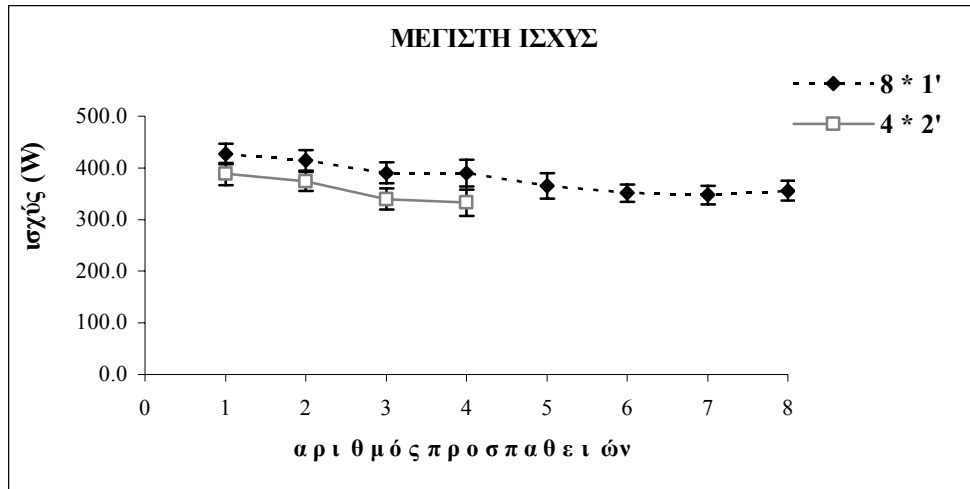
* : στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την πρώτη προσπάθεια για τα μονόμεπτα ($p < 0.05$)

** : στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την πρώτη προσπάθεια για τα δίλεπτα ($p < 0.05$)

Η μέγιστη ισχύς κατά τα μονόμεπτα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των διλέπτων (380.1 ± 61.8 και 358.4 ± 64.4 W, αντίστοιχα), $p < 0.001$ και δεν παρουσίασε σημαντική πτώση κατά τη διάρκεια των προσπαθειών σε

κανένα από τα δύο πρωτόκολλα (σχήμα 4.5).

Σχήμα 4.5. Η μέγιστη ισχύς σε κάθε προσπάθεια και για τα δύο πρωτόκολλα άσκησης.



Το συνολικό παραγόμενο έργο ήταν μεγαλύτερο κατά τα μονόμεπτα συγκριτικά με τα δίλεπτα (163.4 ± 22.5 και 146.7 ± 18.9 KJ, αντίστοιχα), $p < 0.01$.

4.4 Πρόσληψη οξυγόνου

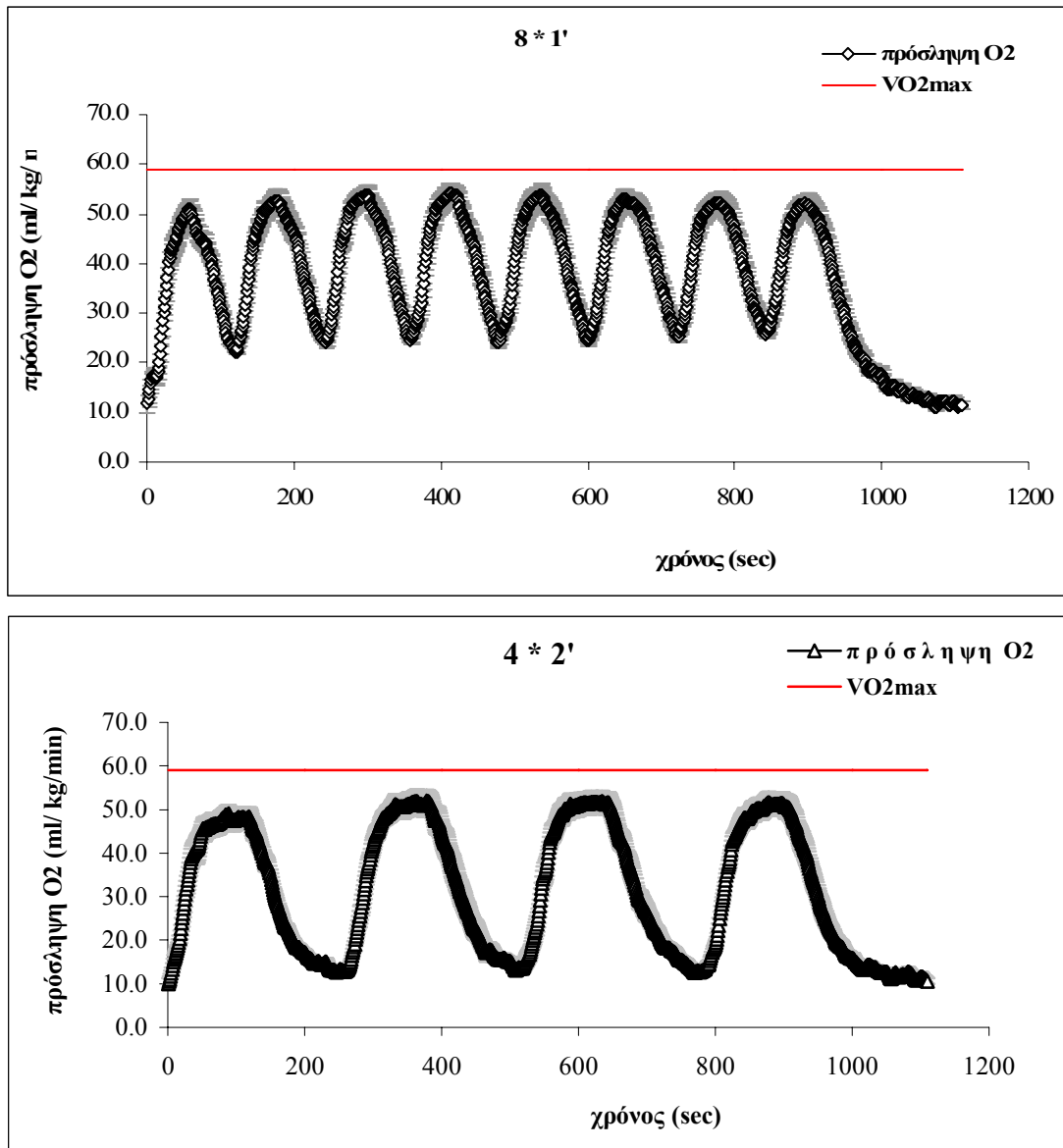
Η συνολική πρόσληψη οξυγόνου στα οχτώ λεπτά της άσκησης και στις δύο συνθήκες, δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα μονόμεπτα και τα δίλεπτα (20.1 και 19.8 L, αντίστοιχα). Όταν υπολογίστηκε όμως η συνολική πρόσληψη οξυγόνου άσκησης και διαλείμματος μαζί, υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο συνθήκες (35.9 L για τα μονόμεπτα και 30.6 L για τα δίλεπτα), $p < 0.05$.

Όσον αφορά στην πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης, οι μέσοι όροι της πρόσληψης

οξυγόνου κατά τα 8 μονόμεπτα δε διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους με εξαίρεση αυτή του 1^{ου} μονόμεπτου που ήταν σημαντικά χαμηλότερη από όλα τα υπόλοιπα, $p < 0.05$. Κατά τα 4 δίλεπτα οι μέσοι όροι της πρόσληψης οξυγόνου δεν παρουσίασαν καμιά στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους (Πίνακας 4.2).

Η πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης εκφρασμένη ως ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου κυμάνθηκε από 60.7 ± 7.6 έως 77.4 ± 6.6 % εμφανίζοντας τη μεγαλύτερη τιμή της στο τέταρτο μονόμεπτο. Για τα δίλεπτα τα ποσοστά αυτά παρουσίασαν μικρότερη διακύμανση, από 69.2 ± 9.0 έως 74.9 ± 5.8 %, με μέγιστη τιμή κατά το τρίτο δίλεπτο (σχήμα 4.6).

Σχήμα 4.6. Η πρόσληψη οξυγόνου των δοκιμαζόμενων κατά τη διάρκεια της άσκησης και της αποκατάστασης.



4.5 Έλλειμμα οξυγόνου και σχετική συμμετοχή μηχανισμών παραγωγής ενέργειας

Ο μέσος όρος του ελλείμματος οξυγόνου κατά τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες ήταν σημαντικά μεγαλύτερος κατά τη συνθήκη των διλέπτων συγκριτικά με αυτή των μονόμεπτων (2.8 ± 0.72 και 1.77 ± 0.42 L, αντίστοιχα, $p < 0.01$). Όταν όμως υπολογίστηκε το συνολικό έλλειμμα οξυγόνου για όλη τη διάρκεια της άσκησης, τότε αυτό ήταν μεγαλύτερο

κατά τη συνθήκη των μονόμεπτων (14.1 ± 4.0 και 11.2 ± 2.5 L, αντίστοιχα), $p < 0.005$.

Εκφρασμένο κατά κιλό σωματικού βάρους το έλλειμμα οξυγόνου παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2. Κατά τα 8 μονόμεπτα το έλλειμμα οξυγόνου εμφάνισε τη μέγιστη τιμή του στο 1^ο μονόμεπτο (35.5 ± 10 ml / kg). Αντίστοιχα, κατά τα 4 δίλεπτα το έλλειμμα οξυγόνου ήταν μέγιστο στο 1^ο δίλεπτο (51.1 ± 12.2 ml / kg).

Πίνακας 4.2. Το έλλειμμα οξυγόνου (ml / kg) κατά τη διάρκεια της άσκησης.

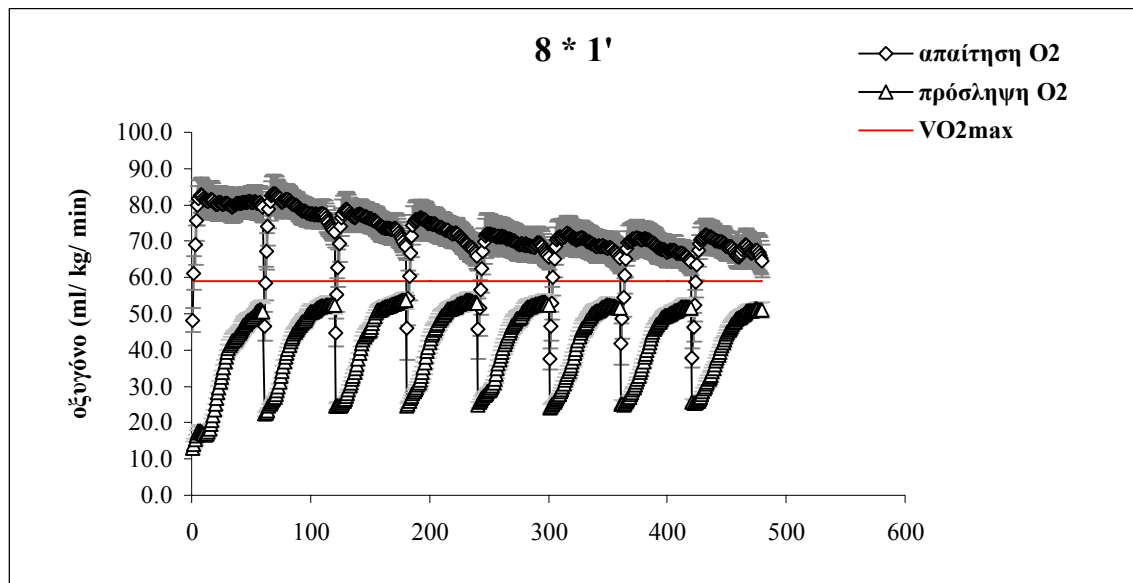
8 * 1'								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Μέσος όρος	35.5*	28.4	25.2	21.6	20.4	20.2	20.1	19.9
Σταθερή απόκλιση	10.0	7.8	8.5	8.0	8.7	8.1	7.8	8.0

* : στατιστικά σημαντική διαφορά από τα υπόλοιπα μονόλεπτα ($p < 0.05$)

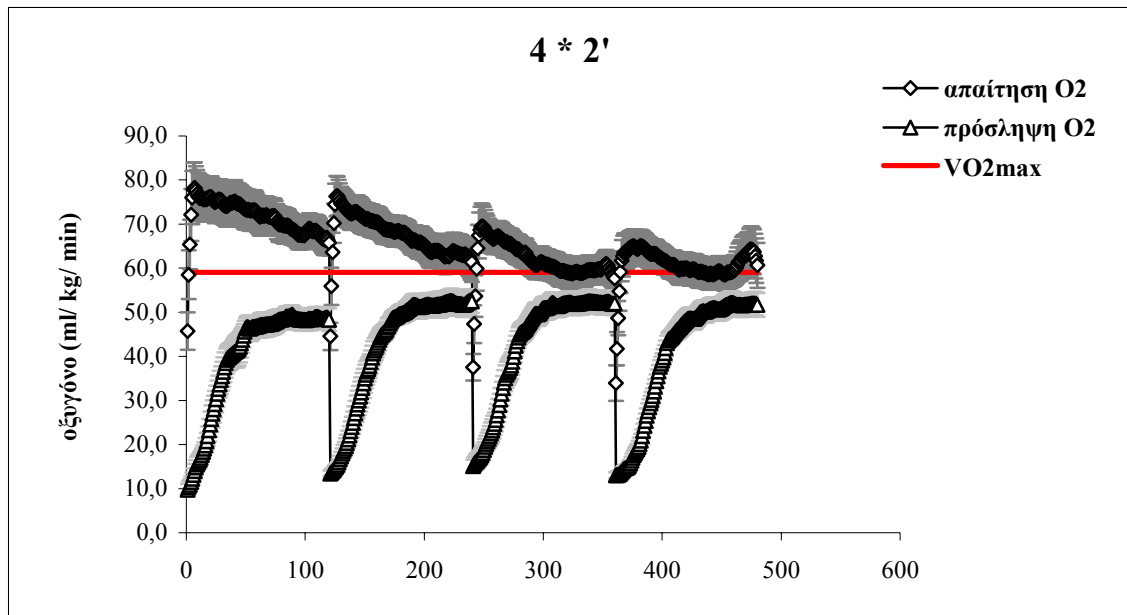
4 * 2'				
	1	2	3	4
Μέσος όρος	51.1*	39.1	29.9	31.6
Σταθερή απόκλιση	12.2	12.2	12.7	11.5

* : στατιστικά σημαντική διαφορά από τα υπόλοιπα δίλεπτα ($p < 0.05$)

Σχήμα 4.7. Η απαίτηση και η πραγματική πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης για τη συνθήκη των μονόλεπτων. Ο χώρος ανάμεσα στις δύο καμπύλες είναι το έλλειμμα οξυγόνου που δημιουργείται.



Σχήμα 4.8. Η απαίτηση και η πραγματική πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης για τη συνθήκη των διλέπτων. Ο χώρος ανάμεσα στις δύο καμπύλες είναι το έλλειμμα οξυγόνου που δημιουργείται.

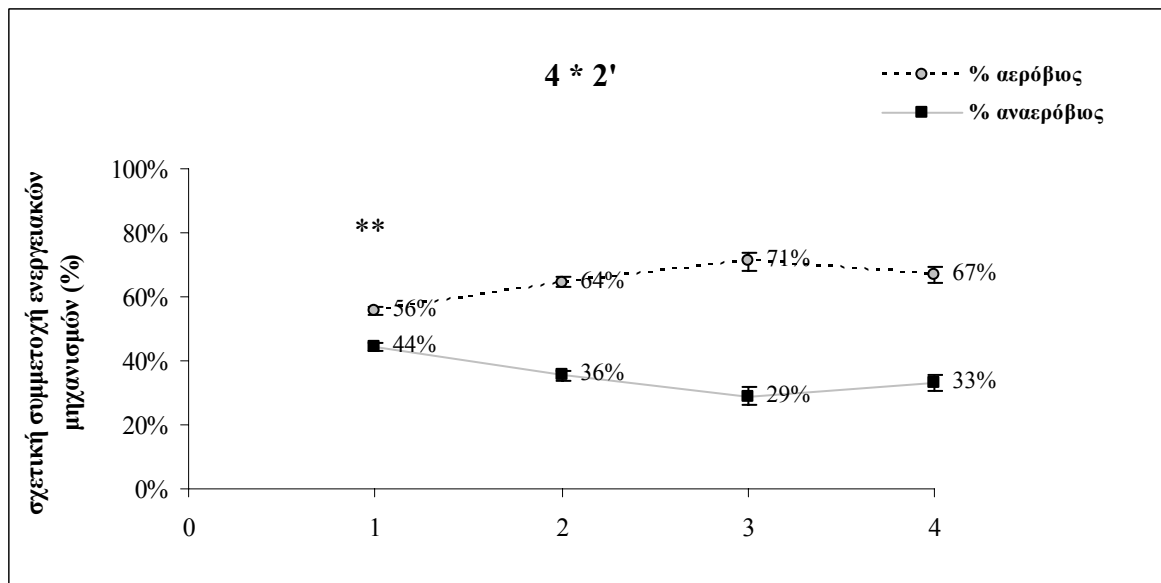
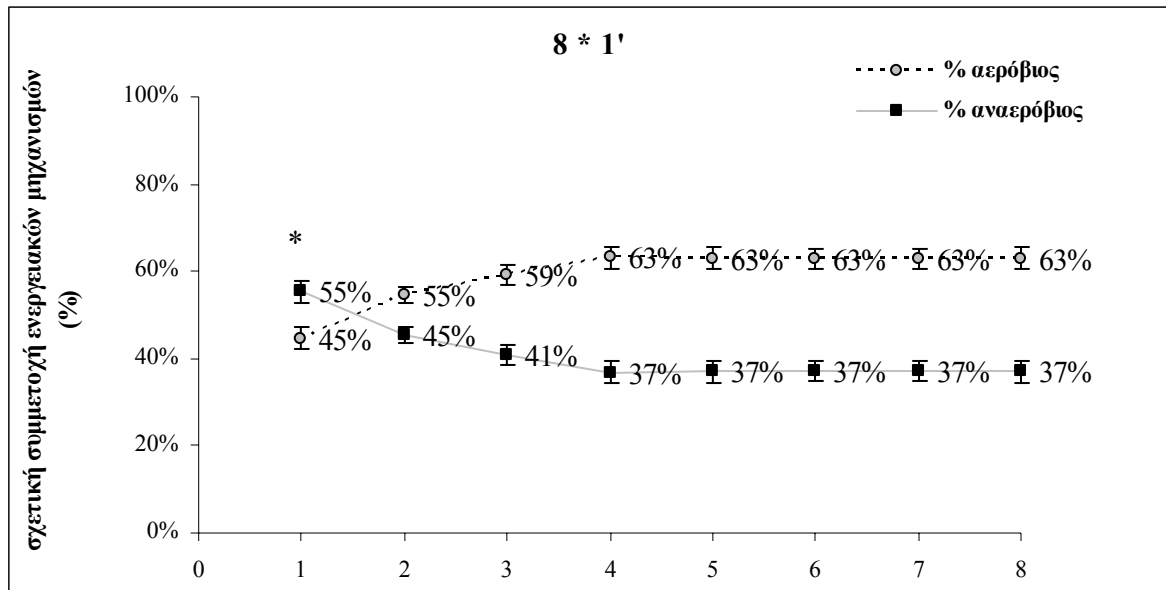


Η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας για τα μονόλεπτα, ήταν σημαντικά χαμηλότερη κατά την πρώτη προσπάθεια ($p < 0.01$) και στη συνέχεια αυξήθηκε και σταθεροποιήθηκε. Κυμάνθηκε από 45 % που ήταν στο 1^ο μονόλεπτο έως 63 % στο τέλος του 8^{ου} μονόλεπτου. Και κατά τα δίλεπτα, η συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού ήταν στατιστικά σημαντικά χαμηλότερη στην πρώτη προσπάθεια σε

σχέση με τις υπόλοιπες ($p < 0.01$) και κυμάνθηκε από 56 % στο 1^ο δίλεπτο έως 70 % στο τρίτο δίλεπτο και 67% στο τελευταίο, (σχήμα 4.9).

Όσον αφορά στο συνολικό χρόνο άσκησης, η συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού δεν είχε καμιά στατιστικά σημαντική διαφορά και ήταν 59 ± 6.4 % για τα μονόλεπτα και 64 ± 5.8 % για τα δίλεπτα.

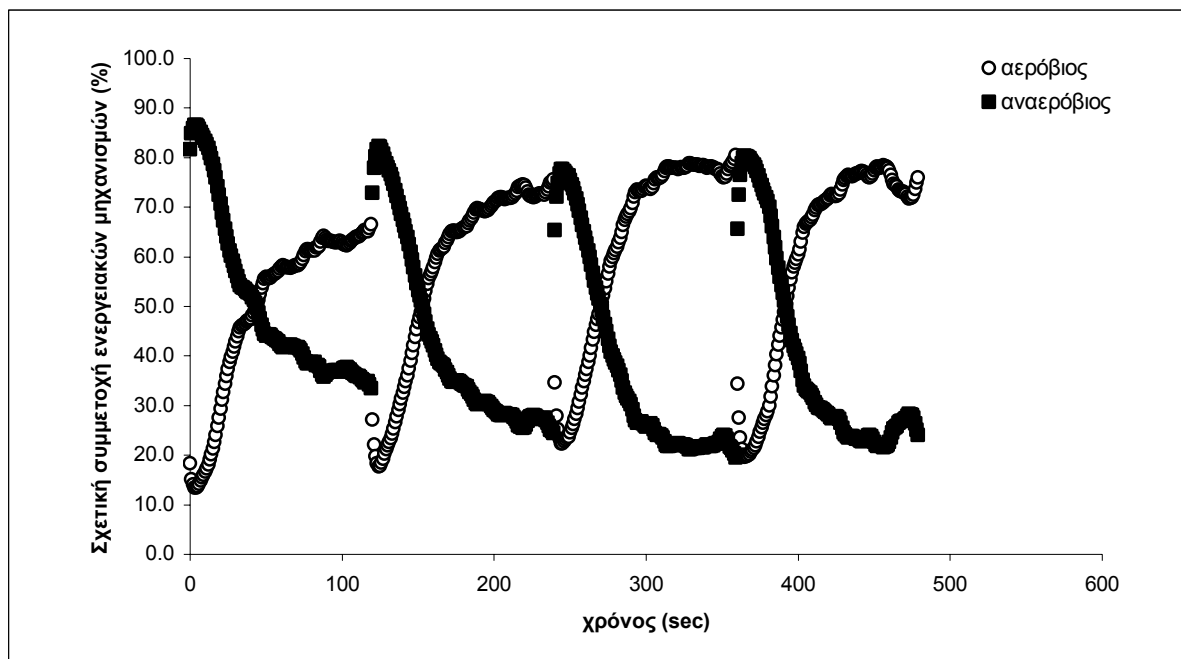
Σχήμα 4.9. Η σχετική συμμετοχή των μηχανισμών παραγωγής ενέργειας κατά τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες και στις δύο συνθήκες.



Είναι αξιοσημείωτη η αύξηση της αερόβιας παραγωγής ενέργειας κατά το 2^ο μισό της άσκησης στη συνθήκη των διλέπτων η οποία έφτασε μέχρι το 88 και

85 % στις δύο τελευταίες προσπάθειες (σχήμα 4.10).

Σχήμα 4.10. Η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού παραγωγής ενέργειας κατά τη συνθήκη των διλέπτων, εκφρασμένη ανά δευτερόλεπτο.

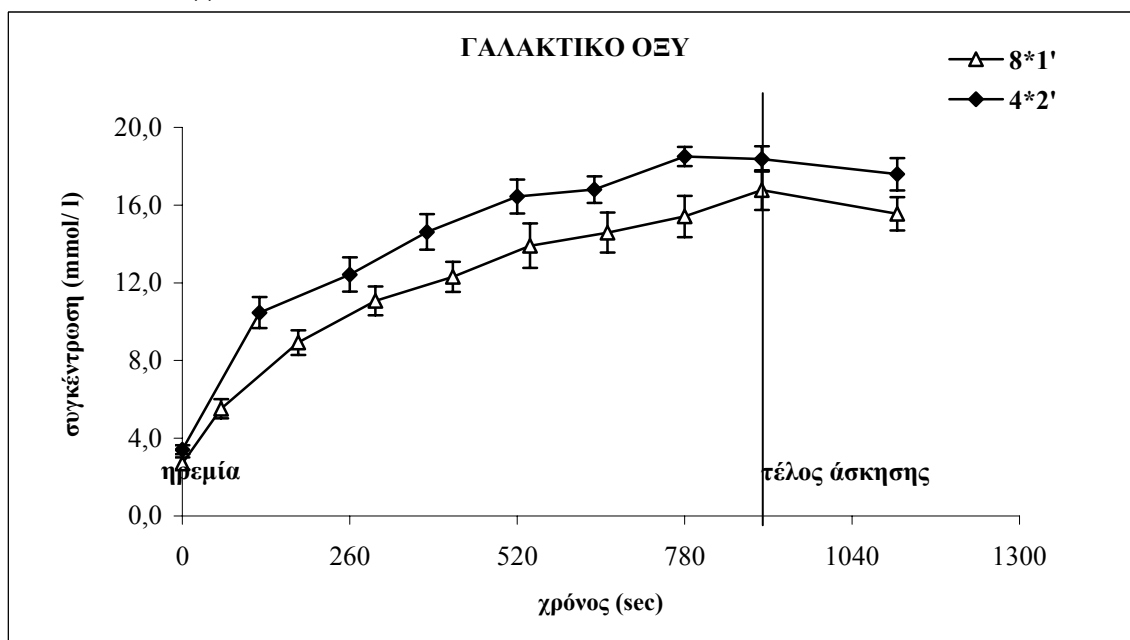


4.6 Γαλακτικό οξύ

Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος, ακολούθησε αυξητική πορεία και έφτασε, στο τέλος της άσκησης σε πολύ

υψηλές τιμές (16.8 ± 3.1 και 18.4 ± 1.9 mmol / L), κατά τα μονόμετρα και τα δίλεπτα, αντίστοιχα) (σχήμα 4.11).

Σχήμα 4.11. Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο τέλος κάθε προσπάθειας για τα μονόμετρα και τα δίλεπτα. Στα δίλεπτα υπάρχουν δύο τιμές για κάθε προσπάθεια, μία στο τέλος της προσπάθειας και μία στο 2^ο λεπτό του διαλείμματος.



Ο ρυθμός παραγωγής γαλακτικού οξέος ήταν αυξημένος στην πρώτη προσπάθεια (ιδιαίτερα κατά τη συνθήκη των διλέπτων) και στην συνέχεια

μειωνόταν ως το τέλος της άσκησης (σχήμα 4.12).

Σχήμα 4.12. Ο ρυθμός παραγωγής γαλακτικού οξέος κατά την άσκηση και κατά τα 3'30'' λεπτά της αποκατάστασης.



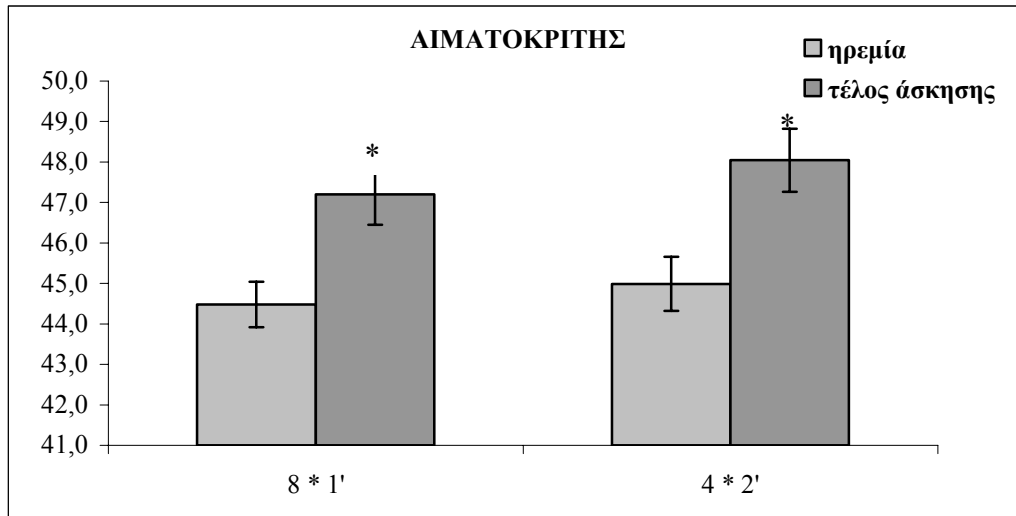
4.7 Καρδιακή συχνότητα

Η καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια της άσκησης και στις δύο συνθήκες κυμάνθηκε σε μέγιστα επίπεδα, ανάλογα με την ηλικία των δοκιμαζόμενων (183.3 ± 10 και 184.4 ± 9.5 παλμούς / λεπτό, για τα μονόμετρα και τα δίλεπτα, αντίστοιχα).

4.8 Αιματοκρίτης, αιμοσφαιρίνη και μεταβολές όγκου πλάσματος

Ο αιματοκρίτης και η αιμοσφαιρίνη των δοκιμαζόμενων μετρήθηκαν στην ηρεμία και 3'30'' μετά το τέλος της άσκησης.

Ο αιματοκρίτης των δοκιμαζόμενων παρουσίασε σημαντική αύξηση σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας (44.5 ± 1.7 στα μονόμετρα, 45 ± 2.0 στα δίλεπτα) 3 λεπτά και 30 sec μετά το τέλος της άσκησης και στα δύο πρωτόκολλα (47.2 ± 2.2 στα μονόμετρα, 48 ± 2.0 στα δίλεπτα, $p < 0.0001$) (σχήμα 4.13).

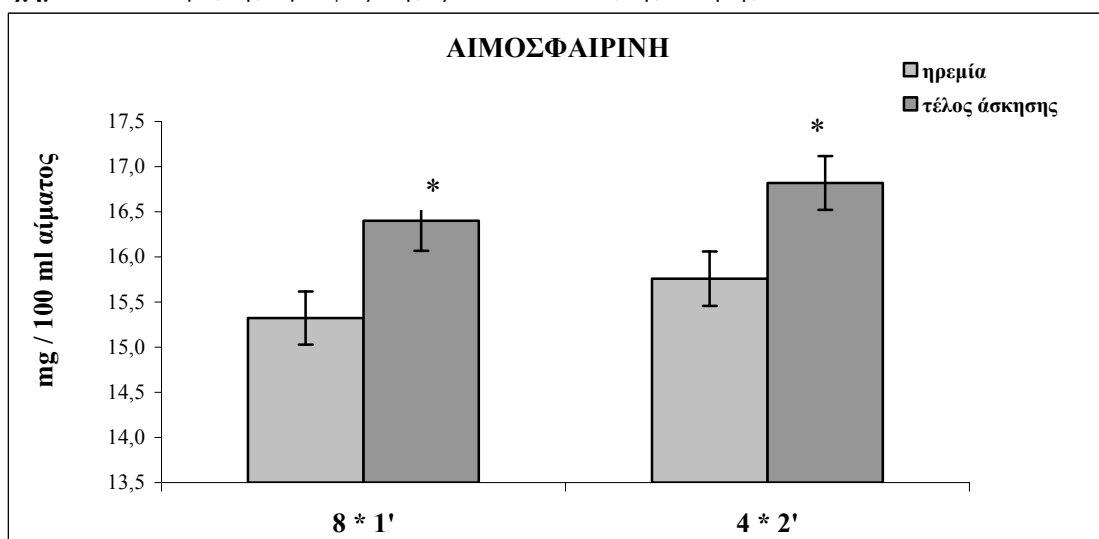
Σχήμα 4.13. Οι τιμές του αιματοκρίτη κατά την ηρεμία και στο τέλος της άσκησης.

* : στατιστικά σημαντική διαφορά από την ηρεμία ($p < 0.0001$)

Οι τιμές της αιμοσφαιρίνης, που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.14, αυξήθηκαν σημαντικά σε σχέση με τις τιμές ηρεμίας (15.3 ± 0.9 mg / 100 ml στα μονόμεντα, 15.8 ± 1 mg / 100 ml στα δίλεπτα) 3'30'' μετά το τέλος της άσκησης και στα δύο πρωτόκολλα (16.4 ± 1 mg / 100 ml στα μονόμεντα, 16.8 ± 1 mg / 100 ml στα δίλεπτα), $p < 0.0001$.

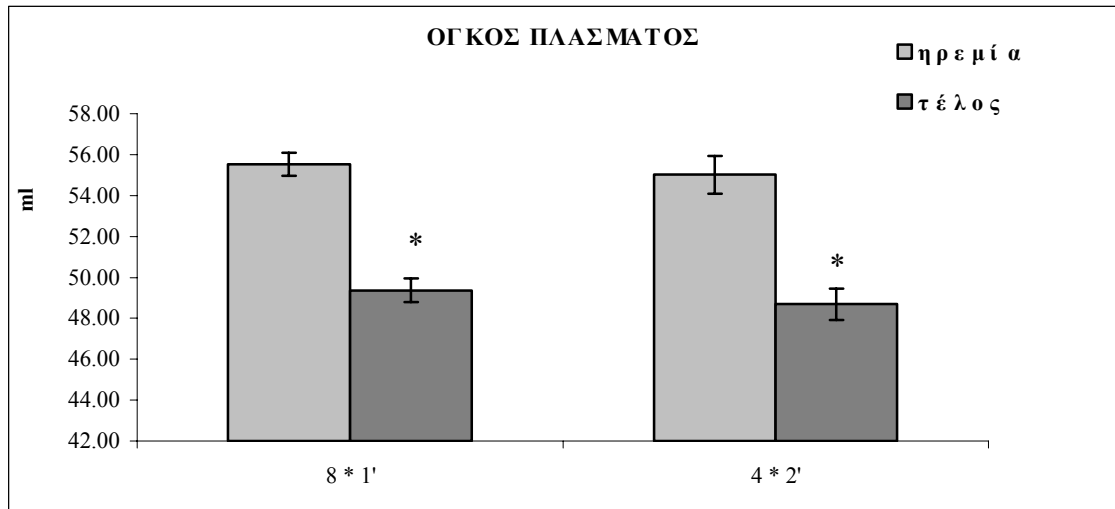
Ανάμεσα στις δύο συνθήκες άσκησης δε βρέθηκαν στατιστικά

σημαντικές διαφορές στις αλλαγές του όγκου πλάσματος, ο οποίος 3'30'' μετά το τέλος της άσκησης παρουσίασε μείωση κατά 11.1 ± 3.3 % στα μονόμεντα και 11.5 ± 2.8 % στα δίλεπτα, $p < 0.0001$ (σχήμα 4.15). Η αντίστοιχη απώλεια στον όγκο αίματος ήταν 6.5 ± 2.6 % στα μονόμεντα και 6.3 ± 2.2 % στα δίλεπτα, $p < 0.0001$.

Σχήμα 4.14. Οι τιμές της αιμοσφαιρίνης πριν και στο τέλος της άσκησης.

* : στατιστικά σημαντική διαφορά από την ηρεμία ($p < 0.0001$)

Σχήμα 4.15. Οι μεταβολές του όγκου πλάσματος πριν και μετά το τέλος της άσκησης.



* : στατιστικά σημαντική διαφορά από την ηρεμία ($p < 0.0001$)

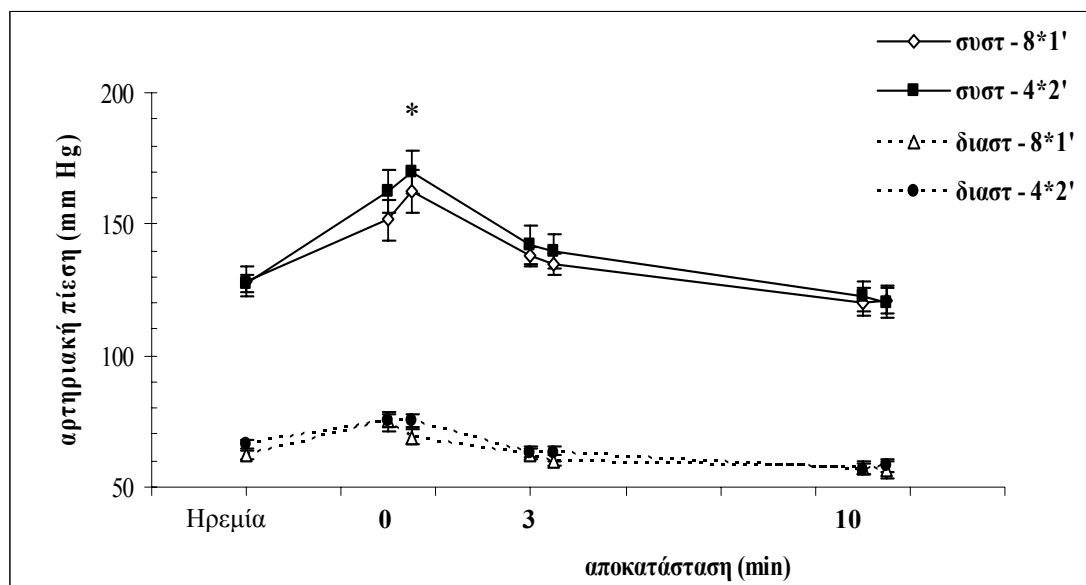
4.9 Συστολική, διαστολική και μέση πίεση

Η συστολική, διαστολική και μέση πίεση μετρήθηκαν κατά την ηρεμία, στο τέλος της άσκησης, στο 3'30'' και στο 10^ο λεπτό της αποκατάστασης.

Δε βρέθηκαν διαφορές στις αποκρίσεις της πίεσης ανάμεσα στις δύο συνθήκες άσκησης. Η συστολική πίεση αυξήθηκε από 128 ± 16 σε 157 ± 23 mm Hg στα μονόμετρα και από 127 ± 9 σε 166 ± 24 mm Hg στα δίλεπτα, ενώ επανήλθε στα επίπεδα ηρεμίας 3'30''

μετά το τέλος της άσκησης. Η διαστολική πίεση αυξήθηκε από 62 ± 5 σε 72 ± 8 mm Hg στα μονόμετρα και από 66 ± 6 σε 75 ± 6 mm Hg στα δίλεπτα και επανήλθε στα επίπεδα ηρεμίας 3'30'' μετά το τέλος της άσκησης (σχήμα 4.15). Παρόλο που οι τιμές της διαστολικής πίεσης στο 10^ο λεπτό της αποκατάστασης τείνουν να είναι χαμηλότερες από αυτές της ηρεμίας, εντούτοις αυτή η διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Σχήμα 4.16. Η αρτηριακή πίεση στην ηρεμία, το τέλος της άσκησης και κατά τα 3'30'' λεπτά της αποκατάστασης.



* : στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την ηρεμία, $p < 0.05$

Κεφάλαιο V

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Βασικά ευρήματα έρευνας

Το βασικό εύρημα της έρευνάς μας ήταν ότι η σχετική συμμετοχή των δύο μηχανισμών παραγωγής ενέργειας δε διέφερε σημαντικά ανάμεσα στις δύο συνθήκες άσκησης (συμμετοχή αερόβιου μηχανισμού 59% κατά τα μονόμετρα και 64% κατά τα δίλεπτα για το συνολικό χρόνο άσκησης). Ενώ αναμέναμε ότι κατά τη συνθήκη των μονόμετρων ο αναερόβιος μηχανισμός θα υπερισχύει έναντι του αερόβιου στην παραγωγή ενέργειας, η υπόθεση αυτή δεν επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματά μας, παρά μόνο κατά το πρώτο μονόμετρο. Σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες παρόμοιας χρονικής διάρκειας (Duffield et al, 2005; Spencer et al, 2001) η συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού υπερισχύει σε προσπάθειες του ενός λεπτού. Όμως από την παρούσα έρευνα φαίνεται πως όταν οι προσπάθειες αυτές επαναλαμβάνονται η παραγωγή ενέργειας προέρχεται κυρίως από αερόβιες διεργασίες. Επίσης, η έλλειψη στατιστικά σημαντικής διαφοράς στη συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού ανάμεσα στα μονόμετρα και τα δίλεπτα πιθανόν να οφείλεται στην ίδια χρονική διάρκεια της άσκησης και του διαλείμματος που χρησιμοποιήθηκε και στα δύο πρωτόκολλα.

Ένα άλλο σημαντικό εύρημα της έρευνάς μας ήταν πως η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού στην παραγωγή ενέργειας διατηρήθηκε σταθερή κατά την πάροδο των προσπαθειών (με εξαίρεση τα δύο πρώτα μονόμετρα) και στα δύο πρωτόκολλα σε αντίθεση με την αρχική μας υπόθεση. Όσον αφορά στα μονόμετρα, φαίνεται πως η χρονική διάρκεια του διαλείμματος (ένα λεπτό) ήταν αρκετή για ανασυντεθεί η PCr σε ένα μεγάλο

μέρος της (Bogdanis et al, 1995) με αποτέλεσμα να συνεισφέρει σημαντικά στην παραγωγή ενέργειας κατά τα πρώτα 30 sec της άσκησης. Στα δίλεπτα όπου το διάλειμμα ήταν ακόμα μεγαλύτερο (2'20''), παράλληλα με τη μερική ανασύνθεση της PCr υπήρχε χρόνος και για την απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος από τους λειτουργούντες μυς στο αίμα (Rieu και συν, 1988). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού ιδιαίτερα κατά το πρώτο λεπτό της άσκησης. Όταν μελετήσαμε τα δίλεπτα ως πρώτο και δεύτερο λεπτό (σχήμα 4.15), παρατηρήσαμε ότι υπήρχαν πολύ μεγάλες διαφορές στη σχετική συμμετοχή των δύο μηχανισμών παραγωγής ενέργειας. Κατά το πρώτο λεπτό η συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού ήταν αυξημένη και έφτανε το 50% της συνολικής παραγωγής ενέργειας για όλες τις προσπάθειες ενώ κατά το δεύτερο λεπτό υπερίσχυε δραματικά ο αερόβιος μηχανισμός με ποσοστά που έφταναν έως το 88 και 85% για τις δύο τελευταίες προσπάθειες.

5.2 Αναερόβια παραγωγή ενέργειας και έλλειμμα οξυγόνου κατά την επαναλαμβανόμενη άσκηση

Σύμφωνα με τα δεδομένα μας, η αναερόβια παραγωγή ενέργειας για μέγιστη άσκηση ενός και δύο λεπτών στο κωπηλατοεργόμετρο είναι 55 και 44 % της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, αντίστοιχα. Σε αντίστοιχες έρευνες με δρομείς (Duffield et al, 2005; Spencer et al, 2001; Hill, 1999), βρέθηκε ότι η αναερόβια συνεισφορά στο αγώνισμα των 400 m (49.3 – 52.2 s) κυμαίνεται από 57 - 63 % και στο αγώνισμα των 800 m (1.53 – 2.06 min)

από 39 – 39.7 %. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά στη συμμετοχή του αναερόβιου μηχανισμού σε μέγιστη προσπάθεια ακόμη και αν διαφέρει ο τύπος της άσκησης.

Το σημείο που διασταυρώνονται οι δύο μηχανισμοί, δηλαδή που συνεισφέρουν ίσα στην παραγωγή ενέργειας, κυμαίνεται μεταξύ 55 και 75 sec (Duffield, 2005; Gatin, 2001; Medbo and Tabata, 1989). Στην παρούσα έρευνα, το σημείο αυτό βρίσκεται περίπου στα 45 – 50 sec κατά την πρώτη προσπάθεια και στις επόμενες προσπάθειες μετακινείται προς τα αριστερά. Αυτό οφείλεται α) στο γεγονός ότι κατά το διάλειμμα μεταξύ των προσπαθειών η πρόσληψη οξυγόνου δεν επανέρχεται στα επίπεδα ηρεμίας με αποτέλεσμα η επόμενη προσπάθεια να ξεκινά με ήδη αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου και β) στο ότι η κινητική της πρόσληψης οξυγόνου είναι γρηγορότερη όταν προηγούνται προσπάθειες μεγάλης έντασης.

Για τον υπολογισμό της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο του ελλείμματος οξυγόνου (Medbo et al, 1988). Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο και για τις δύο συνθήκες άσκησης υπολογίστηκαν για τον κάθε δοκιμαζόμενο προεκτείνοντας τη σχέση μεταξύ της πρόσληψης οξυγόνου και της ισχύος που είχε υπολογιστεί κατά τις υπομέγιστες δοκιμασίες. Αυτή η διαδικασία βέβαια, προϋποθέτει ότι η μηχανική απόδοση θα παραμείνει σταθερή τόσο κατά τις υπομέγιστες όσο και κατά τις μέγιστες δοκιμασίες. Πολλοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι η μηχανική απόδοση κατά την άσκηση μεγάλης έντασης διαφοροποιείται, λόγω της πιθανής επιστράτευσης επιπλέον μυϊκών ομάδων λιγότερο αποδοτικών, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση των πραγματικών ενεργειακών δαπανών (Bangsbo et al, 1993; Astrand et al,

1986). Για παράδειγμα, η ενεργοποίηση των μυϊκών ομάδων του κορμού και των άνω άκρων κατά την πολύ έντονη άσκηση στην ποδηλασία, θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της μηχανικής απόδοσης που με τη σειρά του θα οδηγούσε σε υποεκτίμηση του πραγματικού ελλείμματος οξυγόνου και σε υπερεκτίμηση της συμμετοχής του αερόβιου μεταβολισμού. Δηλαδή, ότι το έλλειμμα οξυγόνου που σχετίζεται με μέγιστη παραγωγή ενέργειας δεν μπορεί να υπολογιστεί με απόλυτη ακρίβεια, καθώς δεν μπορούν να υπολογιστούν οι ακριβείς απαιτήσεις σε οξυγόνο των λειτουργούντων μυών. Αυτό το μειονέκτημα της μεθόδου του ελλείμματος οξυγόνου δεν επηρέασε τη συγκεκριμένη έρευνα, αφενός μεν γιατί οι ενεργειακές απαιτήσεις της άσκησης ήταν κοντά στη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\leq 120\%$), αφετέρου γιατί κατά την κωπηλασία λειτουργούν όλες οι μεγάλες μυϊκές ομάδες του κορμού και των άνω και κάτω άκρων (Steinacher, 1993), με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν άλλες μεγάλες μυϊκές ομάδες που θα μπορούσαν να επιστρατευθούν αλλάζοντας σημαντικά τη μηχανική της άσκησης.

Στην έρευνα μας, οι τιμές του ελλείμματος οξυγόνου ήταν μεγαλύτερες κατά τα δίλεπτα (2.8 ± 0.72 L) σε σχέση με τα μονόλεπτα (1.77 ± 0.42 L) και ειδικά η μέγιστη τιμή του παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δίλεπτο. Αυτό οφείλεται στη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια της άσκησης που συνεχώς αυξάνει το έλλειμμα οξυγόνου καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις δεν μπορούν να καλυφθούν από την αερόβια παραγωγή ενέργειας. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με δεδομένα και άλλων ερευνητών που βρήκαν ότι το έλλειμμα οξυγόνου σε δρομείς παρουσιάζει μέγιστη τιμή στο δεύτερο λεπτό της άσκησης (Duffield et al, 2005; Olesen et al, 1994).

Το έλλειμμα οξυγόνου παρουσιάζει σημαντική πτώση από τη δεύτερη κιόλας προσπάθεια και στις δύο συνθήκες άσκησης. Αυτό οφείλεται αφενός μεν στην μεγαλύτερη πρόσληψη οξυγόνου που είναι αυξημένη από την αρχή της άσκησης καθώς στο διάλειμμα δεν προλαβαίνει να επανέλθει στις τιμές ηρεμίας (ιδίως στη συνθήκη των μονόμεπτων), αφετέρου στις μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις λόγω πτώσης της ισχύος στις ακόλουθες προσπάθειες. Ένας άλλος παράγοντας που πιθανόν να επηρεάζει το έλλειμμα οξυγόνου σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες είναι η κινητική της πρόσληψης οξυγόνου που σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες παρουσιάζεται γρηγορότερη όταν έχει προηγηθεί άσκηση μεγάλης έντασης (Wilkerson et al, 2004; Burnley et al, 2002).

5.3 Πρόσληψη οξυγόνου κατά την επαναλαμβανόμενη άσκηση

Η πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια της άσκησης διατηρήθηκε σταθερή (με εξαίρεση αυτή του 1^{ου} μονόμεπτου) και κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα για όλες τις προσπάθειες και στις δύο πειραματικές συνθήκες (41.9 ± 4.2 και 41.3 ± 5.2 για τα μονόμεπτα και τα δίλεπτα, αντίστοιχα). Σύμφωνα όμως με την αρχική μας υπόθεση, αναμέναμε μεγαλύτερες τιμές στην πρόσληψη οξυγόνου κατά τα δίλεπτα. Η ασυμφωνία αυτή οφείλεται κατά ένα μέρος στο γεγονός ότι η πρόσληψη οξυγόνου κατά τη διάρκεια του διαλείμματος έπεφτε σημαντικά (σχεδόν σε τιμές ηρεμίας) με αποτέλεσμα στην επόμενη προσπάθεια να ξεκινάει από πολύ χαμηλά επίπεδα. Επίσης οι τιμές της πρόσληψης οξυγόνου στο τέλος των προσπαθειών δεν διέφεραν από αυτές των μονόμεπτων. Μια πιθανή εξήγηση του φαινομένου αυτού είναι ότι το γαλακτικό οξύ που παράχθηκε κατά την πρώτη προσπάθεια χρησιμοποιήθηκε

σαν πηγή ενέργειας για την επόμενη (Rieu et al, 1988). Επομένως, μεγάλο μέρος των ενεργειακών δαπανών κατά τη διάρκεια της άσκησης καλύπτονταν από τον αναερόβιο αερακτικό μεταβολισμό και την οξείδωση του γαλακτικού οξέος που παράχθηκε στις προηγούμενες προσπάθειες.

5.4 Ισχύς και παραγόμενο έργο

Η μέση και η μέγιστη ισχύς ήταν σημαντικά μεγαλύτερες κατά τα μονόμεπτα συγκριτικά με τα δίλεπτα ($p < 0.001$). Ενώ όμως η μέση ισχύς παρουσίασε σημαντική πτώση στο τέλος του κάθε πρωτοκόλλου και ιδιαίτερα στη συνθήκη των διλέπτων, η μέγιστη ισχύς διατηρήθηκε στα ίδια επίπεδα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέγιστη ισχύς επιτεύχθηκε στα πρώτα δευτερόλεπτα της άσκησης σε όλες τις προσπάθειες, όπου τα αποθέματα PCr ήταν αυξημένα λόγω της μερικής ανασύνθεσής τους κατά τη διάρκεια του διαλείμματος.

Παρατηρούμε ότι αντίθετα με την υπόθεσή μας για μεγαλύτερη πτώση της ισχύος (σε σχέση με την πρώτη προσπάθεια που θεωρήθηκε μέγιστη) κατά τα μονόμεπτα, αυτή παρουσίασε την ίδια μείωση και στις δύο συνθήκες και έφτασε στην τελευταία προσπάθεια μέχρι το 82% της μέγιστης για τα μονόμεπτα και 84% για τα δίλεπτα, αντίστοιχα. Η μειωμένη πτώση της ισχύος κατά τα μονόμεπτα οφείλεται κυρίως στη διατήρηση της συνεισφοράς του αναερόβιου μηχανισμού στην παραγωγή ενέργειας λόγω της ανασύνθεσης της PCr κατά την περίοδο του διαλείμματος.

Το συνολικό παραγόμενο έργο ήταν μεγαλύτερο κατά τα μονόμεπτα συγκριτικά με τα δίλεπτα (167.2 και 146.7 KJ), λόγω της εξάρτησής του από την ισχύ που ήταν σημαντικά μεγαλύτερη κατά τα μονόμεπτα σε σχέση με τα δίλεπτα (340.9 ± 47.5 και

305.8 ± 39.6 W, αντίστοιχα, $p < 0.0001$). Η χρήση του συνολικού παραγόμενου έργου ως δείκτη της αναερόβιας ικανότητας δεν ενδείκνυται γιατί δε λαμβάνει υπόψη την αερόβια παραγωγή έργου. Δηλαδή, δύο δοκιμαζόμενοι μπορεί να έχουν ίδιες επιδόσεις όσον αφορά στο συνολικά παραγόμενο έργο, αλλά διαφορετικά ελλείμματα οξυγόνου κατά τη διάρκεια ενός αναερόβιου τεστ (Withers et al, 1991).

5.5 Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος

Η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος στο τέλος της άσκησης έφτασε σε πολύ υψηλές τιμές και στις δύο συνθήκες άσκησης (σχήμα 4.11). Ο ρυθμός παραγωγής του κατά τα δίλεπτα ήταν αυξημένος στις δύο πρώτες προσπάθειες και στη συνέχεια μειώθηκε πολύ με αποτέλεσμα στο τέλος των δύο τελευταίων προσπαθειών να μην έχουμε καθόλου παραγωγή γαλακτικού οξέος (σχήμα 4.12). Αυτό μπορεί να σημαίνει α) ότι η παραγωγή ενέργειας στις προσπάθειες αυτές γινόταν κυρίως μέσα από αερόβιες διεργασίες όπως φαίνεται και από τη σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού που κατά το δεύτερο λεπτό της άσκησης ήταν ιδιαίτερα αυξημένη (σχήμα 4.10) και/ ή β) ότι το γαλακτικό οξύ που παράχθηκε κατά την πρώτη προσπάθεια χρησιμοποιήθηκε σαν πηγή ενέργειας για τις επόμενες. Παρατηρούμε επίσης πως κατά την αποκατάσταση και στα δύο πρωτόκολλα, η συγκέντρωση του γαλακτικού οξέος μειώνεται, γεγονός που υποδηλώνει πως έχει ξεκινήσει ήδη η φάση της οξειδωσής του. Ειδικά οι κωπηλάτες λόγω της φύσης του αθλήματος (χρονική διάρκεια και συμμετοχή όλων των μεγάλων μυϊκών ομάδων του σώματος) και της πολύ καλής προπονητικής τους κατάστασης, έχουν αυξημένη ικανότητα όχι μόνο παραγωγής αλλά και διάχυσης του

γαλακτικού οξέος στο αίμα (Messonnier et al, 1997).

Το γαλακτικό οξύ κατά την αποκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της αναερόβιας παραγωγής ενέργειας κατά την άσκηση (Lacour et al, 1990). Στην έρευνά μας δεν υπήρξε συσχέτιση μεταξύ των μέγιστων τιμών συγκέντρωσης γαλακτικού οξέος και του ελλείμματος οξυγόνου ούτε στο τέλος της πρώτης προσπάθειας, ούτε στο τέλος της συνολικής άσκησης. Αυτή η έλλειψη συσχέτισης πιθανόν να οφείλεται στον διαλειμματικό τύπο της άσκησης που επέτρεπε τη διάχυση του γαλακτικού οξέος στο αίμα κατά τα διαλείμματα ανάμεσα στις προσπάθειες και κατά συνέπεια την πρόωρη έναρξη των διαδικασιών οξειδωσής του.

5.6 Αρτηριακή πίεση πριν και μετά την επαναλαμβανόμενη άσκηση

Η μέση αρτηριακή πίεση των δοκιμαζόμενων αυξήθηκε σημαντικά από την ηρεμία και έφτασε στο τέλος της άσκησης τα 103 ± 10 και 106 ± 9 mm Hg, στα μονόλεπτα και τα δίλεπτα, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι λίγο χαμηλότερες από αυτές που μέτρησαν ο Clifford και συνεργάτες (1994) σε κωπηλάτες κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης δοκιμασίας 6 min ($110 \pm 13 - 122 \pm 24$ mm Hg). Η διαφορά αυτή στις τιμές της μέσης πίεσης πιθανόν να οφείλεται στον διαλειμματικό τύπο και στη διαφορετική χρονική διάρκεια της άσκησης στην παρούσα έρευνα. Η αρτηριακή πίεση που αυξήθηκε μετά την άσκηση, επέστρεψε στα επίπεδα ηρεμίας μετά από 4 min αποκατάστασης. Η διαστολική πίεση είχε την τάση να μειωθεί (ήταν οριακά μη σημαντική) και κάτω από τα επίπεδα ηρεμίας 10 min μετά το τέλος της άσκησης στη συνθήκη των δίλεπτων, παρά το γεγονός ότι η καρδιακή συχνότητα παρέμεινε αυξημένη. Πιθανές αιτίες για το

φαινόμενο αυτό είναι η ενεργοποίηση μεγάλου ποσοστού της συνολικής μυϊκής μάζας στην κωπηλασία καθώς και η παθητική αποκατάσταση που προκαλούν μείωση της αιματικής ροής στα άκρα λόγω της μεγάλης συνολικής περιφερικής αντίστασης που πιθανόν προέρχεται από την τοπικά αυξημένη ενδομυϊκή πίεση στους λειτουργούντες μυς (Bogdanis et al, 1995).

Ένας παράγοντας που μπορεί να αυξήσει την ενδομυϊκή πίεση και να εμποδίσει σημαντικά την αιματική ροή στη περιοχή των μυών είναι η μετακίνηση νερού από το αίμα στους λειτουργούντες μυς. Σύμφωνα με τους Sjogaard και Saltin (1982), μετά από έντονη άσκηση η συνολική ποσότητα νερού στον έξω πλατύ μηριαίο αυξήθηκε κατά ~ 15% κυρίως λόγω αύξησης του εξωκυττάριου νερού. Στην παρούσα έρευνα η ποσότητα του νερού που μετακινήθηκε από το αίμα στους μυς υποδηλώνεται από τις μεγάλες αλλαγές στον όγκο πλάσματος (-11.1 και -11.5 %, στα μονόμεπτα και τα δίλεπτα, αντίστοιχα).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η σχετική συμμετοχή των δύο μηχανισμών παραγωγής ενέργειας δε διέφερε σημαντικά ανάμεσα στις δύο συνθήκες.
- Η σχετική συμμετοχή του αερόβιου μηχανισμού στη συνολική παραγωγή ενέργειας

διατηρήθηκε σταθερή και στα δύο πρωτόκολλα (με εξαίρεση στα δύο πρώτα μονόμεπτα όπου ήταν πιο χαμηλή).

- Η πρόσληψη οξυγόνου διατηρήθηκε σταθερή και κυμάνθηκε στα ίδια και για τις δύο πειραματικές συνθήκες ενώ το συνολικό έλλειμμα οξυγόνου ήταν μεγαλύτερο κατά τη συνθήκη των διλέπτων.
- Η αρτηριακή πίεση αυξήθηκε σημαντικά στο τέλος της άσκησης και επέστρεψε στα επίπεδα ηρεμίας στο τέταρτο λεπτό της αποκατάστασης και στις δύο συνθήκες.
- Τέλος, το συνολικά παραγόμενο έργο, η μέση και η μέγιστη ισχύς ήταν σημαντικά μεγαλύτερες κατά τα μονόμεπτα παρόλο που ο συνολικός χρόνος άσκησης και διαλείμματος ήταν ίδιος και στις δύο συνθήκες. Επομένως, σαν προπονητική εφαρμογή των ευρημάτων της παρούσας έρευνας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το πρωτόκολλο των μονόμεπτων είναι καταλληλότερο από αυτό το διλέπτων όσον αφορά στη βελτίωση της αερόβιας και αναερόβιας ικανότητας των κωπηλατών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Astrand, P. O. & Saltin, B. (1961). Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *Journal of Applied Physiology*, 16, 971-976.
- Astrand, P. O., Hultman, E., Juhlin-Dannfelt, A. & Reynolds, G. (1986). Disposal of lactate during and after strenuous exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 61, 338-343.
- Bangsbo, J., Michalsik, L. & Petersen, A. (1993). Accumulated oxygen deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 14 (4), 207-213.
- Bangsbo, J. (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (1), 47-52.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Gonzalez-Alonso, J. & Saltin, B. (2001). ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *American Journal of Physiology*, 280 (6), E956-E964.
- Barstow, T. J. & Mole, P. A. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 71, 2099-2106.
- Barstow, T. J., Casaburi, R. & Wasserman, K. (1993). O₂ uptake kinetics and O₂ deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *Journal of Applied Physiology*, 75, 755-762.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K. & Nevill, A. M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in men. *Journal of Physiology*, 482, 467-480.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. & Lakomy, H. K. (1996a). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80 (3), 876-884.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A., Graham, C. M. & Louis, G. (1996b). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 74, 461-469.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. & Boobis, L. H. (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163, 261-272.
- Bourgois, J. & Vrijens J. (1998). Metabolic and cardiorespiratory responses in young oarsmen during prolonged exercise tests on a rowing ergometer at power outputs corresponding to two concepts of anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 164-169.
- Bourgois, J., Claessens A. L., Janssens, M., Van Renterghem, B., Loos, R., Thomis, M., Philippaerts, R., Lefevre, J. & Vrijens J. (2001). Anthropometric characteristics of elite female junior rowers. *Journal of Sports Sciences*, 19, 195-202.
- Burnley, M., Doust, J. H., Ball, D. & Jones, A. M. (2002). Effects of prior heavy exercise on VO₂ kinetics during heavy exercise are related to changes in muscle activity. *Journal of Applied Physiology*, 93, 161-174.

- Calbet, J. A., De Paz, J. A., Garatachea, N., Cabeza de Vaca, S. & Chavarren, J. (2003). Anaerobic energy provision does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, 94, 668-676.
- Casaburi, R., Barstow, T. J., Robinson, T. & Wasserman, K. (1989). Influence of work rate on ventilatory and gas exchange kinetics. *Journal of Applied Physiology*, 67, 547-555.
- Clifford, P. S., Hanel, B. & Secher, N. H. (1994). Arterial blood pressure response to rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (6), 715-719.
- Cosgrove, M. J., Wilson, J., Watt, D. & Grant, S. F. (1999). The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000-m ergometer test. *Journal of Sports Sciences*, 17, 845-852.
- Craig, N. P., Norton, K. I., Conyers, R. A., Woolford, S. M., Bourdon, P. C., Stanef, T. & Walsh, C. B. (1995). Influence of test duration and event specificity on maximal accumulated oxygen deficit on high performance track cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (8), 534-540.
- Dill, D. B. & Costill, D. L. (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 37(2), 247-248.
- Di Prampero P. E., Cortili G., Celentano F. & Cerretelli, P. (1971). Physiological aspects of rowing. *Journal of Applied Physiology*, 31 (6), 853-857.
- Duffield, R., Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23 (3), 299-307.
- Faina, M., Billat, V., Squadrone, R., De Angelis, M., Koralsztejn, J. P. & Dal Monte A. (1997). Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakers and swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 76, 13-20.
- Fox, E. L., Robinson, S. & Wiegman, D. L. (1969). Metabolic energy sources during continuous and interval running. *Journal of Applied Physiology*, 27 (2), 174-178.
- Gaesser, G. A. & Brooks, G. A. (1984). Metabolic basis of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16 (1), 29-43.
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75, 712-719.
- Gastin, P. B. & Lawson, D. L. (1994). Influence of training status on maximal accumulated oxygen deficit during all-out exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 69, 321-330.
- Gastin, P. B., Costill, D. L., Lawson, D. L., Krzeminski, K. & McConell, G. K. (1995). Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (2), 255-263.
- Gastin P. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31 (10), 725-741.
- Glaister, M. (2005). Multiple sprint work. Physiological responses, mechanisms of fatigue and the

- influence of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 35 (9), 757-777.
- Hagerman, F. C., Connors, M. C., Gault, J. A., Hagerman, G. R. & Polinski, W. J. (1978). Energy expenditure during simulated rowing. *Journal of Applied Physiology*, 45 (1), 87-93.
- Hagerman F. C. (1984). Applied physiology of rowing. *Sports Medicine*, 1, 303-326.
- Hebestreit, H., Hebestreit, A., Trusen, A. & Hughson, R. (2005). Oxygen uptake kinetics are slowed in cystic fibrosis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (1), 10-17.
- Hill, D.W. (1999). Energy system contributions in middle-distance running events. *Journal of Sports Sciences*, 17, 477-483.
- Ingham, S. A., Whyte, G. P., Jones, K. & Nevill, A. M. (2002). Determinants of 2000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 243-246.
- Kemp, G. J., Meyerspeer, M. & Moser, E. (2007). Absolute quantification of phosphorus metabolite concentrations in human muscle in vivo by ³¹P MRS: a quantitative review. *NMR in Biomedicine*, 20, 555-565.
- Koppo, K., Bouckaert, J. & Jones, A. M. (2004). Effects of training status and exercise intensity on Phase II VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (2), 225-232.
- Lacour, J. R., Bouvat, E. & Bartelety, J. C. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *European Journal of Applied Physiology*, 61, 172-176.
- Margaria, R., Edwards, H. T. & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology*, 106, 689-715.
- Medbo, J. I., Mohn, A., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology*, 64 (1), 50-60.
- Medbo, J. I. & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhaustive bicycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 67 (5), 1881-1886.
- Medbo, J. I. & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology*, 75 (4), 1654-60.
- Messonnier, L., Freund, H., Bourdin, M., Belli, A. & Lacour, J. (1997). Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (3), 396-401.
- Nielsen, T.S. (2001). Daily training programme. FISA Development Programme, Lausanne, Switzerland.
- Olesen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J. & Secher, N. H. (1994). Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 69, 140-146.
- Pringle, J. S., Doust, J. H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I. T. & Jones, A. M. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fibre type capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 289-300.
- Pripstein, L. P., Rhodes, E. C., McKenzie, D. C. & Coutts, K. D.

- (1999). Aerobic and anaerobic energy during a 2-km race simulation in female rowers. *European Journal of Applied Physiology*, 79, 491-494.
- Riechman, S. E., Zoeller, R. F., Balasekaran, G., Goss, F. L. & Robertson R. J. (2002). Prediction of 2000 m indoor rowing performance using a 30 s sprint and maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Sciences*, 20, 681-687.
- Rieu, M., Duvallet, A., Scharapan, L., Thieulart, L. & Ferry, A. (1988). Blood lactate accumulation in intermittent supramaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 235-242.
- Russell, A. P., Le Rossignol, P. F. & Sparrow, W. A. (1998). Prediction of elite schoolboy 2000-m rowing ergometer performance from metabolic, anthropometric and strength variables. *Journal of Sports Sciences*, 16, 749-754.
- Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G. & Bunt, J. C. (1991). The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (5), 618-624.
- Secher N. (1983). The physiology of rowing. *Journal of Sports Sciences*, 1, 23-53.
- Secher N. (1990). Rowing. In Reilly et al (Eds) *Physiology of sports*, pp 259-285, E & F. N. Spon, London.
- Secher N. (1993). Physiological and biomechanical aspects of rowing. *Sports Medicine*, 15 (1), 24-42.
- Shephard R. J. (1998). Science and medicine of rowing: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16, 603-620.
- Sjogaard, G. & Saltin, B. (1982). Extra and intracellular water spaces in muscles of man at rest and with dynamic exercise. *American Journal of Physiology*, 243 (12), R271-R280.
- Spencer, M. R. & Gastin, P.B. (2001). Energy system contribution during 200 to 1500m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (1), 157-162.
- Spriet, L. L., Soderlund, K., Bergstrom, M. & Hultman, E. (1987). Anaerobic energy release in skeletal muscle during electrical stimulation in men. *Journal of Applied Physiology*, 62 (2), 611-615.
- Steinacker, J. M., Marx, T. R., Marx, U. & Lormes, W. (1986). Oxygen consumption and metabolic strain in rowing ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 240-247.
- Steinacker J. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *International Journal of Sports Medicine*, 14 (Suppl 1), S3-S10.
- Whipp, B. J. (1994). The slow component of O₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1319-1326.
- Wilkerson, D. P., Koppo, K., Barstow, T. J. & Jones, A. M. (2004). Effect of prior multiple-sprint exercise on pulmonary O₂ uptake kinetics following the onset of perimaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 97, 1227-1236.
- Withers, R. T., Sherman, W. M., Clark, D. G., Esselbach, P. C., Nolan, S. R., Mackay, M. H. & Brinkman, M. (1991). Muscle metabolism during 30, 60 and 90 s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *European Journal of Applied Physiology*, 63, 354-362.
- Withers, R. T., Van Der Ploeg, G. & Finn, J. P. (1993). Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75 and 90-s

- maximal cycling on an air-braked ergometer. *European Journal of Applied Physiology*, 67, 185-191.
- Xu, F. & Rhodes, E. C. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*, 27 (5), 313-327.
- Yoshiga C. C. & Higuchi M. (2002). Heart rate is lower during ergometer rowing than during treadmill running. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 97-100.
- Yoshiga C. C. & Higuchi M. (2003). Oxygen uptake and ventilation during rowing and running in females and males. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 13, 359-363.
- Zoladz, J. A. & Korzeniewski, B. (2001). Physiological background of the change point in VO_2 and the slow component of oxygen uptake kinetics. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 52 (2), 167-184.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΓΡΑΠΤΗ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗ – ΑΠΟΔΟΧΗ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος
 δηλώνω ότι έχω ενημερωθεί για το σκοπό των διαδικασιών της έρευνας που αποβλέπουν στην αξιολόγηση της σχετικής συμμετοχής των ενεργειακών μηχανισμών κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενης άσκησης στην κωπηλασία, που διεξάγεται στο εργαστήριο Εργοφυσιολογίας. Μου έγιναν γνωστές οι δοκιμασίες στις οποίες πρόκειται να υποβληθώ και οι πιθανοί κίνδυνοι που προκύπτουν από αυτές. Γνωρίζω ότι λαμβάνονται όλα τα μέτρα από τους διεξάγοντες την έρευνα για την αποφυγή οποιουδήποτε σωματικού τραυματισμού και λαμβάνω μέρος στις μετρήσεις συνειδητά και αβίαστα με σκοπό να βοηθήσω στη συλλογή πληροφοριών για την παραγωγή καινούριας γνώσης.

Μου είναι σαφές ότι μπορώ σε οποιοδήποτε στάδιο των μετρήσεων να αποσύρω την συμμετοχή μου και να αποχωρήσω, χωρίς να χρειάζεται να δικαιολογήσω την απόφασή μου και χωρίς να υποστώ οποιαδήποτε επίπτωση. Έχω λάβει την διαβεβαίωση ότι τα προσωπικά μου στοιχεία και τα δεδομένα από τις μετρήσεις είναι αυστηρά εμπιστευτικά και θα χρησιμοποιηθούν μόνο για τους γνωστούς σε μένα σκοπούς της έρευνας. Θα μπορώ να έχω πρόσβαση σ'αυτά μετά από συνεννόηση με τους υπευθύνους.

Έχοντας υπόψη όλα τα παραπάνω συναινώ στη συμμετοχή μου στη συγκεκριμένη εργασία και αποδέχομαι να συμμετάσχω στις δοκιμασίες που προβλέπονται από το πρωτόκολλο της έρευνας.

Ημερομηνία.....

.....

Ο εξεταστής

.....

Ο δοκιμαζόμενος

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Δοκιμαζόμενος:

Ύψος:

Βάρος:

Ηλικία:

Αντίσταση (drag factor):

Χρόνος (min)	Επιβάρυνση (time/500m)	ΚΣ (bpm)
1	2:30	
2	2:25	
3	2:20	
4	2:15	
5	2:10	
6	2:05	
7	2:00	
8	1:55	
9	1:50	
10	1:45	
11	1:40	
12	1:35	
13		
14		

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΥΠΟΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΟΚΙΜΑΣΙΩΝ

Δοκιμαζόμενος:

Ύψος:

Βάρος:

Ηλικία:

Αντίσταση (Drag factor):

1^ο στάδιο. Ένταση: 30%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

2^ο στάδιο. Ένταση: 40%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

3^ο στάδιο. Ένταση: 50%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

4^ο στάδιο. Ένταση: 60%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

5^ο στάδιο. Ένταση: 70%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

6^ο στάδιο. Ένταση: 80%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

7^ο στάδιο. Ένταση: 90%VO₂max

Χρόνος	VO ₂	ΚΣ	

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Δοκιμαζόμενος:

Ύψος:

Βάρος:

Ηλικία:

Αντίσταση (drag factor):

				Πίεση					
		VO2max	KΣ	Συστολική	Διαστολική	Μέση	Hb	Hct	La
	ΗΡΕΜΙΑ								
4 * 2'	1								
	2								
	3								
	4								
	ΤΕΛΟΣ ΑΣΚΗΣΗΣ								
	3'30"								
	10'								

				Πίεση					
		VO2max	KΣ	Συστολική	Διαστολική	Μέση	Hb	Hct	La
	ΗΡΕΜΙΑ								
8 * 1'	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	ΤΕΛΟΣ ΑΣΚΗΣΗΣ								
	3'30"								
	10'								

ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πίνακας 1. Δεδομένα μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου.

Δοκιμαζόμενοι Χρόνος (sec)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	12,9	5,2	6	7,2	9,1	9,1	11,8	13,6	5,7
30	4,7	5	5,9	6,6	5,5	8,4	7,5	8,5	3,5
45	7	6,1	5,7	5,5	5,6	7,8	7,5	5,8	5,3
60	6,6	5,4	5,7	5	7,1	7,8	5,5	8,6	3,6
75	4,9	5,5	5,7	4,3	4,6	10,5	4,9	7,4	5,7
90	6,1	6	7,5	4,7	3	6,1	4,5	10,2	5
105	6,6	4,6	5,9	6,4	4,3	10,1	8,3	8,6	5,8
120	11	6,6	4,5	5,6	7,9	7,9	4,7	5,7	2,5
135	8,6	6,1	5,7	5,3	7	5,7	6,5	10,3	5,9
150	6,8	6,2	5,7	9,1	6	9,2	4,3	5,5	6,6
165	8,8	4,1	4,7	6,1	4	5,4	4,4	8,5	3,2
180	8,1	5,3	4,3	5,6	6,4	5,7	6,3	8,8	4,3
195	7,3	5,3	5,4	11,3	10,4	4,7	7	5,6	6,8
210	8,3	4,1	5,4	11,7	10,7	9	5,2	7,3	12,6
225	9	5,8	3,4	17	16,9	12,5	3,8	4,4	15,5
240	15	7,4	6,3	21	22,1	12,7	6,1	6,6	22,5
255	19,8	9,2	5,2	26,1	27,6	23	6,3	6,2	23,7
270	23,7	15	5,1	24,8	25,4	24,5	12	9,5	30,6
285	26,1	22,4	13,2	26,4	27,2	30,6	16,8	13,3	30
300	27,5	24,9	12,8	25,5	27,6	28,9	19,9	20	32,3
315	26,9	27,1	26,6	33,1	28,8	29,5	25,3	24,8	27,9
330	27,6	26,9	28,5	27,9	28,4	28,8	27,2	27,1	34,2
345	28,1	29,2	37	28,8	28,2	30,6	32,2	33,6	30,4
360	27,8	29,2	37	28,3	30,3	29,2	27,8	30,6	35,1
375	26,5	29,2	38,1	27,2	30,3	29,2	30,3	29	32,9
390	35,7	30,1	39,7	27,8	29,5	27,7	36,1	28,7	33
405	30,3	30,6	41,4	30,7	31,2	34,1	30,8	30,7	35
420	29,8	29,7	42,2	33,4	33,7	31,1	29,4	30,8	29,3
435	32,2	33,6	41,4	27,5	32,1	31,2	37,5	32,3	39,3
450	37,1	32,1	39,1	32,8	32,2	34,8	32,6	31,2	35,6
465	35,4	33,8	42,8	30,8	32,7	32,9	36,5	33	37,6
480	32,3	34,6	40,5	33,3	33,9	30,8	36	35,4	38,4
495	36,3	34,4	44,4	33	34,8	37,5	35,4	34,2	40,4
510	36	35,5	47,6	32,4	35,2	36,6	35,5	35,9	39,1
525	41,1	41,4	42,8	31,5	36,9	37	38,9	35,3	39,9
540	37,2	44,7	41,6	36,4	37,2	39,6	36,7	37,8	40,2
555	49	45,5	48,8	34,8	38	36,6	37,7	39,5	41,7
570	39,1	44	43,8	35,8	36,2	39,8	55,3	36,3	41,6
585	40	47,4	48,8	35,4	41,5	38,7	44,9	40,9	41,9
600	40,2	45,9	45,1	35	40,5	39,1	40,4	38,9	43,4
615	41,1	49,8	48,1	36,5	41,5	42,6	40	40,5	46,7

630	52,8	47,8	51,3	36,4	41,3	40,2	40,6	40,9	45,9
645	42	50	50,6	36,7	42,9	43,4	41,1	41,9	46,1
660	57,2	48,1	52,3	40,2	44,1	44,6	46,1	42,4	47,6
675	61,4	50	53,2	39,2	44,1	44,2	53,6	44,9	46,7
690	56,5	52,5	55,3	39,2	44,4	45	47	43,4	46,2
705	48,2	52,8	56,4	38,7	45,9	47,5	48,8	46,9	48,2
720	52,9	49,6	54,6	41,7	46,2	46,2	54,7	45,4	51,6
735	52,6	53,3	56,3	39,6	47,6	47,9	57,3	46,5	48,8
750	54,6	52,9	58,9	40,9	48,1	49,4	56,6	47,2	50,5
765	54,6	52,9	58,7	40,3	47,5	50,8	52,4	48,3	50,8
780	58,3	53,1	58	43,1	48,7	52,1	50,7	49,4	51,5
795	53	56,8	60	43,6	48,6	51,7	56,4	50,4	49,7
810	58,7	55,8	60,7	43,6	47,5	53,1	53,8	51,1	56
825	55,3	54,9	60,4	44,8	43,4	54,7	56,7	51,3	53,4
840	58,5	57,1	62,5	45,5		54,5	56,8	52,3	54,2
855	57,7	57,5	53,6	46,4		55	56,5	52,8	54,3
870	57,5	58,6		46,5		58,9	56,8	53,5	56
885	58,5	58,9		46,8		58,5	58,8	55	55
900	56,3	61,2		47,1		59	58,5	54,5	56,2
915	42,1	63,4		45,8		59,1	55,1	54,1	55,5
930		60,5		37,8		60,5	59,7	54,2	51,9
945		63,4				59,7	51,4	50,1	42,1
		60,3				57,9			

Πίνακας 2. Δεδομένα πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των επαναλαμβανόμενων μέγιστων δοκιμασιών (σε ml / kg / min).

	8 * 1'							
N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	39.7	48.2	49.7	51.0	49.2	46.9	45.9	38.0
2	34.2	40.1	39.0	37.7	33.7	34.6	39.9	40.0
3	34.0	42.3	42.3	41.1	42.5	46.0	44.4	44.6
4	27.4	36.0	37.5	39.8	39.0	36.2	34.2	35.0
5	36.9	43.4	42.3	48.6	46.6	45.0	43.1	42.6
6	36.0	41.4	43.2	43.7	43.2	42.8	42.3	40.6
7	37.2	42.6	44.8	45.2	45.0	44.2	43.8	43.7
8	38.7	46.8	48.4	49.3	49.2	47.8	46.5	47.2
9	31.4	39.4	40.8	41.0	44.0	42.9	42.0	42.3
10	36.2	47.4	45.1	52.6	48.8	48.0	47.5	47.3
MO	35.2	42.8	43.3	45.0	44.1	43.4	42.9	42.1
SD	3.64	3.86	3.84	5.14	4.92	4.63	3.84	3.90

	4 * 2'			
N	1	2	3	4
1	48.7	42.6	55.4	44.1
2	34.9	40.9	41.1	40.4
3	45.1	45.2	47.2	44.9
4	30.0	36.5	35.7	33.2
5	40.9	46.3	47.0	44.2
6	44.9	45.8	43.8	39.9
7	34.2	38.0	37.0	36.6
8	35.6	37.5	36.1	36.2
9	45.0	45.8	44.7	42.3
MO	39.9	42.1	43.1	40.2
SD	6.43	3.95	6.42	4.12

* MO : μέσος όρος, SD : σταθερή απόκλιση

Πίνακας 3. Δεδομένα ισχύος κατά τη διάρκεια των επαναλαμβανόμενων μέγιστων δοκιμασιών (σε Watt).

	8 * 1'							
N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	418.2	414.8	406.5	410.2	396.7	369.2	373.4	351.3
2	423	367.1	293.2	266.4	229.4	246.8	244.2	262.3
3	439.2	446.4	433.1	412.7	376.8	373.8	364.1	353
4	360.1	344.7	340.1	334.6	305.3	299	291.5	301.7
5	412	403.1	386.7	389.7	385.4	374.5	373.5	394
6	383.8	377.6	363.4	342.9	333	325.1	321.7	297.1
7	313.8	331.4	318	292.5	277	271.4	271.3	280.4
8	411.6	419.4	436.9	431.3	420.1	411	411.2	410.1
9	393.2	380.1	370.1	350.3	334.9	334	334.5	320.9
10	296.1	290.5	275.1	281.7	273.1	272.3	267.1	265.8
MO	385.1	377.51	362.31	351.23	333.17	327.71	325.25	323.66
SD	47.82	46.47	55.80	58.66	61.95	54.40	55.42	51.88

	4 * 2'			
N	1	2	3	4
1	422.2	351.8	286.3	302.2
2	303.1	288.2	271.2	265.9
3	392.99	391.55	348.61	328.5
4	317.71	290.11	260.07	256.07
5	327.2	347.82	348.77	372.06
6	371.03	343.96	273.72	249.44
7	311.88	285.51	255.81	253.76
8	314.8	307.3	293.4	284.8
9	275.5	251.5	236.4	217.4
MO	337.4	317.5	286.0	281.1
SD	47.53	43.83	39.26	46.96

* MO : μέσος όρος, SD : σταθερή απόκλιση

Πίνακας 4. Δεδομένα μέτρων που διανύθηκαν κατά τη διάρκεια των επαναλαμβανόμενων δοκιμασιών (σε m).

8 * 1'								
N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	319.7	317.5	315.5	313.8	311.5	305.5	305.8	301.2
2	320.1	305.1	282.9	273.8	260.4	266.8	266.4	272.8
3	324	325.7	322.7	316.1	307.5	307.4	304.2	301.4
4	303.2	298.8	297	295	287.3	285.4	283	286.1
5	317.7	315.6	311.5	312.1	309.8	308.3	307.1	312
6	310	307.9	303	297.4	295.7	291.8	292.6	281.7
7	289.8	295.5	291.3	283.2	278	276.4	276.6	279
8	312.2	309.8	306.6	300.7	295.8	294.9	295.1	292.5
9	283.9	282	276	272.4	275.2	275.4	274.5	274.1
MO	309.0	306.4	300.7	296.1	291.2	290.2	289.5	289.0
SD	14.1	13.1	15.4	16.7	17.5	15.3	15.0	13.6

4 * 2'				
N	1	2	3	4
1	638.1	600.8	562.1	572.7
2	571.9	561.6	551.8	547.3
3	624.2	623.2	598.7	587.8
4	581.2	560.8	542.4	540
5	588.3	600	600.3	612
6	611.7	596	549	535.8
7	577.3	560.9	540.9	539.8
8	580.1	575.7	566.9	561.2
9	554.1	537.2	526.4	513.5
MO	591.9	579.6	559.8	556.7
SD	27.1	27.1	25.4	30.1

* MO : μέσος όρος, SD : σταθερή απόκλιση

Πίνακας 5. Δεδομένα ισχύος και πρόσληψης οξυγόνου κατά τη διάρκεια των υπομέγιστων προσπάθειών. Τα watt αντιστοιχούν στην προκαθορισμένη ισχύ και η πρόσληψη οξυγόνου που εμφανίζεται είναι ο μέσος όρος του τελευταίου λεπτού στο κάθε στάδιο.

N		30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
1	watt	108	145	180	215	250	290	325
	VO2	27.7	35.2	42.7	49.8	54.2	57.0	59.8
2	watt	87	116	145	174	203	232	261
	VO2	22.9	27.4	33.9	39.4	46.6	49.9	50.0
3	watt	117	156	195	234	273	312	350
	VO2	29.6	36.4	49.0	53.7	56.5	58.5	59.4
4	watt	87	116	145	174	203	232	261
	VO2	23.0	25.8	31.0	35.9	41.5	45.5	44.7
5	watt	120	160	200	240	280	320	
	VO2	30.4	36.8	44.0	52.5	59.0	62.6	
6	watt	102	136	170	204	238	272	
	VO2	27.4	34.8	38.4	44.2	48.1	50.1	
7	watt	140	180	200	230	260	260	
	VO2	33.3	38.1	41.2	45.1	51.2	51.5	
8	watt	78	104	130	156	182	208	234
	VO2	31.0	36.2	44.3	51.6	57.3	66.2	67