

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ  
ΣΕ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ 400 ΜΕΤΡΩΝ

του  
Θωμάϊδη Σάββα

Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων για την απόκτηση του μεταπτυχιακού τίτλου του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Άσκηση και Ποιότητα Ζωής» των Τμημάτων Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην κατεύθυνση «Μεγιστοποίηση Αθλητικής Επίδοσης ή Απόδοσης».

Κομοτηνή  
2009

Εγκεκριμένο από το Καθηγητικό σώμα:

---

1<sup>ος</sup> Επιβλέπων: Τοκμακίδης Σάββας, Καθηγητής

---

2<sup>ος</sup> Επιβλέπων: Δούδα Ελένη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

---

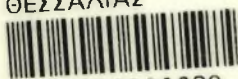
3<sup>ος</sup> Επιβλέπων: Αντωνίου Παναγιώτης, Επίκουρος Καθηγητής



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 7267/1  
Ημερ. Εισ.: 08/07/2009  
Δωρεά: \_\_\_\_\_  
Ταξιθετικός Κωδικός: Δ  
797.210 72  
ΘΩΜ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000092630

© 2009

Σάββα Θωμάϊδη

ALL RIGHTS RESERVED

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σάββας Θωμαΐδης: Αξιολόγηση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών  
σε δοκιμασία κολύμβησης 400 μέτρων  
(Κάτω από την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Τοκμακίδη Σάββα)

Σκοπός της εργασίας ήταν η αξιολόγηση της δύναμης των εισπνευστικών μυών στη διάρκεια και μετά από δοκιμασία 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης. Έντεκα κολυμβητές-τριες αγωνιστικού επιπέδου (5 γυναίκες, 6 άνδρες) ηλικίας  $17.6 \pm 0.8$  ετών ( $\text{mean} \pm \text{SE}$ ), αρχικά εκτέλεσαν δοκιμασία μέγιστης προσπάθειας 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης ( $296 \pm 4.76 \text{ s}$ ). Για την αξιολόγηση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια των 400 μέτρων, οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν σε διαφορετικές ημέρες δοκιμασίες 300, 200 και 100 μέτρων με ταχύτητα και συχνότητα χεριάς αντίστοιχες με αυτές στη δοκιμασία των 400 μέτρων. Η μέγιστη εισπνευστική πίεση ( $\text{P}_{\text{Imax}}$ ) από τον υπολειπόμενο όγκο αξιολογήθηκε με τη χρήση φορητού μετρητή στοματικών πιέσεων, πριν κι αμέσως μετά από κάθε δοκιμασία. Η ανάλυση διακύμανσης για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε ένα παράγοντα χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας ( $141 \pm 8.9 \text{ cmH}_2\text{O}$ ), η  $\text{P}_{\text{Imax}}$  παρέμεινε αμετάβλητη μετά τα 100 και 200 μέτρα ( $p > 0.05$ ). Στατιστικά σημαντική μείωση της  $\text{P}_{\text{Imax}}$  παρουσιάστηκε μετά τα 300 ( $119 \pm 7 \text{ cmH}_2\text{O}$ ,  $p < 0.05$ ) και 400 μέτρα ( $118 \pm 9.9 \text{ cmH}_2\text{O}$ ,  $p < 0.05$ ). Κατά τη διάρκεια 400 μέτρων κολύμβησης μέγιστης προσπάθειας, σημαντική μείωση της δύναμης των εισπνευστικών μυών εμφανίζεται μετά τα 300 μέτρα, γεγονός το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην προπόνηση που στοχεύει στη βελτίωση της κολυμβητικής επίδοσης.

Λέξεις-Κλειδιά: μέγιστη εισπνευστική πίεση, κολυμβητική επίδοση

## ABSTRACT

Savvas Thomaidis: Assessment of inspiratory muscle fatigue during a 400-m maximum effort front crawl swimming trial  
(Under the supervision of Professor Tokmakidis Savvas)

The aim of the study was to evaluate inspiratory muscle strength during and after a 400-m front crawl swimming trial. Eleven competitive swimmers (5 females, 6 males) aged  $17.6 \pm 0.8$  years (mean  $\pm$  SE) initially performed a 400-m front crawl swimming trial with maximum effort ( $296 \pm 4.76$  s). In order to estimate inspiratory muscle fatigue during the 400-m, the participants swam on different days a 300-m, 200-m and 100-m trial on the swimming velocity and stroke frequency corresponding to those of the 400-m trial. Maximal inspiratory pressure (P<sub>I</sub>max) initiated from residual volume was measured with the use of a portable mouth pressure meter, before and immediately after each trial. One way analysis of variance with repeated measures was used for the statistical data processing. Compared to baseline ( $141 \pm 8.9$  cmH<sub>2</sub>O), P<sub>I</sub>max remained to similar levels after the 100-m and 200-m ( $p > 0.05$ ). Statistically significant P<sub>I</sub>max reduction was evident after the 300-m ( $119 \pm 7$  cmH<sub>2</sub>O,  $p < 0.05$ ) and 400-m ( $118 \pm 9.9$  cmH<sub>2</sub>O,  $p < 0.05$ ). During a 400-m swimming with maximum effort, significant inspiratory muscle strength reduction appears after the 300-m and it should be considered for swimming training aiming to enhance performance.

Key-words: maximal inspiratory pressure, swimming performance

Ευχαριστώ,

τους καθηγητές μου κ. Τοκμακίδη Σάββα, κ. Δούδα Ελένη, κ. Αντωνίου Παναγιώτη  
για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές τους,

τον καθηγητή μου κ. Τουμπέκη Αργύρη  
καθοδηγητή και συνεργάτη στην ερευνητική μου προσπάθεια,

την ιατρό πνευμονολόγο κ. Μπουσμουκίλια Σταυρούλα  
για τη βοήθεια που μου παρείχε,  
όλους τους αθλητές-τριες συμμετέχοντες στην έρευνα.

*Στους Γονείς μου...*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ.....	xiv
 I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	 1
Προσδιορισμός του προβλήματος.....	2
Σημασία της μελέτης.....	2
Σκοπός της μελέτης.....	2
Υποθέσεις της έρευνας.....	3
Ερευνητικές Υποθέσεις.....	3
Εναλλακτικές Υποθέσεις.....	4
Μηδενικές Υποθέσεις.....	4
Οριοθετήσεις της έρευνας.....	5
Περιορισμοί της έρευνας.....	5
Θεωρητικοί Ορισμοί.....	6
Λειτουργικοί Ορισμοί.....	7
 II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	 8
Μηχανική της Αναπνοής.....	8
Εισπνευστικοί Μύες.....	8
Αξιολόγηση μεταβλητών αναπνευστικού συστήματος.....	9
Σπιρομετρήσεις ηρεμίας.....	10
Εισπνευστικές Πιέσεις.....	10
Δύσπνοια.....	10
Άσκηση και αναπνευστικό σύστημα.....	11
Φυσιολογία της αναπνοής κατά την άσκηση.....	11
Ενεργειακές απαιτήσεις αναπνευστικού συστήματος.....	11



Επίδραση της άσκησης στις αναπνευστικές παραμέτρους.....	14
Οξεία επίδραση της άσκησης στις αναπνευστικές μεταβλητές.....	14
Προσαρμογές των αναπνευστικών μεταβλητών με την προπόνηση.....	15
Αναπνευστικές μεταβλητές και αθλητική απόδοση.....	17
Κόπωση εισπνευστικών μυών και αγωνιστική απόδοση.....	17
Προπόνηση αναπνευστικών μυών και απόδοση.....	21
Μείωση αναπνευστικών μεταβλητών, δύσπνοια και απόδοση.....	24
Πιθανά οφέλη στην απόδοση από βελτίωση των αναπνευστικών μεταβλητών.....	26
Κολύμβηση και αναπνευστικό σύστημα.....	26
Ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος στην κολύμβηση.....	26
Αγωνιστική κολύμβηση και αναπνευστικές μεταβλητές.....	27
Σπιρομετρήσεις ηρεμίας.....	27
Μέγιστη Εισπνευστική Στοματική Πίεση.....	30
Αναπνευστικές μεταβλητές μετά από μέγιστη προσπάθεια στην κολύμβηση.....	30
Αξιολόγηση κολυμβητικής προσπάθειας.....	31
Φυσιολογικές-βιοχημικές μεταβλητές και απόδοση στην κολύμβηση.....	31
Μηχανικές παράμετροι της κολυμβητικής απόδοσης.....	32
<b>III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>	<b>34</b>
Συμμετέχοντες.....	34
Όργανα Μέτρησης.....	34
Μετρήσεις αναπνευστικών μεταβλητών.....	34
Μετρήσεις μεταβολικών-φυσιολογικών παραμέτρων.....	36
Μετρήσεις κολυμβητικής απόδοσης.....	36
Διεξαγωγή Δοκιμασιών.....	37
Χώρος Διεξαγωγής.....	37
Προκαταρκτικές διαδικασίες.....	37
Εξοικείωση (Ημέρες 1-2).....	37
Καταγραφή αναπνευστικών παραμέτρων ηρεμίας.....	38
Σπιρομετρήσεις ηρεμίας.....	38
Κολυμβητικές δοκιμασίες (Ημέρες 3-5).....	39
Μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις.....	40
Αίσθηση δύσπνοιας.....	41

Συγκέντρωση γαλακτικού και καρδιακή συχνότητα.....	41
Καταγραφή των παραμέτρων της κολυμβητικής απόδοσης.....	41
Στατιστική ανάλυση.....	43
<b>IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>44</b>
Παράμετροι κολυμβητικής απόδοσης.....	44
Μεταβολές παραμέτρων κολυμβητικής απόδοσης.....	45
Μεταβολές φυσιολογικών και μεταβολικών παραμέτρων.....	46
Μεταβολές εισπνευστικών πιέσεων.....	48
Μεταβολές στην αίσθηση δύσπνοιας.....	48
<b>V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>49</b>
Κολυμβητικές Δοκιμασίες.....	49
Μείωση Μέγιστων Εισπνευστικών Πιέσεων.....	50
Μεταβολές στις φυσιολογικές-βιοχημικές μεταβλητές.....	53
Μεταβολές στις μηχανικές παραμέτρους της κολυμβητικής απόδοσης.....	54
Μεταβολές στην αίσθηση δύσπνοιας.....	54
Κόπωση και προπόνηση εισπνευστικών μυών.....	55
<b>VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>57</b>
<b>VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>58</b>
<b>VIII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>71</b>
Παράρτημα Α: Ενημέρωση-Αποδοχή συμμετοχής στην έρευνα.....	71
Παράρτημα Β: Κλίμακα υποκειμενικής αίσθησης δύσπνοιας.....	75
Παράρτημα Γ: Καταγραφή ατομικών στοιχείων από τους συμμετέχοντες.....	77

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b>	Έρευνες που μελέτησαν τη μείωση των εισπνευστικών πιέσεων μετά από άσκηση διαφορετικού τύπου, έντασης και διάρκειας.....	18
<b>Πίνακας 2.</b>	Επίδραση της προπόνησης εισπνευστικών μυών στην μείωση της κόπωσης αυτών μετά από άσκηση.....	22
<b>Πίνακας 3.</b>	Επίδραση της προπόνησης εισπνευστικών μυών στις φυσιολογικές-βιοχημικές παραμέτρους, την αίσθηση δύσπνοιας και την απόδοση.....	23
<b>Πίνακας 4.</b>	Ατομικά χαρακτηριστικά και προπονητικά στοιχεία των συμμετεχόντων στην έρευνα.....	35
<b>Πίνακας 5.</b>	Σπιρομετρήσεις ηρεμίας των συμμετεχόντων κολυμβητών-τριων.....	38
<b>Πίνακας 6.</b>	Πρόγραμμα προθέρμανσης των κολυμβητών πριν τις δοκιμασίες.....	40
<b>Πίνακας 7.</b>	Χρόνος, συχνότητα χεριάς (SR) και μήκος χεριάς (SL) για κάθε απόσταση 50 μέτρων σε κάθε κολυμβητική δοκιμασία. ....	44
<b>Πίνακας 8.</b>	Μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις (PImax), καρδιακή συχνότητα (Κ.Σ.) και συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα πριν και μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία.....	45
<b>Πίνακας 9.</b>	Κολυμβητική ταχύτητα ( <b>V</b> ), συχνότητα χεριάς (SR) και μήκος χεριάς (SL) για κάθε 100 μέτρα κολυμβητικής απόστασης στη δοκιμασία 400 μέτρων.....	46

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.</b>	Χρονική απεικόνιση της διαδικασίας μετρήσεων.....	42
<b>Σχήμα 2.</b>	Καρδιακή συχνότητα και συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα κατά τη διάρκεια δοκιμασίας 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης.....	47
<b>Σχήμα 3.</b>	Μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις (P <sub>I</sub> max) μετά από δοκιμασία 400 μέτρων μέγιστης έντασης και 300, 200 και 100 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης (ταχύτητα κολύμβησης 400 μέτρων).	47

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

- Εικόνα 1.** Οι συσκευές προσδιορισμού των αναπνευστικών μεταβλητών. Συσκευή στοματικών πιέσεων MicroRPM (αριστερά) και σπιρόμετρο MicroLoop II (δεξιά)..... 36

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ**

FEV <sub>1.0</sub>	Μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1 δευτερόλεπτο
FRC	Εκπνευστική εφεδρική χωρητικότητα
FVC	Δυναμική ζωτική χωρητικότητα
PI <sub>max</sub>	Μέγιστη εισπνευστική στοματική πίεση
RV	Υπολειπόμενος όγκος
SL	Μήκος χεριάς
SR	Συχνότητα χεριάς
VC	Ζωτική Χωρητικότητα
V <sub>E</sub>	Αερισμός των πνευμόνων
V <sub>T</sub>	Αναπνεόμενος όγκος αέρα
ΚΣ	Καρδιακή Συχνότητα
ΠΕΜ	Προπόνηση Εισπνευστικών Μυών
ΠΜ	Προπονητική Μονάδα

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

$\dot{Q}$	Καρδιακή παροχή
$V$	Ταχύτητα Κολύμβησης
$\dot{V}O_{2\max}$	Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου

## **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ ΣΕ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ 400 ΜΕΤΡΩΝ**

Η επίδραση της άσκησης στο αναπνευστικό σύστημα έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες, ιδιαίτερα όσον αφορά την αξιολόγηση των πνευμονικών όγκων και χωρητικοτήτων, καθώς και της δύναμης των αναπνευστικών μυών μετά από έντονη άσκηση διαφορετικού τύπου και διάρκειας.

Ερευνητικά δεδομένα αναφέρουν σημαντική μείωση της δυναμικής ζωτικής χωρητικότητας (FVC) κατά 200-480 ml (μείωση 5-10%) μετά από άσκηση υπομέγιστης (Cordain, Rhode, Gotshall & Tucker, 1994) και μέγιστης έντασης (Coast et al., 1999). Αντίθετα, ο μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1 δευτερόλεπτο (FEV<sub>1.0</sub>) δεν μειώνεται σημαντικά μετά από άσκηση (Coast et al., 1999; Haverkamp, Metelits, Hartnett, Olsson & Coast, 2001).

Επιπλέον, ο προσδιορισμός των μέγιστων εισπνευστικών πιέσεων στη στοματική κοιλότητα έχει καταδείξει σημαντική μείωσή τους (κόπωση εισπνευστικών μυών) μετά από μαραθώνιο (Loke, Mahler & Virgulto, 1982), προσομοίωση ποδηλασίας 20 και 40 χιλιομέτρων (30-60 λεπτά; Romer, McConnell & Jones, 2002), κωπηλασία (6 λεπτά; Volianitis et al., 2001) ή άσκηση μέγιστης έντασης και μικρής διάρκειας (Johnson, Babcock, Suman & Dempsey, 1993; McConnell, Caine & Sharpe, 1997). Για το άθλημα της κολύμβησης έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση των παραπάνω πιέσεων (29%) μετά από δοκιμασία κολύμβησης 200 μέτρων στο ελεύθερο στιλ (90-95% της μέγιστης ταχύτητας: 139-197 δευτερόλεπτα) σε κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου (Lomax & McConnell, 2003). Παρά την ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος (βύθιση στο νερό-υδροστατική πίεση, οριζόντια θέση σώματος) και την ιδιομορφία της αναπνοής (συγχρονισμός συχνότητας χεριάς-αναπνοής) στην κολύμβηση, η παραπάνω εργασία είναι η μοναδική δημοσιευμένη έρευνα που έχει αξιολογήσει την κόπωση των αναπνευστικών μυών στην κολύμβηση.



### **Προσδιορισμός του προβλήματος**

Έχει παρατηρηθεί πως, σε σύγκριση με την ποδηλασία ή το τρέξιμο, η συχνότητα αναπνοής είναι χαμηλότερη και ο αναπνεόμενος όγκος αέρα υψηλότερος μετά από 400 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης μέγιστης έντασης (Rodriguez, 2000). Η παραπάνω απόσταση κολύμβησης θεωρείται χρήσιμη και αξιόπιστη δοκιμασία για κολυμβητές-τριες αγωνιστικού επιπέδου αφού η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) έχει επιτευχθεί κατά τη διάρκειά της (Costill et al., 1985; Laffite et al., 2004; Rinehardt, Kraemer, Gormely & Colan, 1991; Rodriguez, 2000). Επομένως, τα 400 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης αποτελούν μια δοκιμασία που μπορεί να υποβάλει σε σημαντικό στρες το αναπνευστικό σύστημα, επηρεάζοντας ίσως και την παραγωγή των εισπνευστικών πιέσεων. Τέλος, η κόπωση των αναπνευστικών μυών κατά την άσκηση είναι πιθανό να επηρεάζει τα επίπεδα απόδοσης όπως έχει παρατηρηθεί σε άλλες μορφές άσκησης (Mador & Acevedo, 1991; Romer & Polkey, 2008).

### **Σημασία της μελέτης**

Από τα παραπάνω αναδεικνύεται η σημασία του προσδιορισμού των επιπέδων κόπωσης των αναπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια και μετά από σύντομη-έντονη δοκιμασία κολύμβησης και η σύγκρισή τους με τα επίπεδα απόδοσης. Ο εντοπισμός του χρονικού σημείου όπου παρουσιάζεται η κόπωση μπορεί να συμβάλει στο σχεδιασμό εξειδικευμένης προπόνησης των εισπνευστικών μυών, αυξάνοντας έτσι τη δύναμη ή μειώνοντας τα επίπεδα κόπωσης των εισπνευστικών μυών, με πιθανές σημαντικές βελτιώσεις στην επίδοση (Romer et al., 2002a,b; Volianitis et al., 2001).

### **Σκοπός της μελέτης**

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση της λειτουργικής ικανότητας του αναπνευστικού συστήματος τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά από μια δοκιμασία 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης, καθώς και ο εντοπισμός του σημείου της προσπάθειας που εμφανίζεται η κόπωση των εισπνευστικών μυών.

### **Υποθέσεις της έρευνας**

Σύμφωνα με τη σχετική ερευνητική βιβλιογραφία και το σκοπό της έρευνας, διατυπώθηκαν οι παρακάτω υποθέσεις:

#### **Ερευνητικές Υποθέσεις**

*Ερευνητική πρόταση 1 ( $H_{10}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 100 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Ερευνητική πρόταση 2 ( $H_2$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 200 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Ερευνητική πρόταση 3 ( $H_3$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 300 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Ερευνητική πρόταση 4 ( $H_4$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Ερευνητική πρόταση 5 ( $H_5$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 100 μέτρα στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Ερευνητική πρόταση 6 ( $H_{60}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 200 μέτρα στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Ερευνητική πρόταση 7 ( $H_{70}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 300 μέτρα στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

### **Εναλλακτικές Υποθέσεις**

*Εναλλακτική υπόθεση 1 ( $H_1$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 100 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Εναλλακτική υπόθεση 6 ( $H_6$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 200 μέτρα στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Εναλλακτική υπόθεση 7 ( $H_7$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 300 μέτρα στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

### **Μηδενικές Υποθέσεις**

*Μηδενική Υπόθεση 2 ( $H_{20}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 200 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Μηδενική Υπόθεση 3 ( $H_{30}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 300 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Μηδενική Υπόθεση 4 ( $H_{40}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

*Μηδενική Υπόθεση 5 ( $H_{50}$ ):* Η λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών δεν θα παρουσιαστεί σημαντικά μειωμένη μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 100 μέτρα στη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελευθέρου.

### **Οριοθετήσεις της έρευνας**

- α) Οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν στην απόσταση των 400 μέτρων ελεύθερου, σε ένα περιορισμένο αριθμό κολυμβητών-τριών (συγκεκριμένων ηλικιών).
- β) Οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν στο στιλ του ελεύθερου και στη διάρκεια της περιόδου γενικής προετοιμασίας των κολυμβητών.
- γ) Οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν σε κολυμβητήριο 50 μέτρων

Επομένως, λόγω των παραπάνω, οι γενικεύσεις των αποτελεσμάτων για το σύνολο του πληθυσμού (κολυμβητών-τριών αγωνιστικού επιπέδου) δεν μπορούν να διατυπωθούν με ασφάλεια.

### **Περιορισμοί της έρευνας**

- α) Ο χρόνος κύκλου χεριάς δεν καθορίστηκε σύμφωνα με εξωτερικό ερέθισμα (π.χ. μετρονόμος) κατά τη διάρκεια της προσπάθειας διότι θα δυσχέραινε την προσπάθεια των κολυμβητών για τη διατήρηση της («επιβαλλόμενης» από τον εξεταστή) ταχύτητας κολύμβησης. Για τον ίδιο λόγο η συχνότητα αναπνοής στη δοκιμασία ήταν σύμφωνα με την επιθυμία του εξεταζόμενου.
- β) Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε περίοδο με χαμηλό όγκο-ένταση προπόνησης. Παρά το γεγονός πως καταγράφηκαν οι προπονήσεις των συμμετεχόντων τις ημέρες της μέτρησης για τυχόν σημαντικές διαφορές, δεν υπήρχε η δυνατότητα κοινής προπόνησης για όλους τους κολυμβητές-τριες.
- γ) Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων στην έρευνα δεν είχε εξειδίκευση στο αγώνισμα των 400 μέτρων ελεύθερου.
- δ) Οι κολυμβητικές δοκιμασίες δεν πραγματοποιήθηκαν με τυχαία σειρά για λόγους που εξηγούνται επαρκώς στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.
- ε) Οι μετρήσεις των αναπνευστικών πιέσεων μετά την κολυμβητική δοκιμασία πραγματοποιήθηκαν σε όρθια θέση (διαφορετική από τη θέση του κολυμβητή κατά την κολυμβητική προσπάθεια).

στ) Στις μετρήσεις των αναπνευστικών μεταβλητών δεν συμπεριλήφθηκε η αξιολόγηση πιθανών μεταβολών στον υπολειπόμενο όγκο μετά από κάθε προσπάθεια. Η παραπάνω αξιολόγηση απαιτεί εργαστηριακό περιβάλλον, με πολύπλοκο εξοπλισμό και τεχνικές μέτρησης.

### **Θεωρητικοί Ορισμοί**

α) *Αναλογία  $FEV_{1.0}$  / FVC*: Ονομάζεται δείκτης Tiffeneau και αποτελεί μέτρο αντιστάσεων των αεροφόρων οδών (Πατάκας, 1992).

β) *Αναπνεόμενος όγκος αέρα ( $V_T$ )*: ο όγκος του αέρα που εισπνέεται ή εκπνέεται κατά τη διάρκεια μιας αναπνοής (Πατάκας, 1992).

γ) *Δυναμική ζωτική χωρητικότητα (Forced Vital Capacity, FVC)*: ο όγκος που μπορεί να εκπνευστεί με τη μεγαλύτερη προσπάθεια μετά από τη μεγαλύτερη δυνατή εισπνοή. Σε υγιή άτομα ισούται με τη ζωτική χωρητικότητα (VC) (Πατάκας, 1992).

δ) *Δύσπνοια*: Υποκειμενική εμπειρία δυσφορίας στην αναπνοή αποτελούμενη από ποιοτικά ευδιάκριτα αισθήματα που ποικίλουν σε ένταση. Η αίσθηση της δύσπνοιας απορρέει από αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυσιολογικών, ψυχολογικών, κοινωνικών και περιβαλλοντολογικών παραγόντων και μπορεί να προκαλέσει δευτερογενείς φυσιολογικές και συμπεριφορικές ανταποκρίσεις (ATS, 1999).

ε) *Εκπνευστική εφεδρική χωρητικότητα (FRC)*: Ο όγκος του αέρα που παραμένει στον πνεύμονα, ύστερα από μια ήρεμη φυσιολογική εκπνοή (Πατάκας, 1992).

στ) *Καρδιακή παροχή ( $\dot{Q}$ )*: Ο όγκος του αίματος που εξωθείται από την καρδιά ανά λεπτό (Wilmore & Costill, 2004).

ζ) *Κρίσιμη ταχύτητα (critical velocity)*: η ταχύτητα κολύμβησης που, θεωρητικά, μπορεί να διατηρηθεί από τον κολυμβητή χωρίς εξάντληση (Wakayoshi et al., 1992).

η) *Μέγιστη εισπνευστική στοματική πίεση (PImax)*: η μέγιστη πίεση που παράγεται (σε cm H<sub>2</sub>O) μετά από μέγιστη εισπνευστική προσπάθεια, αφού προηγηθεί εκπνοή ως την RV (Πατάκας, 1992).

θ) *Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου ( $\dot{V}O_{2max}$ )*: Ο ανώτατος όγκος οξυγόνου που μπορούν να καταναλώσουν οι ιστοί ενός ατόμου κατά την άσκηση στη μονάδα χρόνου (Κλεισούρας, 1997).

ι) *Μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1 δευτερόλεπτο (Forced Expiratory Volume in one second, FEV<sub>1.0</sub>)*: Ο όγκος αέρα που εκπνέεται 1 δευτερόλεπτο μετά την αρχή μιας δυναμικής ζωτικής χωρητικότητας (Πατάκας, 1992).

ια) *Μήκος χεριάς (SL)*: η απόσταση που διανύει προς τα εμπρός το σώμα του κολυμβητή σε κάθε κύκλο χεριάς (Maglischo, 1993).

ιβ) *Συχνότητα χεριάς (SR)*: Ο αριθμός των κύκλων χεριάς του κολυμβητή ανά λεπτό (Maglischo, 1993).

ιγ) *Υπολειπόμενος όγκος (Residual Volume, RV)*: ο όγκος του αέρα που μένει στους πνεύμονες ύστερα από μια βαθιά εκπνοή (Πατάκας, 1992).

### **Λειτουργικοί Ορισμοί**

α) *Εισπνευστικοί μύες*: διάφραγμα, έξω μεσοπλεύριοι μύες, επικουρικοί (σκαληνοί, στερνοκλειδομαστοειδείς, μείζονες και ελάσσονες θωρακικοί, πρόσθιοι οδοντωτοί, τραπεζοειδείς και υποκλείδιοι).

β) *Κόπωση εισπνευστικών μυών*: Η μείωση της ικανότητας ανάπτυξης των ανάλογων εισπνευστικών πιέσεων, αποτέλεσμα σωματικής άσκησης το οποίο επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα μετά από ανάπαυση (NHLBI-Workshop, 1990).

γ) *Αναπνευστικές μεταβλητές*: Υπολειπόμενος όγκος, μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1 δευτερόλεπτο, δυναμική ζωτική χωρητικότητα, μέγιστη εισπνευστική στοματική πίεση, δύσπνοια.



## ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### *Μηχανική της Αναπνοής*

Η αναπνοή μπορεί να οριστεί ως μια σειρά διαδικασιών που συνεισφέρουν στην ανταλλαγή αερίων μεταξύ ενός οργανισμού και του περιβάλλοντος. Στους ανθρώπους, η αναπνοή μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα μέρη: αερισμός, παροχή αίματος, διάχυση των αερίων και έλεγχος της αναπνοής (Murray & Nadel, 1994).

### *Εισπνευστικοί Μύες*

Οι αναπνευστικοί μύες είναι από μορφολογικής και λειτουργικής πλευράς σκελετικοί μύες (Ratnovsky, Elad & Halpern, 2008). Παρά τον κεντρικό ρόλο τους στον αερισμό η φυσιολογία τους έχει σχετικά παραμεληθεί, ίσως μερικώς λόγω της πολυπλοκότητας της λειτουργίας τους και των δυσκολιών στη μελέτη τους (Green & Moxham, 1985). Οι κύριοι αναπνευστικοί μύες είναι το διάφραγμα και οι έξω μεσοπλεύριοι μύες. Ο σημαντικότερος μυς για την εισπνοή είναι το διάφραγμα, ένας λεπτός, θολωτός, ανατομικά πολύπλοκος μυς που καταφύεται στις κατώτερες πλευρές του θώρακα. Η συστολή του μειώνει την ενδοθωρακική πίεση και αυξάνει την ενδοκοιλιακή πίεση μέσω της κίνησής του προς τα κάτω. Επιπρόσθετα, τα πλευρικά τόξα ανέλκονται και μετακινούνται προς τα έξω, με αποτέλεσμα την αύξηση στην εγκάρσια διάμετρο του θώρακα (West, 2000). Έτσι, η πλευρική πίεση γίνεται υπο-ατμοσφαιρική. Η μεταβολή της πίεσης προκαλεί επίσης και την κυψελιδική πίεση να γίνει υπο-ατμοσφαιρική, το οποίο προκαλεί ροή αέρα μέσα στον πνεύμονα από την ατμόσφαιρα (Sheel, 2002).

Το διάφραγμα αποτελείται κατά 60% περίπου από μυϊκές ίνες βραδείας συστολής, έχει μεγαλύτερη οξειδωτική ικανότητα, αιματική ροή από αυτή των άκρων και είναι πιο ανθεκτικό στην κόπωση (Koulouris & Dimitroulis, 2001). Προσαρμογές που εμφανίζονται μετά από μια περίοδο προπόνησης αλλά και μετά από μια περίοδο αποχής από την προπόνηση, που έχουν παρατηρηθεί με λεπτομέρεια στους μυς των άκρων, παρουσιάζονται και στις μυϊκές ίνες του

διαφράγματος (Secher, Mizuno & Saltin, 1984). Κατά την ήρεμη αναπνοή, περίπου 50% της ενεργής αλλαγής του εισπνευστικού όγκου προκαλείται από τη συστολή του διάφραγματος. Κατά τη διάρκεια της άσκησης το διάφραγμα συνεισφέρει όλο και λιγότερο στη συνολική παραγωγή πίεσης των εισπνευστικών μυών (Johnson et al., 1993).

Οι έξω μεσοπλεύριοι εκτείνονται μεταξύ παρακείμενων πλευρών, με κατεύθυνση λοξή προς τα κάτω και εμπρός. Κατά τη συστολή τους (μαζί με το μεσοχόνδρινο τμήμα των έσω μεσοπλεύριων) οι πλευρές έλκονται προς τα πάνω και μπροστά, με αποτέλεσμα την αύξηση, τόσο στην εγκάρσια όσο και στην προσθοπίσθια διάμετρο του θώρακα (West, 2000). Στις βουλητικές εισπνευστικές προσπάθειες οι εισπνευστικοί μεσοπλεύριοι μύες τείνουν να ενεργοποιούνται περισσότερο απ' ό,τι κατά τη διάρκεια ήρεμης αναπνοής (Whitelaw and Feroah, 1989). Στους εισπνευστικούς μύες περιλαμβάνονται οι σκαληνοί, που ανέλκουν τις δυο πρώτες πλευρές. Η σημαντικότητα τους ως εισπνευστικοί μύες έχει αμφισβητηθεί αλλά τώρα θεωρούνται ως μύες της εισπνοής και μάλλον δεν θα πρέπει να θεωρούνται επικουρικοί (De Troyer & Estenne, 1984; Raper, Thompson, Shapiro & Patterson, 1966). Ο ακριβής τρόπος λειτουργίας τους δεν είναι ιδιαίτερα γνωστός διότι σπάνια λειτουργούν απομονωμένα (Koulouris & Dimitroulis, 2001). Οι στερνοκλειδομαστοειδείς είναι πιθανόν οι σημαντικότεροι επικουρικοί εισπνευστικοί μύες και προκαλούν ανύψωση του στέρνου (West, 2000). Η συμμετοχή τους στην αναπνοή και ιδιαίτερα στην περίπτωση δύσπνοιας είναι σημαντική (Koulouris & Dimitroulis, 2001).

### ***Αξιολόγηση μεταβλητών αναπνευστικού συστήματος***

Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι αξιολόγησης των μεταβλητών του αναπνευστικού συστήματος, οι περισσότερες είναι πολύπλοκες και απαιτούν ειδικό εξοπλισμό. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συχνά, λόγω της απλότητας και της εγκυρότητάς τους είναι οι σπιρομετρήσεις ηρεμίας (προσδιορισμός πνευμονικών όγκων και χωρητικότητων), η παραγωγή μέγιστων εισπνευστικών πιέσεων και η υποκειμενική αίσθηση της δύσπνοιας.



*Σπιρομετρήσεις ηρεμίας.* Ο προσδιορισμός των σπιρομετρικών μεταβλητών στην ηρεμία αποτελεί εξέταση ρουτίνας που αντανακλά την παρούσα κατάσταση λειτουργίας των πνευμόνων αλλά και το σύνολο των παθήσεων και κακώσεων αυτών στο παρελθόν (Bertrand, Riley, Popkin & Coates, 1985; Burrows, Knudson & Lebowitt, 1977; Burrows & Taussig, 1980). Πρέπει να σημειωθεί πως η FEV<sub>1.0</sub> και η VC είναι οι μόνες σπιρομετρικές μεταβλητές που απεικονίζουν με εγκυρότητα-συνέπεια την κατεύθυνση αλλαγής στην όλη πνευμονική λειτουργία. Οι απόλυτες τιμές των παραπάνω μεταβλητών εξαρτώνται σημαντικά από το φύλο, το ύψος και την ηλικία του εξεταζόμενου αλλά και από διάφορους περιβαλλοντολογικούς παράγοντες (ATS statement, 1991).

*Εισπνευστικές Πιέσεις.* Η μέτρηση της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης στη στοματική κοιλότητα (P<sub>I</sub>max) αποτελεί μια απλή, χρήσιμη, μη παρεμβατική δοκιμασία για την αξιολόγηση της δύναμης των εισπνευστικών μυών (ATS/ERS Statement, 2002). Οι μέσες τιμές P<sub>I</sub>max που έχουν παρατηρηθεί σε υγιείς άνδρες και γυναίκες είναι 105 έως 113 cmH<sub>2</sub>O και 70 έως 71 cmH<sub>2</sub>O, αντίστοιχα (Leech, Ghezze, Stevens & Becklake, 1983; Vincken, Ghezze & Cosio, 1987). Οι τιμές της P<sub>I</sub>max εξαρτώνται σημαντικά από την επίδραση της μάθησης της δοκιμασίας (Wen, Woo & Keens, 1997) και τη συνεργασία-παρακίνηση του εξεταζόμενου (ATS/ERS Statement, 2002).

*Δύσπνοια.* Η δύσπνοια, «η συναίσθηση της αναγκαιότητας για αυξημένη αναπνευστική προσπάθεια» (Meakins, 1923), αποτελεί σύνθετο σύμπτωμα η ένταση του οποίου μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα συνέχισης της άσκησης σε μια συγκεκριμένη ένταση (Altose, Cherniack & Fishman, 1985; Romer & Polkey, 2008). Η κόπωση των επικουρικών αναπνευστικών μυών μπορεί να αυξήσει την ένταση της δύσπνοιας. Επιπλέον, η συσσώρευση γαλακτικού έχει συνδεθεί με την αυξημένη δύσπνοια (Johnson, Aaron, Babcock & Dempsey, 1996). Παράγοντες που μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις συσταλτές ιδιότητες των αναπνευστικών μυών (και δεν σχετίζονται με την κόπωση) μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα επίπεδα δύσπνοιας όπως μεταβολές στο μήκος (όγκος) ή την ηλεκτρική δραστηριότητα (πίεση) των αναπνευστικών μυών (McConnell & Romer, 2004; Romer & Polkey, 2008). Έχει παρατηρηθεί σημαντική συσχέτιση μεταξύ

αύξησης της δύσπνοιας και αύξησης της διαφραγματικής πίεσης (Kabitzi et al., 2007), γεγονός που υποδεικνύει πως η αίσθηση της αυξανόμενης δύσπνοιας δεν αντικατοπτρίζει την ανάπτυξη της διαφραγματικής κόπωσης (Romer & Polkey, 2008). Η δύσπνοια συνήθως αξιολογείται με την τροποποιημένη δεκάβαθμη κλίμακα CR10 του Borg (1982).

Οι σπιρομετρήσεις ηρεμίας, οι εισπνευστικές πιέσεις και η αίσθηση δύσπνοιας αποτελούν μεταβλητές που προσδιορίζονται για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας του αναπνευστικού συστήματος κατά τη διάρκεια και μετά από άσκηση διαφορετικού τύπου, έντασης και διάρκειας.

### **Άσκηση και αναπνευστικό σύστημα**

*Φυσιολογία της αναπνοής κατά την άσκηση.* Η αναπνοή κατά την άσκηση είναι μια πολύ καλά συντονισμένη προσπάθεια των αναπνευστικών μυών, με στόχο επαρκή ανταλλαγή αερίων. Ο αερισμός των πνευμόνων κατά την άσκηση μεταβάλλεται σύμφωνα με την ανταλλαγή του διοξειδίου του άνθρακα στους πνεύμονες (Whipp & Ward, 1998). Η αύξηση του αερισμού των πνευμόνων ( $V_E$ ) με την άσκηση σχετίζεται με το βάθος και τη συχνότητα της αναπνοής. Σε υγιή άτομα η αύξηση του αναπνεόμενου όγκου αέρα ( $V_T$ ) είναι κυρίως αυτή που προκαλεί την αύξηση του  $V_E$  σε χαμηλή ένταση (Gallagher, Brown & Younes, 1987). Μέχρι το 70-80% της μέγιστης άσκησης ο  $V_T$  και η συχνότητα αναπνοής αυξάνονται, ενώ έπειτα υπερισχύει η συχνότητα αναπνοής. Ο  $V_T$  συνήθως παρουσιάζει σταθεροποίηση στο 50-60% της ζωτικής χωρητικότητας, με σημαντικές ατομικές αποκλίσεις (Younes & Kivinen, 1984). Σε νεαρά άτομα αυξάνεται 3-5 φορές (Blackie et al., 1991) ενώ η συχνότητα αναπνοής 1-3 φορές από τις τιμές ηρεμίας (Jensen, Lyager & Pedersen, 1980).

*Ενεργειακές απαιτήσεις αναπνευστικού συστήματος.* Κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης, ο αυξημένος μυϊκός μεταβολισμός προκαλεί τη μείωση κάτω από 20% (σε σχέση με την ηρεμία) του φλεβικού οξυγόνου και αυξάνει τη φλεβική μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα άνω των 80mmHg. Έτσι, οι

απαιτήσεις της κυψελιδικής-αρτηριακής ανταλλαγής αερίων είναι σημαντική, ενώ η αύξηση της κατά λεπτό καρδιακής παροχής ( $\dot{Q}$ ) σημαίνει πως θα υπάρχει σημαντικά μικρότερος χρόνος στα πνευμονικά τριχοειδή για την επίτευξη αυτής της ανταλλαγής. Επιπλέον, η ακριβής ρύθμιση της κυψελιδικής μερικής πίεσης του οξυγόνου και διοξειδίου σημαίνει πως ο κυψελιδικός αερισμός πρέπει να αυξηθεί πάνω από 20 φορές από τα επίπεδα ηρεμίας σε μέγιστη άσκηση (Sheel, 2002).

Η ικανότητα των μυών της αναπνοής για την παραγωγή της ανάλογης πίεσης είναι επαρκής για την πραγματοποίηση των παραπάνω απαιτήσεων, αλλά είναι εξίσου σημαντικό να μην είναι υπερβολικό το φυσιολογικό κόστος για την εξασφάλιση του αερισμού αυτού. Τέλος, εφόσον η μεταφορά των αερίων είναι αποτέλεσμα της αναλογίας οξυγόνου-διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα αλλά και της αιματικής ροής, είναι απαραίτητο ότι οι ανταποκρίσεις του καρδιαγγειακού και πνευμονικού συστήματος στην άσκηση να εναρμονίζονται με ακρίβεια στην αύξηση των μεταβολικών αναγκών, λαμβάνοντας υπόψη την μεταφορά των αερίων στους αναπνευστικούς και τους κινητήριους μυς.

Κατά την ηρεμία, το οξυγόνο που καταναλώνεται από τους αναπνευστικούς μυς (για τον αερισμό των πνευμόνων) είναι μόνο 1% έως 2% της βασικής κατανάλωσης οξυγόνου (Otis, 1954). Καθώς αυξάνεται ο αερισμός, η κατά λεπτό πρόσληψη οξυγόνου από τους αναπνευστικούς μυς αυξάνεται σε διαγραμματική υπερβολή (Murray & Nadel, 1994). Ακόμη και σε υγιή άτομα η κατανάλωση μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα. Ένας από τους λόγους αύξησης μπορεί να είναι λόγω αύξησης της παραγωγής έργου κατά τη διάρκεια της αναπνοής ή μείωσης στη λειτουργικότητα των αναπνευστικών μυών ή και τα δύο (Murray & Nadel, 1994).

Σε υψηλή ένταση άσκησης, το ποσοστό της συνολικής αιματικής ροής προς τους αναπνευστικούς μύες μπορεί να αυξάνεται περαιτέρω όταν οι επικουρικοί μύες της αναπνοής στρατολογούνται και απαιτούν αυξημένη αιματική ροή (Bye, Farkas, Roussos, 1983). Σε πειράματα με αυξημένα φορτία αντίστασης, οι Robertson, Foster και Johnson (1977) προσδιόρισαν την αιματική ροή στο διάφραγμα περίπου 200 ml ανά 100 gr μύος, ενώ απέτυχαν να καταδείξουν κάποια σταθεροποίηση αιματικής ροής (με αυξανόμενα φορτία αντίστασης). Έτσι, φαίνεται λογικό πως οι αναπνευστικοί μύες χρειάζονται ένα σημαντικό ποσοστό

της συνολικής ποσότητας οξυγόνου που καταναλώνεται κατά την έντονη άσκηση (Bye et al., 1983).

Σε επίπεδα  $V_E$  άνω των 100 λίτρων ανά λεπτό, η κατανάλωση οξυγόνου από τους αναπνευστικούς μύες κυμαίνεται από 2 ως 8 ml  $O_2$   $l^{-1}$   $V_E$ . Επομένως, κατά την έντονη άσκηση, η κατανάλωση του οξυγόνου από τους μύες αυτούς μπορεί να κυμαίνεται από 0.5 ως και παραπάνω από 1  $l \text{ min}^{-1}$ . Πειράματα σχετικά με τη ροή αίματος (αιμάτωση) επιβεβαιώνουν επίσης τις υψηλές ενεργειακές ανάγκες των αναπνευστικών μυών σε επιβαρυσμένη αναπνοή ή άσκηση (Bye et al., 1983). Οι Aaron, Seow, Johnson και Dempsey (1992) κατέδειξαν πως το έργο της αναπνοής κατά την επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε υγιή ασκούμενα άτομα απαιτεί το 10-15% της  $\dot{V}O_{2\max}$ .

Αν η αναλογία της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου που «κατευθύνεται» στους αναπνευστικούς μύες κατά την άσκηση είναι υψηλή, η ποσότητα οξυγόνου διαθέσιμη στους ασκούμενους (μη αναπνευστικούς) μύες μπορεί να μειωθεί (Bye et al., 1983). Έπειτα, μπορεί να φτάσει στο στάδιο όπου η πρόσληψη οξυγόνου κατά την άσκηση είναι ανεπαρκής να εκπληρώσει τις ανάγκες των αναπνευστικών αλλά και των άλλων εργαζόμενων μυών, ειδικά σε αθλητές αντοχής που έχουν πολύ υψηλές μεταβολικές και αναπνευστικές απαιτήσεις κατά την άσκηση (Guenette, Witt, McKenzie, Road & Sheel, 2007). Η υπόθεση του «ανταγωνισμού» αιματικής ροής και κατανάλωσης οξυγόνου μεταξύ αναπνευστικών και κινητήριων μυών έχει επιβεβαιωθεί από τους Harms και συν. (1997) σε 7 άνδρες ποδηλάτες αγωνιστικού επιπέδου ηλικίας 28.6 ( $\pm 3.3$ ) ετών ( $\dot{V}O_{2\max}$ :  $64 \pm 6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) με άσκηση 2.5 λεπτών σε κυκλοεργόμετρο στα επίπεδα της  $\dot{V}O_{2\max}$ . Οι παραπάνω συγγραφείς συμπέραναν ότι το έργο της αναπνοής κατά τη μέγιστη άσκηση προκαλεί αγγειοσυστολή στους κινητήριους μύες και «συμβιβάζει» τη διάχυση και πρόσληψη οξυγόνου προς αυτούς.

Σε μια επέκταση της παραπάνω έρευνας, οι Harms και συν. (1998) εξέτασαν την επίδραση των αλλαγών του έργου της αναπνοής στην καρδιακή παροχή ( $\dot{Q}$ ) κατά την άσκηση στα επίπεδα της  $\dot{V}O_{2\max}$ . Τους συμμετέχοντες αποτέλεσαν 8 άνδρες ποδηλάτες μέσης ηλικίας 29.5 ( $\pm 4.6$ ) ετών και μέση  $\dot{V}O_{2\max}$   $62 (\pm 5) \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Οι ερευνητές, συνδυάζοντας τα ευρήματά τους με αυτά της προηγούμενης έρευνας (Harms et al, 1997), κατέδειξαν πως το έργο των

αναπνευστικών μυών κατά τη άσκηση μέγιστης έντασης (σε φυσιολογικές συνθήκες) έχει δύο σημαντικές επιδράσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα:

- α) Ένα σημαντικό ποσοστό της  $\dot{Q}$  (άνω του 14-16%) κατευθύνεται προς αναπνευστικούς μύες για την υποστήριξη των μεταβολικών απαιτήσεών τους (συμπερασματική εξαγωγή από τα αποτελέσματα).
- β) Η τοπική αντανakλαστική αγγειοσυστολή που πιθανά προέρχεται από τα συσταλτά μέρη των αναπνευστικών μυών «συμβιβάζει» (ή «κλέβει») την αιματική ροή που «κατευθυνόταν» προς τους κινητήριους μύες των κάτω άκρων.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις κατά την άσκηση φαίνεται λοιπόν πως είναι υψηλές και για τους μυς που δεν συνεισφέρουν στην παραγωγή έργου-απόδοση του αθλητή (αναπνευστικοί μύες). Η άσκηση, ειδικά όταν πραγματοποιείται σε μέγιστη προσπάθεια επιδρά μάλλον αρνητικά στις αναπνευστικές παραμέτρους. Η επίδραση αυτή αναφέρεται στη μείωση των αναπνευστικών μεταβλητών κατά τη διάρκεια ή για ένα χρονικό διάστημα μετά από έντονη άσκηση.

#### *Επίδραση της άσκησης στις αναπνευστικές παραμέτρους*

*Οξεία επίδραση της άσκησης στις αναπνευστικές μεταβλητές.* Οι σπιρομετρικές μεταβλητές ( $FEV_{1.0}$  και FVC) μειώνονται κατά τη διάρκεια ή μετά από άσκηση διαφορετικής έντασης και διάρκειας (Buono, Constable, Morton, Rotkis, Stanforth & Wilmore, 1981; Cordain et al., 1994; Farrell, Maron, Hamilton, Maksud & Foster, 1983; Hill, Jacoby & Farber, 1991; Maron, Hamilton & Maksud, 1979; O'Kroy, Loy & Coast, 1992). Συγκεκριμένα η FVC μειώνεται κατά  $200 \pm 480$  ml (5-10% της αρχικής τιμής) και συνοδεύεται με αύξηση του RV (Cordain et al., 1994; Maron et al., 1979; Miles, Cox, Bomze & Gotshall, 1991; Miles, Enoch & Grevey, 1986). Ο RV παρουσιάζει αύξηση κατά 260 ml μετά από 10 λεπτά άσκησης μέχρι εξάντλησης σε δαπεδοεργόμετρο (Buono et al., 1981) ή 490 ml μετά από μαραθώνιο (Maron et al., 1979). Λόγω των μεταβολών στον RV, το διάφραγμα μπορεί να βρεθεί σε μια λιγότερο ευνοϊκή θέση για την παραγωγή πιέσεων, με αποτέλεσμα τη μείωση της  $PI_{max}$ . Μείωση 500ml στον RV μειώνει την  $PI_{max}$  κατά περίπου 10 cmH<sub>2</sub>O (Coast & Weise, 1990).

Η υπόθεση πως το έργο της αναπνοής κατά την άσκηση είναι η αιτία της μείωσης των σπιρομετρικών μεταβλητών εξετάστηκε από τους Coast και συν.



(1999). Οι 11 συμμετέχοντες στην έρευνα (5 γυναίκες, 6 άνδρες:  $21.6 \pm 1.7$  ετών) εκτέλεσαν δοκιμασίες μέγιστης άσκησης ποδηλασίας, υπέρπνωσης (προσομοίωση του αερισμού της δοκιμασίας μέγιστης άσκησης) και δοκιμασία ελέγχου. Η FVC μειώθηκε κατά 7% ( $p < 0.05$ ) μετά την άσκηση, καθώς και η μέγιστη εισπνευστική πίεση κατά 15% ( $p < 0.005$ ), η οποία παρέμεινε μειωμένη για 15 λεπτά. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως ότι οι μεταβολές στην πνευμονική λειτουργία που σχετίζονται με την άσκηση δεν είναι απλά το αποτέλεσμα του έργου των αναπνευστικών μυών, αλλά μπορεί να σχετίζονται με τους διάφορους μεταβολίτες που επηρεάζονται κατά την άσκηση, η ανα-διανομή της διαθέσιμης αιματικής ροής, η δημιουργία πνευμονικού οιδήματος ή η βρογχοδιαστολή.

Η επίδραση της κόπωσης των εκπνευστικών μυών στις πνευμονικές παραμέτρους, όπως η FVC, η FEV<sub>1.0</sub>, και οι μέγιστες εισπνευστικές-εκπνευστικές πιέσεις, αξιολογήθηκαν σε 7 υγιείς άνδρες ( $24.1 \pm 3.7$  ετών) και μία γυναίκα (24 ετών), πριν και μετά από τη χρήση ενός πρωτοκόλλου πρόκλησης κόπωσης των εκπνευστικών μυών και μιας δοκιμασίας ελέγχου (Haverkamp et al., 2001). Δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις για τις πνευμονικές παραμέτρους, εκτός της μέγιστης εκπνευστικής πίεσης, η οποία μειώθηκε σημαντικά μετά το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε ( $p < 0.001$ , 23.5% από την αρχική μέτρηση), αντίθετα με τη δοκιμασία ελέγχου.

Η συστηματική άσκηση φαίνεται πως δεν επιδρά αρνητικά στα επίπεδα των ίδιων μεταβλητών, σε αντίθεση με ό, τι συμβαίνει στην οξεία (αρνητική) επίδραση της στις αναπνευστικές παραμέτρους.

*Προσαρμογές των αναπνευστικών μεταβλητών με την προπόνηση.* Αναφορές σχετικά με υψηλότερη ζωτική χωρητικότητα σε αθλητές ή σε άτομα με συχνή φυσική δραστηριότητα σε σύγκριση με άτομα ίδιας ηλικίας, φύλου, ύψους και σωματικής μάζας παρουσιάζονται σε παλαιότερες έρευνες (Crosbie, Reed & Clarke, 1979; Eriksson, Engstrom, Karlberg, Lundin & Saltin, 1978; Hagerman, Addington & Gaensler, 1975; Schoenberg, Beck & Bouhuys, 1978). Η υπόθεση πως η VC αυξάνεται με τη φυσική δραστηριότητα (Crosbie et al., 1979) αμφισβητήθηκε από τους Bouhuys και Beck (1979) που υποστήριξαν πως μόνο άτομα με υψηλή VC πετυχαίνουν στον αθλητισμό. Οι Hagerman και συν. (1975) πρότειναν πως η επίδραση της προ-επιλογής, της προπόνησης και της

παρακίνησης (ή συνδυασμό όλων των παραπάνω) πιθανόν να είναι η αιτία αύξησης των αναπνευστικών όγκων σε κωπηλάτες αγωνιστικού επιπέδου.

Οι Biersteker και Biersteker (1985), σε μια σύγκριση ασκούμενων και μη ασκούμενων ενηλίκων 20-25 ετών συμπέραναν πως η VC δεν αυξάνεται με τη φυσική δραστηριότητα, αναφέροντας πιθανά μεθοδολογικά σφάλματα των παλαιότερων ερευνών. Γενικά, είναι αποδεκτό πως η FVC σχετίζεται μάλλον περισσότερο με τις γενετικές καταβολές και τα σωματομετρικά χαρακτηριστικά (π.χ. περίμετρος θώρακα; Armour, Donnelly & Bye, 1993). Σε μια νεότερη έρευνα αξιολογήθηκαν οι πνευμονικοί όγκοι και χωρητικότητες σε παιδιά και νέους (10-21 ετών) από την Ελλάδα (Doherty & Dimitriou, 1997). Στην τελευταία μελέτη παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ ατόμων με καθιστικό τρόπο ζωής και αθλητών διαφόρων αθλημάτων (στίβος, καλαθοσφαίριση, κωπηλασία, κανό) μόνο για τις γυναίκες και μόνο στην FEV<sub>1.0</sub> ( $p < 0.05$ ).

Οι Berntsen, Wisløff, Nafstad και Nystad (2008) σε μια αξιολόγηση 2537 παιδιών κατέδειξαν πως η FEV<sub>1.0</sub> και η FVC ήταν σημαντικά υψηλότερες ( $p = 0.02$  και  $p = 0.002$ , αντίστοιχα) στα παιδιά που συμμετείχαν συχνά σε φυσική δραστηριότητα. Τέλος, μια έρευνα με σχεδιασμό διαχρονικής σύγκρισης (24 έτη) κατέδειξε πως οι τιμές των FEV<sub>1.0</sub>, FVC αλλά και της αναλογίας FEV<sub>1.0</sub>/FVC ήταν ελαφρώς υψηλότερες στα άτομα που είχαν μεγαλύτερη φυσική δραστηριότητα (Cheng, Macera, Addy, Sy, Wieland & Blair, 2003). Όσο αφορά την επίδραση της έντονης και εντατικής προπόνησης, οι Kippelen και συν. (2005) δεν εντόπισαν μείωση αναπνευστικών μεταβλητών μετά από ένα χρόνο προπόνησης σε αθλητές αντοχής.

Η PImax δεν αυξάνεται σε αθλητές αντοχής με εξειδίκευση στη χιονοδρομία (Coast, Clifford, Henrich, Stray-Gundersen & Johnson, 1990) ή τους δρόμους (Armour et al., 1993; Cordain, Tucker, Moon & Stager, 1990). Επιπλέον, η προπόνηση ποδηλασίας ή δρόμων δεν φαίνεται να προκαλεί αύξηση της PImax (Hanel, Levine, Engfred, Clifford, Friedman & Secher, 1994; Robinson & Kjeldgaard, 1982; Thomas et al., 1998). Στην έρευνα των Eastwood, Hillman και Finucane (2001) όπου αξιολογήθηκε η απόδοση των εισπνευστικών μυών, η PImax δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ καλά προπονημένων μαραθωνοδρόμων και ατόμων που δεν ασκούνται ( $152 \pm 41$  έναντι  $141 \pm 25$  cmH<sub>2</sub>O, αντίστοιχα).

Από τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται πως η  $FEV_{1.0}$  παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση σε άτομα που αθλούνται συστηματικά, ενώ μικρότερες διαφορές παρουσιάζονται στις FVC και  $PI_{max}$ . Έτσι αναδεικνύεται μια πιθανή σχέση μεταξύ των αναπνευστικών μεταβλητών και της αθλητικής δραστηριότητας. Είναι λογικό λοιπόν πως οι μεταβλητές αυτές θα μπορούσαν πιθανώς να επιδράσουν θετικά ή αρνητικά στην αθλητική απόδοση.

### **Αναπνευστικές μεταβλητές και αθλητική απόδοση**

*Κόπωση εισπνευστικών μυών και αγωνιστική απόδοση.* Η κόπωση των εισπνευστικών μυών χαρακτηρίζεται από τη μείωση της ικανότητας ανάπτυξης των ανάλογων εισπνευστικών πιέσεων εξ' αιτίας σωματικής άσκησης η οποία επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα μετά από ανάπαυση (NHLBI-workshop, 1990). Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω ορισμό, κόπωση εισπνευστικών μυών μπορεί να χαρακτηριστεί η σημαντική μείωση στην παραγωγή εισπνευστικής πίεσης (Volianitis et al., 2001).

Στον Πίνακα 1 αναφέρονται συγκεντρωτικά δεδομένα ερευνών που εξέτασαν την κόπωση των εισπνευστικών μυών. Σωματική άσκηση αντοχής (σε δαπεδοεργόμετρο ή κυκλοεργόμετρο) άνω του 85% της  $\dot{V}O_{2max}$  είναι πιθανό να προκαλέσει κόπωση του διαφράγματος σε υγιή άτομα ανεξάρτητα από τη φυσική κατάσταση των εξεταζομένων (Johnson et al., 1993).

Οι Coast και συν. (1990) εξέτασαν τη μεταβολή της  $PI_{max}$  μεταξύ καλά προπονημένων χιονοδρόμων και απροπόνητων συμμετεχόντων μετά από άσκηση σε κυκλοεργόμετρο. Παρά το γεγονός ότι οι δύο ομάδες είχαν παρόμοιες  $PI_{max}$  στην ηρεμία, οι ερευνητές παρατήρησαν πως οι απροπόνητοι συμμετέχοντες παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές στην  $PI_{max}$  μετά την άσκηση ( $p < 0.05$ , μείωση 10-17% σε σύγκριση με τις τιμές πριν τη δοκιμασία).



Πίνακας 1. Έρευνες που μελέτησαν τη μείωση των εισπνευστικών πιέσεων μετά από άσκηση διαφορετικού τύπου, έντασης και διάρκειας.

Έρευνα	Συμμετέχοντες	Ένταση Άσκησης	Διάρκεια Άσκησης	Τύπος Άσκησης	Ποσοστό Μείωσης P <sub>di</sub> max
Loke et al. (1982)	n=4 δρομείς	Μέγιστη προσπτάθεια	204 min	Μαραθώνιος	16.5% (p<0.01)
Coast et al. (1990)	n=5 ηλικία: 19 ± 0.7 έτη $\dot{V}O_{2\max}$ : 42 ± 3 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Αύξηση κατά στάδια μέχρι εξάντλησης	Δεν διευκρινίζεται	Κυκλοεργόμετρο	12-17% (p<0.05)
Choukroun et al. (1993)	15-16 ετών 10 αθλητές-τριες ( $\dot{V}O_{2\max}$ : 51.9 ± 7 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ) 10 άτομα Κ.Π. ( $\dot{V}O_{2\max}$ : 34.4 ± 4.7 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	Αύξηση κατά στάδια μέχρι το 80% της $\dot{V}O_{2\max}$	Δεν διευκρινίζεται	Κυκλοεργόμετρο	9% (p<0.05) μόνο για τους εφήβους Κ.Π.
Chevrolet et al. (1993)	n=27 δρομείς	Μέγιστη προσπτάθεια	Δεν διευκρινίζεται	Μαραθώνιος	p<0.05
Johnson et al. (1993)	n=12 ηλικία: 33 ± 3.3 έτη $\dot{V}O_{2\max}$ : 61 ± 4 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	85-95% της $\dot{V}O_{2\max}$	31 ± 8 min (85% $\dot{V}O_{2\max}$ ) 14 ± 3 min (95% $\dot{V}O_{2\max}$ )	Δαπτεδοεργόμετρο Κυκλοεργόμετρο	13.7% Pdi (p<0.05)
McConnell et al. (1997)	n=24 ηλικία: 23.8 ± 2.4 έτη $\dot{V}O_{2\max}$ : 53.8 ± 5.2 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Σταδιακά αυξανόμενη με παραίτηση του ασκούμενου κατά βούληση	10-15 min	Δοκιμασία Παλινδρόμου τρεξίματος	17.1 ± 12.5% (p<0.01)
Coast et al. (1999)	n=11 ηλικία: 21.6 ± 1.7 έτη $\dot{V}O_{2\max}$ : 40-50 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Αύξηση κατά στάδια μέχρι εξάντλησης	Δεν διευκρινίζεται	Κυκλοεργόμετρο	15% (p<0.05)

P<sub>di</sub>: Πίεση παραγόμενη από τη συστολή του διαφράγματος. Κ.Π.: Άτομα που δεν αθλούνται συστηματικά (καθιστικός πληθυσμός).

(Συνέχεια Πίνακα 1)

Έρευνα	Συμμετέχοντες	Ένταση Άσκησης	Διάρκεια Άσκησης	Τύπος Άσκησης	Ποσοστό Μείωσης P <sub>lmax</sub>
Eastwood et al. (2001)	6 μαραθωνοδρόμοι 37.5 ± 5.3 ετών $\dot{V}O_{2max}$ : 58.5 ± 7.7 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Αύξηση κατά στάδια μέχρι αδυναμίας συνέχισης	11 ± 2 min	Κυκλοεργόμετρο	p>0.05, NS
	6 άτομα Κ.Π. 28 ± 4.5 ετών $\dot{V}O_{2max}$ : 38.6 ± 7.1 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>				
Volianitis et al. (2001)	14 κωπηλάτριες ηλικία: 23.8 ± 3.8 έτη $\dot{V}O_{2max}$ : 3.56 ± 0.17 l·min <sup>-1</sup>	Μέγιστη	6 min	Κωπηλατοεργόμετρο	11% (p<0.05)
	8 ποδηλάτες-τριαθλητές ηλικία: 30.3 ± 2.6 έτη $\dot{V}O_{2max}$ : 4.7 ± 0.08 l·min <sup>-1</sup>				
Romer et al. (2002a)	n=10 τριαθλητές ηλικία: 22.6 ± 1.1 έτη $\dot{V}O_{2max}$ : 70.4 ± 1.8 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Προσομοίωση αγωνισμάτων ποδηλάσις 20 και 40 km	30 min (20km) 60 min (40km)	Κυκλοεργόμετρο	18 ± 2 % (20km) 14 ± 2 % (40km) (p≤0.01)
Boussana et al. (2003)	n=7 κολυμβητές-τριες ηλικία: 29.9 ± 6.4 έτη	75% $\dot{V}O_{2max}$	20 min	Κυκλοεργόμετρο	5% (p<0.05)
Lomax & McConnell (2003)	n=7 κολυμβητές-τριες ηλικία: 29.9 ± 6.4 έτη	Μέγιστη	2-3 min	Κολύμβηση 200 m	29% (p≤0.01)
Ozkaplan et. al. (2005)	n=34, ηλικία: 23 ± 2 ετών, $\dot{V}O_{2max}$ : 44.9 ± 8.3 και 50.3 ± 6.9 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> (γυναίκες και άνδρες, αντίστοιχα)	Αύξηση κατά στάδια μέχρι αδυναμίας συνέχισης	Δεν διευκρινίζεται	Κυκλοεργόμετρο	15-16% (p<0.05)
Ross et al. (2008)	n=9 δρομείς αντοχής ηλικία: 32 ± 7 έτη $\dot{V}O_{2max}$ : 61.6 ± 3.6 ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup>	Μέγιστη προσπάθεια	208 ± 22 min	Μαραθώνιος	15.3% (p<0.01)

Κ.Π.: Άτομα που δεν αθλούνται συστηματικά (καθιστικός πληθυσμός).

Οι McConnell και συν. (1997) αξιολόγησαν την κόπωση των εισπνευστικών μυών μετά από αξιολόγηση παλίνδρομου τρεξίματος σε 24 άτομα μέτριας φυσικής κατάστασης ( $\dot{V}O_{2\max}$ :  $53.8 \pm 5.2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) και μέσης ηλικίας  $23.8 (\pm 2.4)$  έτη. Η  $PI_{\max}$  μειώθηκε σημαντικά μετά από τη δοκιμασία ( $-154 \pm 33$  έναντι  $-172 \pm 28$ , μέσο ποσοστό μείωσης:  $17.1 \pm 12.5 \%$ ), με υψηλότερη μείωση να παρουσιάζεται στους συμμετέχοντες με μικρότερες αρχικές τιμές  $PI_{\max}$ .

Οι Loke και συν. (1982) διερεύνησαν την κόπωση των εισπνευστικών μυών σε τέσσερις δρομείς πριν και μετά από το αγώνισμα του μαραθωνίου (διάρκεια: 3 h και 24 min). Οι τιμές της  $PI_{\max}$  παρουσίασαν σημαντική μείωση μετά από το αγώνισμα ( $p < 0.01$ ,  $165.8 \pm 11 \text{ cmH}_2\text{O}$  έναντι  $139 \pm 8 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). Παρόμοια αποτελέσματα σε αθλητές μαραθωνίου έχουν παρουσιαστεί και από μεταγενέστερες έρευνες (Chevrolet, Tschopp, Blanc, Rochat & Junod, 1993; Ross, Middleton, Shave, George & McConnell, 2008). Σημαντική μείωση της  $PI_{\max}$  (προσδιορισμός από την FRC) παρουσιάστηκε και στην έρευνα των Boussana και συν. (2003) σε 10 αθλητές τριάθλου (μέση ηλικία:  $22.6 \pm 1.1$  έτη) μετά από 20 min άσκησης σε κυκλοεργόμετρο ( $p < 0.05$ ,  $132 \pm 5$  έναντι  $125.7 \pm 6 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

Αντίθετα με τα παραπάνω δεδομένα, οι Eastwood και συν. (2001) δεν εντόπισαν σημαντική μείωση της  $PI_{\max}$  σε μαραθωνοδρόμους ή απροπόνητα άτομα μετά από άσκηση  $11 (\pm 2)$  min μέγιστης έντασης σε κυκλοεργόμετρο. Στην έρευνα των Choukroun, Kays, Gioux, Techoueyres και Guenard (1993), με τη χρήση ενός πρωτοκόλλου σταδιακής αύξησης της έντασης ως το 80% της  $\dot{V}O_{2\max}$  σε κυκλοεργόμετρο, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση μετά την άσκηση σε 10 απροπόνητους εφήβους 15-16 ετών ( $p < 0.05$ ,  $90 \pm 26$  έναντι  $82 \pm 26$ ), ενώ δεν παρουσιάστηκε σημαντική μείωση για τους 10 εφήβους που συμμετείχαν σε αθλητικές δραστηριότητες. Σε μια προσομοίωση ποδηλασίας 20 και 40 χιλιομέτρων (30-60 λεπτά), οι Romer και συν. (2002a) παρατήρησαν μείωση των εισπνευστικών πιέσεων σε αθλητές ποδηλασίας-τριάθλου κατά  $18 (\pm 2) \%$  και  $14 (\pm 2) \%$ , αντίστοιχα για κάθε δοκιμασία. Στην κωπηλασία μέγιστης προσπάθειας 6 λεπτών παρουσιάστηκε μείωση της  $PI_{\max}$  κατά 11% (Volianitis et al., 2001). Τέλος, οι Ozkaplan, Rhodes, Sheel και Taunton (2005) αξιολογώντας 34 άτομα (24 ετών, μέτρια αθλητική δραστηριότητα) με άσκηση σε κυκλοεργόμετρο, παρατήρησαν μείωση 15-16% στις τιμές της  $PI_{\max}$  μετά τη δοκιμασία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, άσκηση υψηλής έντασης (άνω του 75% της  $\dot{V}O_{2max}$ ) σε διάφορα αθλήματα, ακόμη και μικρής χρονικής διάρκειας (3 min κολύμβησης ή 6 min κωπηλασίας) μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της  $PI_{max}$  (από 5% έως 29%).

*Προπόνηση αναπνευστικών μυών και απόδοση.* Η προπόνηση των αναπνευστικών μυών (όπως η προπόνηση άλλων σκελετικών μυών) μπορεί να βελτιώσει τα επίπεδα δύναμης ή αντοχής τους (Leith & Bradley, 1976). Μεγάλος αριθμός ερευνών αναφέρουν αύξηση της  $PI_{max}$  σε ηρεμία (μετά από εξειδικευμένη προπόνησή τους για 4-12 εβδομάδες) σε άτομα με καλή φυσική κατάσταση (Edwards, Wells & Butterly, 2008; Hanel & Secher, 1991), δρομείς αντοχής (Inbar, Weiner, Azgad, Rotstein & Weinstein, 2000; Williams, Wongsathikun, Boon & Acevedo, 2002), ποδηλάτες (Romer et al., 2002a,b; Sonetti, Wetter, Pegelow & Dempsey, 2001), κωπηλάτες (Griffiths & McConnell, 2007; Klusiewicz, Borkowski, Zdanowicz, Boros & Wesolowski, 2008; Riganas, Vrabas, Christoulas & Mandroukas, 2008; Volianitis et al., 2001) και κολυμβητές (Mickleborough, Stager, Chatham, Lindley, Ionescu, 2008; Wells, Plyley, Thomas, Goodman & Duffin, 2005) αγωνιστικού επιπέδου.

Τα επίπεδα της αύξησης της  $PI_{max}$  που αναφέρονται είναι από 8% (Sonetti et al., 2001) έως 45% (Volianitis et al., 2001). Η αύξηση της δύναμης των εισπνευστικών μυών (ΠΕΜ) μετά από μια περίοδο προπόνησης αντιστρέφεται με τη διακοπή της (Klusiewicz et al., 2008; Romer & McConnell, 2003). Στους πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται έρευνες σχετικά με την επίδραση της ΠΕΜ στην κόπωση των εισπνευστικών μυών (αύξηση της  $PI_{max}$ ), την αίσθηση δύσπνοιας, τις φυσιολογικές-βιοχημικές παραμέτρους και την απόδοση.

Σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα (Πίνακας 2), η ΠΕΜ ίσως έχει σημαντική επίδραση και στη μείωση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών μετά από άσκηση υψηλής έντασης ακόμη και σε αθλητές αγωνιστικού επιπέδου (Downey et al., 2007; Romer et al., 2002a,b; Volianitis et al., 2001). Παρά τα διαφορετικά αποτελέσματα των ερευνών (Πίνακας 3), η ΠΕΜ πιθανόν επιδρά στην αύξηση της  $FEV_{1.0}$ , και της FVC (Mickleborough et al., 2008; Sonetti et al., 2001; Wells et al., 2005) ενώ δεν παρουσιάζονται διαφορές στον  $V_T$  (Hanel & Secher, 1991) ή τον  $V_E$  (Williams et al., 2002).



Πίνακας 2. Επίδραση της προπόνησης εισπνευστικών μυών στην μείωση της κόπωσης αυτών μετά από άσκηση.

Έρευνα	Συμμετέχοντες	Συχνότητα, Ένταση και Διάρκεια προπόνησης	Τύπος Άσκησης	Αποτέλεσμα
Volianitis et al. (2001)	n=14 Κωπηλάτριες ηλικία: $23.8 \pm 3.8$ έτη $\dot{V}O_{2max}$ : $3.56 \pm 0.17 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ n=7 (Ομάδα Π)	Π: 2×30 επ. 50%Plmax κάθε ημέρα 11 εβδομάδες	6 min μέγιστη προσπάρθεια σε κωπηλατοεργόμετρο	Π: Μείωση επιπέδων κόπωσης στο $4.5 \pm 4.7\%$ της Plmax ( $p<0.01$ )
Romer et al. (2002a)	8 ποδηλάτες-τριαθλητές ηλικία: $30.3 \pm 2.6$ έτη $\dot{V}O_{2max}$ : $4.7 \pm 0.08 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$	2×30 επ. 50%Plmax κάθε ημέρα 6 εβδομάδες	Προσομοίωση αγωνισμάτων ποδηλασίας 20 και 40 km (30 και 60 min, αντίστοιχα) σε κυκλοεργόμετρο	Σημαντική μείωση ( $p\leq 0.01$ )
Griffiths & McConnell (2007)	n=10 κωπηλάτες αγωνιστικού επιπέδου ηλικία: $24.9 \pm 5.6$ ετών	2×30 επ. 50%Plmax κάθε ημέρα 4 εβδομάδες	6 min μέγιστη προσπάρθεια σε κωπηλατοεργόμετρο	$p>0.05$ (NS)
Downey et al. (2007)	n=7 ηλικία: $20.7 \pm 0.8$ ετών $\dot{V}O_{2max}$ : $47.5 \pm 0.8 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	40 επ. 50%Plmax 2 σειρές/ημέρα 5 ημέρες/εβδομάδα 4 εβδομάδες	85% $\dot{V}O_{2max}$ σε δαπεδοεργόμετρο	Μείωση 10% ( $p<0.05$ )
Nicks et al. (2009)	27 αθλητές-τριες ποδοσφαίρου	30 επ. 10 σειρές/εβδομάδα 5 εβδομάδες	Δρόμοι ταχύτητας διακοπτόμενης μορφής	$p>0.05$ (NS)

Π: Πειραματική Ομάδα, Επ.: Επαναλήψεις, Plmax: Μέγιστη Εισπνευστική Πίεση στην στοματική κοιλότητα,  $\dot{V}O_{2max}$ : Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου.

Πίνακας 3. Επίδραση της προπόνησης εισπνευστικών μυών στις φυσιολογικές-βιοχημικές παραμέτρους, την αίσθηση δύσπνοιας και την απόδοση.

Ερευνητική Βιβλιογραφία	Sonetti et al. (2001)	Volianitis et al. (2001)	Romer et al. (2002a)	Wells et al. (2005)	Griffiths & McConnell (2007)	Riganas et al. (2008)
Φυσιολογικές & Βιοχημικές Παράμετροι	Αύξηση 4 ± 3% της FVC (p<0.05) p>0.05 (NS) για $\dot{V}O_{2max}$	Π+0μ.ΕΛ.: Μείωση επιπέδων αύξησης La (p<0.05)	Δεν αξιολογήθηκε	Αύξηση της FEV <sub>1.0</sub> (p<0.01)	Μείωση Κ.Σ. 2–5% (p< 0.01) p>0.05 (NS) για La, $\dot{V}O_{2max}$ , FEV <sub>1.0</sub> , FVC	p>0.05 (NS) για La, $\dot{V}O_{2max}$ , FEV <sub>1.0</sub> , FVC
Αίσθηση Δύσπνοιας	p>0.05(NS)	Μείωση (p<0.01)	Δεν αξιολογήθηκε	p>0.05 (NS)	Μείωση (p=0.05)	p>0.05 (NS)
Απόδοση σε δοκιμασία μέγιστης προσπάθειας	Άσκηση σε κυκλοεργόμετρο p>0.05 (NS) σε σύγκριση με Ομάδα Ελέγχου	6 min άσκηση σε κωπηλατοεργόμετρο p<0.05 Π: 3.5 ± 1.2% Ομ.ΕΛ.: 1.6 ± 1%	Άσκηση σε ποδηλατοεργόμετρο 20 km και 40 km. Βελτίωση χρόνου σε σύγκριση με Ομάδα Ελέγχου (p<0.01)	Δοκιμασία Κολύμβησης 7×200m p>0.05 (NS)	6 min άσκηση σε κωπηλατοεργόμετρο 2.7% αύξηση της ισχύος (p<0.01)	2 km άσκηση σε κωπηλατοεργόμετρο p>0.05 (NS)

Π: Πειραματική Ομάδα, Ομ. ΕΛ.: Ομάδα Ελέγχου,  $\dot{V}O_{2max}$ : Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, FEV<sub>1.0</sub>: Μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1s, FVC: Δυναμική Ζωτική Χωρητικότητα, Κ.Σ.: Καρδιακή Συχνότητα, La: Συγκέντρωση Γαλακτικού στο αίμα.

Η πιθανή επίδραση της ΠΕΜ στη μείωση της συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα (σε αντιστοιχία με την ίδια ένταση και διάρκεια άσκησης), της αίσθησης δύσπνοιας (μετά την άσκηση) και στη βελτίωση της απόδοσης παρουσιάζει αντιφατικά αποτελέσματα (Edwards et al., 2008; Griffiths & McConnell, 2007; Riganas et al., 2008; Sonetti et al., 2001; Volianitis et al., 2001; Wells et al., 2005) ενώ δεν παρουσιάζονται διαφορές στην  $\dot{V}O_{2\max}$  μετά από ΠΕΜ (Edwards et al., 2008; Griffiths & McConnell, 2007; Klusiewicz et al., 2008; Riganas et al., 2008; Sonetti et al., 2001; Williams et al., 2002).

Τα πρωτόκολλα προπόνησης που χρησιμοποιούνται συνήθως στην ΠΕΜ περιλαμβάνουν μία σειρά 30 επαναλήψεων στο 50% της  $PI_{\max}$  (εισπνοή μέσα από ειδική συσκευή αντίστασης), δύο φορές την ημέρα (5-7 ημέρες την εβδομάδα) για 4-12 εβδομάδες. Οι πιθανές θετικές επιδράσεις της ΠΕΜ περιλαμβάνουν αύξηση των αναπνευστικών μεταβλητών, μείωση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών μετά από άσκηση, μείωση των επιπέδων αύξησης του γαλακτικού και της καρδιακής συχνότητας και βελτίωση της αίσθησης δύσπνοιας. Είναι φανερό πως η ΠΕΜ μπορεί να επιδράσει με θετικό τρόπο στην αθλητική απόδοση ή τη βελτίωση άλλων παραμέτρων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με αυτήν.

*Μείωση αναπνευστικών μεταβλητών, δύσπνοια και απόδοση.* Η επίδραση της μείωσης των αναπνευστικών μεταβλητών στην απόδοση υπερ-μαραθωνίου 24 ωρών αξιολογήθηκε σε 10 δρομείς (40.1 ετών,  $\dot{V}O_{2\max}$ :  $57.1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) από τους Warren, Cureton και Sparling (1989). Στη συγκεκριμένη μελέτη, παρά την μεγάλη απόκλιση που παρουσιάστηκε μεταξύ συμμετεχόντων, η μείωση στην αντοχή των αναπνευστικών μυών (μείωση των αναπνευστικών μεταβλητών) παρουσίασε στατιστικά σημαντική συσχέτιση με την απόδοση στο αγώνισμα ( $p < 0.01$ ). Βέβαια, το παραπάνω δεν καταδεικνύει άμεση σχέση μεταξύ αναπνευστικών μεταβλητών και απόδοσης. Σύμφωνα με τους Mahler και Loke (1981), η μείωση της αναπνευστικής ικανότητας ή της λειτουργίας των αναπνευστικών μυών ίσως συνεισφέρει στην κόπωση σε άσκησης διάρκειας άνω των 2-3 ωρών.

Οι Mador και Acedevio (1991) εξέτασαν 10 υγιή άτομα ( $29.3 \pm 5$  ετών) σε δοκιμασία ποδηλασίας μέχρι εξάντλησης (ένταση: 90%). Μετά από ένα πρωτόκολλο πρόκλησης κόπωσης εισπνευστικών μυών και την διεξαγωγή της δοκιμασίας, κατέδειξαν σημαντική μείωση στη διάρκεια άσκησης ( $p < 0.001$ ),

μείωση της πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας ( $p < 0.01$ ), μείωση της αίσθησης δύσπνοιας για τον ίδιο χρόνο άσκησης ( $p < 0.05$ ) σε σύγκριση με τις δοκιμασίες ελέγχου (δοκιμασίες ποδηλασίας χωρίς πρόκληση κόπωσης εισπνευστικών μυών). Άλλες έρευνες όπου χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο κόπωσης των αναπνευστικών πριν την προσπάθεια παρουσιάζουν σημαντική μείωση της απόδοσης (Martin, Heintzelman & Chen, 1982; McConnel & Lomax, 2006; Romer, Haverkamp, Lovering, Pegelow & Dempsey, 2005; Verges, Sager, Erni & Spengler, 2007) ή μη σημαντική μεταβολή (Dodd, Powers, Thompson, Landry & Lawler, 1989; Sliwinski, Yan, Gauthier & Macklem, 1996; Spengler, Knopfli-Lenzin, Birchler, Trapletti & Boutellier, 2000).

Σύμφωνα με τους Johnson και συν. (1996) στις έρευνες όπου χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές μείωσης του έργου των αναπνευστικών μυών (χρήση ηλίου/οξυγόνου ή χρήση βοηθητικής συσκευής παραγωγής πιέσεων) κατά την άσκηση παρουσιάζουν αύξηση της απόδοσης μόνο σε ένταση υψηλότερη από το 90-95% της  $\dot{V}O_{2\max}$ , γεγονός που καταδεικνύει την επίδραση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών στην απόδοση. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν πως υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι επίδρασης της αναπνευστικής κόπωσης στον περιορισμό της απόδοσης: μέσω ανεπαρκούς αναπνευστικής ανταπόκρισης στην άσκηση (π.χ. κυψελιδικός υποαερισμός) ή μέσω αυξημένης αίσθησης της δύσπνοιας.

Ο κυψελιδικός υποαερισμός μπορεί να προκύψει μέσω της αδυναμίας των αναπνευστικών μυών για παραγωγή επαρκούς πίεσης ή μέσω αλλαγής του μοτίβου αναπνοής (π.χ. ταχύπνοια). Η αυξημένη αίσθηση δύσπνοιας μπορεί να παρουσιαστεί ως αποτέλεσμα απαίτησης αυξημένης πίεσης σε σχέση με τη διαθέσιμη ικανότητα παραγωγής πίεσης, των διαφόρων μεταβολιτών στην κυκλοφορία του αίματος ή μεταβολιτών που παράγονται στο διάφραγμα και διεγείρουν ευαίσθητους υποδοχείς. Ένας ακόμα λόγος για τη μείωση της απόδοσης μπορεί να είναι οι αλλαγές στη στρατολόγηση των αναπνευστικών μυών ή των κινητικών μονάδων μέσα στον αναπνευστικό μυ. Έτσι, η κόπωση των αναπνευστικών μυών μπορεί να παρουσιαστεί και να επηρεάσει την απόδοση χωρίς να επηρεάσει τον κυψελιδικό αερισμό. Παρομοίως, αλλαγή στον κυψελιδικό αερισμό ή αυξημένη αίσθηση δύσπνοιας μπορεί να παρουσιαστεί ανεξάρτητα από την κόπωση των αναπνευστικών μυών.



Πιθανά οφέλη στην απόδοση από βελτίωση των αναπνευστικών μεταβλητών. Βελτίωση των αναπνευστικών μεταβλητών μέσω εξειδικευμένης προπόνησης των αναπνευστικών μυών μπορεί να βελτιώσει την απόδοση, πιθανόν μέσω βελτίωσης της αίσθησης δύσπνοιας, την καθυστέρηση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών, τη βελτίωση της λειτουργικής ικανότητας του αναπνευστικού συστήματος ή λόγω αλλαγών στον ανταγωνισμό αιματικής ροής μεταξύ αναπνευστικών και κινητήριων μυών (Powers, Coombes & Demirel, 1997; McConnel & Lomax, 2006; Sheel, 2002).

Παρά τον μεγάλο αριθμό ερευνών σχετικά με την κόπωση ή την προπόνηση των εισπνευστικών μυών, η πλειοψηφία τους αναφέρεται σε άσκηση που δεν συμμετέχει σε μεγάλο βαθμό όλο το σώμα. Επιπλέον, η άσκηση σε υδάτινο περιβάλλον, παρά τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει, δεν έχει συγκεντρώσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον.

### ***Κολύμβηση και αναπνευστικό σύστημα***

*Ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος στην κολύμβηση.* Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κολύμβησης διαφέρουν σημαντικά από τα υπόλοιπα αθλήματα. Η βύθιση στο νερό και η οριζόντια θέση του κολυμβητή μπορούν να επηρεάσουν τη μηχανική της αναπνοής και να μεταβάλουν τις αιμοδυναμικές παραμέτρους.

Η βύθιση στο νερό αυξάνει την υδροστατική συμπίεση γύρω από το στήθος, πιέζοντας το τοίχωμα του στήθους προς τα μέσα όταν οι εισπνευστικοί μύες είναι χαλαροί (Frangolias & Rhodes, 1995; Withers & Hamdorf, 1989), επενεργώντας ενάντια στην παραγωγή πίεσης από τους εισπνευστικούς μυς (Cordain & Stager, 1988; Frangolias & Rhodes, 1996). Έχει παρατηρηθεί αύξηση της καρδιακής παροχής (αύξηση όγκου παλμού), του κεντρικού όγκου αίματος και (ως επακόλουθο) της πνευμονικής αρτηριακής πίεσης (Choukroun & Varene, 1990). Αντιθέτως, οι εισπνευστικοί μύες ενεργοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό στην κατακόρυφη παρά στην ύπτια θέση κατά την αναπνοή σε ηρεμία (Druz & Sharp, 1981). Οι διαφορετικές θέσεις σώματος μπορούν επίσης να μεταβάλλουν

την καρδιακή παροχή σε ηρεμία (Harms, vanLieshout, Jenstrup, Pott, & Secher, 2003) ή τις καρδιο-αναπνευστικές ανταποκρίσεις κατά την άσκηση (Stenberg, Åstrand, Ekblom, Royce, & Saltin, 1967).

Όσο αφορά τις αναπνευστικές μεταβλητές, η βύθιση στο νερό προκαλεί σημαντική μείωση της VC κατά 4-12% (Agostoni, Gurtner, Torri & Rahn, 1966; Bondi, Young, Bennett & Bradley, 1976; Nigorikawa, Yoshigi, Muramoto & Oishi, 1987; Ostrove & Vaccaro, 1982; Prefaut, Ramonatxo, Boyer & Chardon, 1978; Withers & Hamdorf, 1989), μείωση της FRC (Agostini et al., 1966) ενώ η RV μάλλον δεν μεταβάλλεται (Demura, Yamaji & Kitabayashi, 2006).

Η αναπνοή κατά την κολύμβηση είναι διαφορετική από την άσκηση εκτός νερού λόγω των μανουβρών κρατήματος της αναπνοής από τους κολυμβητές και του συγχρονισμού της συχνότητας αναπνοής με τη χεριά (Holmer & Gullstrand, 1980). Επιπλέον, οι μύες του θωρακικού τοιχώματος συνεισφέρουν και στην κολυμβητική κίνηση με τη σταθεροποίηση του σώματος του κολυμβητή. Κατά την κολύμβηση, η συχνότητα αναπνοής είναι μικρότερη (με γρήγορη εισπνοή) και ο  $V_T$  υψηλότερος (Dicker, Loftus, Thornton & Brooks, 1980; Rodriguez, 2000).

### *Αγωνιστική κολύμβηση και αναπνευστικές μεταβλητές*

*Σπιρομετρήσεις ηρεμίας.* Σε παλαιότερες συγκρίσεις μεταξύ αθλητών (Åstrand et al., 1963; Engstrom et al., 1971) αλλά και πρόσφατες έρευνες (Armour et al., 1993; Cheng et al., 2003; Cordain et al., 1990; Doherty & Dimitriou, 1997) έχουν καταδείξει υψηλότερες τιμές για τους κολυμβητές, με εξαίρεση τον RV (Clanton, Dixon, Drake & Gadek, 1987) και το δείκτη Tiffeneau (Armour et al., 1993). Υποθέσεις πως το παραπάνω μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα παιδιά με υψηλότερους πνευμονικούς όγκους-χωρητικότητες είναι αυτά που συνεχίζουν την αγωνιστική κολύμβηση ή ότι παρουσιάζουν διαφορετική βιολογική ωρίμανση, έχει μερικώς αποκλειστεί (Benefice, Mercier, Guérin, Préfaut, 1990; Courteix, Obert, Lecoq, Guenon, Koch, 1997).

Συγκεκριμένα, έχουν βρεθεί σημαντικά υψηλότεροι πνευμονικοί όγκοι των προπονημένων κολυμβητών (13-16 ετών) σε σχέση με απροπόνητα άτομα ίδιας ηλικίας (Vaccaro, Clarke, Morris, 1980). Οι Zinman και Gaultier (1986), σε μια σύγκριση μεταξύ 38 προπονημένων κολυμβητριών και 59 ατόμων ομάδας

ελέγχου, βρήκαν πως η VC είναι υψηλότερη σε κολυμβήτριες 7-13 ετών, και περισσότερο στις κολυμβήτριες μεγαλύτερης ηλικίας. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές παρατήρησαν πως οι πνευμονικοί όγκοι και χωρητικότητες αυξάνονται περισσότερο στις κολυμβήτριες σε σύγκριση με άτομα ίδιου ύψους και ηλικίας. Τέλος, αυξήσεις της VC σε κολυμβητές έχουν παρουσιαστεί και σε έρευνες διαχρονικής σύγκρισης (Clanton et al., 1987; Courteix et al., 1997; Ericksson et al., 1978; Zauner & Benson, 1981). Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι Koch και Eriksson (1973) πρότειναν πως η αύξηση αυτή οφείλεται στη φυσική ανάπτυξη. Επίσης, στην έρευνα των Vaccaro και Clarke (1978), οι τιμές της VC δεν βρέθηκαν διαφορετικές από τις αναμενόμενες σε κολυμβητές 9-11 ετών μετά από 7 μήνες προπόνησης.

Η προπόνηση κολύμβησης έχει βρεθεί πως βελτιώνει την FEV<sub>1</sub> κατά 7% μετά από 7-10 μήνες προπόνησης σε έφηβους κολυμβητές-τριες (Bertholon, Carles, Teillac, 1986). Επίσης, σημαντική αύξηση (18%) έχει παρουσιαστεί σε κορίτσια 9, 3 ετών μετά από ένα χρόνο (Courteix et al., 1997). Παρόμοια ευρήματα παρουσιάζονται και για κολυμβητές ηλικίας 13-16 ετών (Vaccaro, Clarke, Morris, 1980). Έλληνες κολυμβητές-τριες 9-15 ετών παρουσιάζουν κατά 122% υψηλότερες τιμές στις σπироμετρικές μεταβλητές σε σχέση με τις προβλεπόμενες για το ίδιο φύλο, ηλικία και ύψος (Kokkalis, Athanassaki, Gourgoulisanis & Molyvdas, 2001).

Σε έρευνα όπου αξιολογήθηκαν 46 Έλληνες κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου (μέση ηλικία:  $16.9 \pm 2.9$  έτη, μέση προπονητική ηλικία:  $8.9 \pm 2.7$  έτη), οι σχετικές (% απόκλιση από τις προβλεπόμενες) τιμές της FEV<sub>1.0</sub> και FVC ήταν σημαντικά υψηλότερες (119% και 116% αντίστοιχα,  $p < 0.001$ ), με τη σχετική τιμή της FEV<sub>1.0</sub> να συσχετίζεται σημαντικά ( $r = 0.493$ ,  $p < 0.01$ ) με την προπονητική ηλικία (Θωμαΐδης, Κουτλιάνος, Γαβριηλίδου & Κουτλιάνος, 2003). Στην παραπάνω εργασία δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στις σχετικές τιμές μεταξύ κολυμβητών διαφορετικού φύλου, ηλικίας ή αγωνιστικού επιπέδου. Αντίθετα με τα παραπάνω δεδομένα οι Vaccaro και Clarke (1978) δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές σε κολυμβητές 9-11 ετών μετά από προπόνηση 7 μηνών. Τέλος, σε αθλητές κολεγίων, η FEV<sub>1</sub> έχει βρεθεί χαμηλότερη στους κολυμβητές σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου ή τους δρομείς ίδιου επιπέδου (Cordain et al., 1990).

Σύμφωνα με τους Doherty και Dimitriou (1997), Έλληνες κολυμβητές εθνικού επιπέδου παρουσιάζουν υψηλότερη  $FEV_{1.0}$ . Σε μια άλλη μελέτη που διεξήχθη σε Έλληνες κολυμβητές-τριες προ-εφηβικής και εφηβικής ηλικίας, οι αθλητές με καλύτερες επιδόσεις στα 100 m ελεύθερο ή 100 m ύπτιο παρουσίαζαν και υψηλότερες τιμές στη FVC,  $FEV_{1.0}$ . (Kokkalis et al., 2001). Η VC παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τη φυσική πλευστότητα των κολυμβητών (Gagnon & Montpetit, 1981; McLean & Hinrichs, 1998, 2000) και αρνητική με τη φυσική ροπή που επενεργεί βυθίζοντας τα πόδια (Zamparo et al., 1996). Όλα τα παραπάνω αποτελούν ενδείξεις της πιθανής θετικής επίδρασης των υψηλών αναπνευστικών παραμέτρων στην απόδοση των κολυμβητών. Όσο αφορά τη σχέση μεταξύ ζωτικής χωρητικότητας και μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, η συσχέτιση της VC με την  $\dot{V}O_{2\max}$  σε απόλυτες τιμές είναι υψηλή αλλά όχι με τη  $\dot{V}O_{2\max}$  εκφραζόμενη σε σχέση με το μέγεθος σώματος (Maglischo, 1993).

Στην ερευνητική βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί πολλοί πιθανοί λόγοι και μηχανισμοί στους οποίους οφείλονται οι υψηλότερες σπироμετρικές μεταβλητές για τους κολυμβητές. Οι διαφορές στην ένταση και τη διάρκεια της προπόνησης, το ξεκίνημα της προπόνησης σε μικρότερη ηλικία για την κολύμβηση (Cordain et al., 1990; Doherty & Dimitriou, 1997) ή η μεγαλύτερη επιφάνεια-περίμετρος θώρακα στους κολυμβητές (Armour et al., 1993) μπορεί να επηρεάζουν τις τιμές των παραπάνω μεταβλητών. Το αναπνευστικό στρες που συνδέεται με την υδροστατική πίεση συγκεκριμένα στο κολύμπι (λόγω των μανουβρών κρατήματος της αναπνοής), αυξάνει τη δύναμη των αναπνευστικών μυών (Hamilton & Andrew, 1976). Επίσης, η προπόνηση κολύμβησης μπορεί να βελτιστοποιήσει το μοτίβο αναπνοής μέσω της βελτίωσης συγχρονισμού μεταξύ των θωρακο-κοιλιακών όγκων και της κίνησης των πλευρών (Sarro, Silvatti & Barros, 2008).

Εφόσον οι πνευμονικοί όγκοι εξαρτώνται μερικώς από τη δύναμη των αναπνευστικών μυών, κάθε αύξηση στη δύναμή τους από την μακροχρόνια προπόνηση μπορεί να αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα βελτίωσης της απόδοσης (Bachman & Horvath, 1968; Clanton et al., 1987; Engstrom et al., 1971; Leith & Bradley, 1976; Zauner & Benson, 1981; Zinman & Gaultier, 1986). Άλλοι πιθανοί μηχανισμοί αναφέρονται αλλαγές στην ελαστικότητα του θωρακικού τοιχώματος και του πνεύμονα (Clanton et al., 1987, Zauner & Benson, 1981) ή άμεση ανάπτυξη των πνευμόνων σε παιδιά (πολλαπλασιασμός κυψελίδων) σαν

μια προσαρμοστική αντίδραση στην άσκηση (Cordain et al., 1990; Zinman & Gaultier, 1986).

*Μέγιστη Εισπνευστική Στοματική Πίεση.* Προπόνηση κολύμβησης 12 εβδομάδων μπορεί να προκαλέσει σημαντική αύξηση των τιμών της PImax σε κολυμβήτριες αγωνιστικού επιπέδου (Clanton et al., 1987). Παρόλα αυτά, οι Zinman και Gaultier (1986) δεν κατέδειξαν σημαντικές διαφορές στη PImax μεταξύ κολυμβητριών και ομάδας ελέγχου σε ηλικίες 7-12 ετών. Όσο αφορά τη σύγκριση της PImax σε αθλητές διαφόρων αθλημάτων, δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές μεταξύ κολυμβητών και αθλητών χιονοδρομίας (Coast et al., 1990) ή αθλητών σε δρόμους αντοχής (Armour et al., 1993; Cordain et al., 1990).

Η προπόνηση των εισπνευστικών μυών σε συνδυασμό με την προπόνηση σε κολυμβητές-τριες υψηλού αγωνιστικού επιπέδου και τις πιθανές βελτιώσεις στην απόδοση έχουν αξιολογηθεί (έως τώρα) μόνο από μία έρευνα. Οι Wells και συν. (2005) εντόπισαν σημαντικές διαφορές στη βελτίωση της FEV<sub>1.0</sub> ( $p < 0.05$ ) αλλά μη σημαντικές διαφορές (σε σύγκριση με ομάδες ελέγχου) στη βελτίωση της PImax μετά από 12 εβδομάδες συνδυασμένης προπόνησης εισπνευστικών-εκπνευστικών μυών. Επίσης, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στην αίσθηση δύσπνοιας και την κολυμβητική απόδοση, με μια τάση για βελτίωση της κρίσιμης ταχύτητας μόνο στις κολυμβήτριες ( $p = 0.08$ ). Οι Mickleborough και συν. (2008) επιβεβαίωσαν τη σημαντική αύξηση της FEV<sub>1.0</sub>, FVC και PImax μετά από 12 εβδομάδες προπόνησης, χωρίς να παρουσιάζεται σημαντική επίδραση από την επιπρόσθετη προπόνηση εισπνευστικών μυών. Από τα αποτελέσματα των πρόσφατων μελετών προκύπτει ότι η αύξηση της δύναμης των εισπνευστικών μυών μετά από μια περίοδο προπόνησης δεν συνοδεύεται απαραίτητα και από βελτίωση της αγωνιστικής απόδοσης.

*Αναπνευστικές μεταβλητές μετά από μέγιστη προσπάθεια στην κολύμβηση.* Στη μοναδική δημοσιευμένη έρευνα σχετικά με την κόπωση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση αγωνιστικού επιπέδου (Lomax & McConnell, 2003), αξιολογήθηκαν 7 καλά προπονημένοι κολυμβητές-τριες μέσης ηλικίας 29.9 ( $\pm 6.4$ ) ετών. Οι παραπάνω συμμετέχοντες, αφού ακολούθησαν 3 δοκιμασίες εξοικείωσης με τις πειραματικές μεθόδους αξιολόγησης, εκτέλεσαν 200 μέτρα κολύμβησης



(ελεύθερο) στο 90-95% της ταχύτητας του ρυθμού αγώνων (μέσος χρόνος κολύμβησης: 2.7 min). Όλοι οι συμμετέχοντες παρουσίασαν σημαντική μείωση της  $PI_{max}$  στην ύπτια θέση μετά την άσκηση ( $80 \pm 15.7$  cmH<sub>2</sub>O έναντι  $112 \pm 20.4$  cmH<sub>2</sub>O πριν), με μέσο ποσοστό μείωσης 29% ( $p \leq 0.01$ ).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κολυμβητικές δοκιμασίες μικρής χρονικής διάρκειας είναι ικανές να προκαλέσουν κόπωση εισπνευστικών μυών. Σε συνδυασμό με τις φυσιολογικές-βιοχημικές μεταβολές που συνοδεύουν την άσκηση μέγιστης προσπάθειας, είναι πιθανόν να προκαλούν μείωση της απόδοσης ακόμη και σε κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου.

### **Αξιολόγηση κολυμβητικής προσπάθειας**

Φυσιολογικές-βιοχημικές μεταβλητές και απόδοση στην κολύμβηση. Η  $\dot{V}O_{2max}$  έχει συσχετιστεί θετικά με την κολυμβητική απόδοση (Costill et al., 1985). Κατά την κολύμβηση υψηλής έντασης ( $\dot{V}O_{2max}$ ) η καρδιακή συχνότητα εμφανίζεται χαμηλότερη κατά 10-15 παλμούς ανά λεπτό (DiCarlo, Sparling, Millard-Stufford & Rupp, 1991; McArdle, Magel, Delio, Toner & Chase, 1978; Rodriguez, 2000). Ένα αγώνισμα το οποίο θεωρείται πως αποτελεί μια χρήσιμη και αξιόπιστη δοκιμασία για κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου είναι τα 400 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης. Στο αγώνισμα αυτό η ενεργειακή συμμετοχή του αερόβιου μεταβολισμού μπορεί να προσεγγίσει το 80-83% (Laffitte et al., 2004; Rodriguez & Mader, 2003) και θεωρείται πως είναι χρονικά επαρκής δοκιμασία για την επίτευξη της  $\dot{V}O_{2max}$  (Costill et al., 1985; Laffitte et al., 2004; Rinehardt et al., 1991; Rodriguez, 2000).

Για τον προσδιορισμό των φυσιολογικών-βιοχημικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια κολύμβησης 400 μέτρων, οι Laffitte και συν. (2004) «διαίρεσαν» τα 400 m σε τέσσερις δοκιμασίες (400 m μέγιστης προσπάθειας και 300 m, 200 m, 100 m στην ταχύτητα κολύμβησης των 400 m). Κατά τη δοκιμασία των 400 μέτρων, η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα και η πρόσληψη οξυγόνου αυξήθηκαν σημαντικά μετά τα 100 m, με τη  $\dot{V}O_{2max}$  να επιτυγχάνεται μόνο μετά τα 400 m. Η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα μετά τη δοκιμασία ήταν  $10.4 (\pm 1.9)$  mmol·l<sup>-1</sup>.

Οι μεταβολές στις αναπνευστικές, φυσιολογικές και βιοχημικές παραμέτρους κατά την άσκηση μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα την ταχύτητα κολύμβησης, άρα και την επίδοση ενός κολυμβητή. Το χρονικό σημείο (μέσα στη δοκιμασία) όπου εντοπίζονται οι μεταβολές αυτές παρουσιάζει σημαντικό προπονητικό ενδιαφέρον, σε σύγκριση πάντα με τις παραμέτρους της κολυμβητικής απόδοσης που χρησιμοποιούνται συχνά στην κολύμβηση.

*Μηχανικές παράμετροι της κολυμβητικής απόδοσης.* Η ταχύτητα κολύμβησης ( $V$ ) έχει οριστεί ως το γινόμενο της συχνότητα χεριάς (SR) και της απόστασης που διένυσε ο κολυμβητής σε ένα κύκλο χεριάς (μήκος χεριάς; SL). Η σχέση μεταξύ SR και SL επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως η προπόνηση (Craig & Pendergast, 1979), η ένταση (Wakayoshi, D'Acquisto, Cappaert & Troup, 1995) και η κολυμβητική απόσταση (Craig, Skehan, Pawelczyk & Boomer, 1985). Το SL έχει συσχετιστεί θετικά με την κολυμβητική απόδοση (Costill et al., 1985). Στην έρευνα των Laffitte et al. (2004), κατά τη διάρκεια δοκιμασίας 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης, η  $V$  μειώθηκε σημαντικά μετά τα πρώτα 100 m και παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα μέχρι το τέλος. Η SR μειώθηκε σημαντικά μετά τα 100 m και αυξήθηκε μετά μέχρι το τέλος της δοκιμασίας ενώ το SL διατήρησε μια τάση μείωσης σε όλη τη διάρκεια των 400 μέτρων. Οι Craig και Pendergast (1979) παρατήρησαν πως οι ικανότεροι κολυμβητές αυξάνουν την SR ως αντιστάθμιση της μείωσης του SL για τη διατήρηση της κολυμβητικής τους ταχύτητας.

Η κολύμβηση λοιπόν αποτελεί ένα άθλημα που διεξάγεται σε ένα ιδιαίτερο περιβάλλον, γεγονός το οποίο μπορεί να διαφοροποιήσει σημαντικά τις αναπνευστικές και φυσιολογικές μεταβλητές σε ηρεμία αλλά και κατά την άσκηση. Επίσης, η προπόνηση κολύμβησης μπορεί να μεταβάλει θετικά τις αναπνευστικές παραμέτρους. Παρόλα αυτά, οι παραπάνω παράμετροι (και ειδικότερα η  $P_{\text{Imax}}$ ) μπορούν να μειωθούν σημαντικά μετά από κολύμβηση υψηλής έντασης. Η ΠΕΜ μπορεί ίσως να μειώσει την κόπωση των εισπνευστικών μυών, την αίσθηση δύσπνοιας και να μεταβάλει τις φυσιολογικές μεταβλητές, γεγονός το οποίο μπορεί να επιδράσει θετικά στην κολυμβητική απόδοση. Τα 400 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης αποτελούν μια δοκιμασία που υποβάλλει σε υψηλό στρες το αναπνευστικό σύστημα. Η αξιολόγηση και ο εντοπισμός του χρονικού σημείου της

κόπωσης των εισπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμασίας παρουσιάζει ιδιαίτερο προπονητικό και ερευνητικό ενδιαφέρον. Σε συνδυασμό με τον προσδιορισμό των φυσιολογικών-βιοχημικών μεταβλητών και τον υπολογισμό των μηχανικών παραμέτρων της κολυμβητικής απόδοσης, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα τα οποία, σε συνδυασμό με την εφαρμογή ΠΕΜ, μπορούν να συνεισφέρουν στη βελτίωση της απόδοσης των κολυμβητών.



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### ***Συμμετέχοντες***

Τους συμμετέχοντες στην έρευνα αποτέλεσαν 11 υγιείς κολυμβητές-τριες αγωνιστικού επιπέδου (5 γυναίκες, 6 άνδρες), ηλικίας  $17.6 \pm 0.8$  ετών με ύψος  $1.71 \pm 2.5$  m και σωματική μάζα  $66.9 \pm 3.3$  kg (Μέση τιμή  $\pm$  Τυπική απόκλιση), μη καπνιστές, χωρίς ιστορικό αναπνευστικών προβλημάτων. Όλοι οι κολυμβητές-τριες προπονούταν καθημερινά για τουλάχιστον 6 έτη (μέση προπονητική ηλικία:  $8.8 \pm 0.6$  έτη) και ήταν εξειδικευμένοι σε διαφορετικά στιλ και αποστάσεις κολύμβησης. Αφού ενημερώθηκαν για τις διαδικασίες της έρευνας, ζητήθηκε η έγγραφη αποδοχή της συμμετοχής τους, υπογεγραμμένη από τους γονείς-κηδεμόνες για τα ανήλικα άτομα (Παράρτημα Α).

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων. Το χρονικό διάστημα που διεξήχθη η μελέτη, οι αθλητές-τριες προπονούσαν με μέσο κολυμβητικό εβδομαδιαίο όγκο  $36.0 \pm 1.4$  km, στη διάρκεια  $7.1 \pm 0.3$  προπονητικών μονάδων (ΠΜ) ανά εβδομάδα (2 ώρες ανά ΠΜ). Οι μέση ατομική τους επίδοση στα αγωνίσματα των 400 και 200 μέτρων ήταν  $287.6 \pm 4.5$  και  $136.9 \pm 1.83$  s, αντίστοιχα.

### ***Όργανα Μέτρησης***

Όλες οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν από την έρευνα εκπληρώνουν τα κριτήρια αξιοπιστίας και βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τις υποδείξεις των κατασκευαστών.

*Μετρήσεις αναπνευστικών μεταβλητών.* Ο προσδιορισμός των εισπνευστικών πιέσεων των πνευμονικών όγκων και χωρητικότητας πραγματοποιήθηκε με μια φορητή συσκευή τύπου MicroRPM (Micro Medical Ltd, Kent, UK) και των πνευμονικών όγκων και χωρητικότητας με ένα φορητό σπιρόμετρο MicroLoop II (Micro Medical Ltd, Kent, UK) (Εικόνα 1).

Πίνακας 4. Ατομικά χαρακτηριστικά και προπονητικά στοιχεία των συμμετεχόντων στην έρευνα.

α/α	Φύλο	Ηλικία (έτη)	Σωματικό		Σωματική Μάζα (kg)	Πρ. Ηλ. (έτη)	Αποστάσεις (m) και Σπλ Εξειδίκευσης		Εβδομαδιαίος Αριθμός Προπονήσεων και Εβδομαδιαίος Όγκος Προπόνησης (km)	Ατομικές επιδόσεις στα 200m και 400m ελεύθερης κολύμβησης (s)	
			Ύψος (m)	Ηλικία (έτη)							
1	A	20	1.83	72.6	6	50, 100	ΠΡ	40	6	134.23	285.33
2	Θ	16.3	1.60	50.8	9	400, 800	ΕΛ	45	9	145.93	303.14
3	A	20	1.74	72.6	10	100, 200	ΠΕΤ	33	7	129.08	262.67
4	A	21.5	1.80	85.8	10	50, 100	ΠΕΤ	33	7	128.4	270.84
5	Θ	14	1.68	56	7	100, 200	ΕΛ	40	7	138.78	289.5
6	A	14.3	1.70	77.8	8	100, 200	ΠΡ	30	6	137.53	293.63
7	Θ	16.1	1.68	61.6	9	50, 100	ΕΛ-ΥΠ	30	6	147.4	305.1
8	A	17	1.83	76.9	9	50, 100	ΕΛ-ΠΕΤ	40	6	134.26	267.47
9	Θ	21.6	1.60	63	13	200, 100	ΥΠ	35	8	137.52	298.43
10	Θ	17.4	1.69	58	10	200	ΠΕΤ	35	8	139.8	301.78
11	A	15.4	1.65	61	6	50, 100	ΥΠ	35	8	132.66	285.83

A: Άρρην, Θ: Θήλυς, Πρ. Ηλ.: Προπονητική Ηλικία, ΠΡ: Πρόσθιο, ΕΛ: Ελεύθερο, ΠΕΤ: Πεταλούδα, ΥΠ: Ύπτιο.



**Εικόνα 1.** Οι συσκευές προσδιορισμού των αναπνευστικών μεταβλητών. Συσκευή στοματικών πιέσεων MicroRPM (αριστερά) και σπιρόμετρο MicroLoop II (δεξιά).

Για την αξιολόγηση της προσπάθειας της αναπνοής χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα υποκειμενικής αίσθησης δύσπνοιας του Borg (Borg, 1982) (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β).

*Μετρήσεις μεταβολικών-φυσιολογικών παραμέτρων.* Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ενός φορητού αναλυτή τύπου Accutrend Lactate Portable Lactate Analyzer (Hoffmann-La Roche Ltd, Basel, Switzerland) που βαθμονομήθηκε πριν από τη χρήση του με διαλύματα γνωστής συγκέντρωσης. Για την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας χρησιμοποιήθηκε ένα καρδιοσυχνόμετρο τύπου POLAR S810i (Electro Oy, Kempele, Finland).

*Μετρήσεις κολυμβητικής απόδοσης.* Η μέτρηση του χρόνου κύκλου χεριάς και των επιδόσεων στις κολυμβητικές δοκιμασίες πραγματοποιήθηκε με δύο ψηφιακά χρονόμετρα χειρός (Seiko S-Yard CO Ltd., Tokyo, Japan).

## **Διεξαγωγή Δοκιμασιών**

*Χώρος Διεξαγωγής.* Οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν σε ανοικτή πισίνα 50 μέτρων την ίδια ώρα της ημέρας για κάθε συμμετέχοντα. Πραγματοποιήθηκαν καταγραφές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (20.8-22.9 °C), σχετικής υγρασίας (38-65%) και της θερμοκρασίας νερού της πισίνας (27.2-27.7 °C) καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δοκιμασιών για κάθε κολυμβητή. Όλες οι παραπάνω παράμετροι, όπως και τα επίπεδα pH και ελεύθερου χλωρίου παρέμειναν εντός των αποδεκτών ορίων (pH: 7.2–7.6; ελεύθερο χλώριο: 2.0–3.5 ppm; Lomax & McConnell, 2003).

*Προκαταρκτικές διαδικασίες.* Αρχικά, οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για τις διαδικασίες των μετρήσεων σε μια συνάντηση με τον εξεταστή. Σ' αυτή την πρώτη συνάντηση οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν τα απαραίτητα ατομικά τους στοιχεία με τη συνεργασία των προπονητών τους (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ) και τους ζητήθηκε να διατηρήσουν σταθερές τις συνήθειες τους (διατροφή, προπόνηση, ύπνος) για την περίοδο των μετρήσεων (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β). Ζητήθηκε επίσης να μην πραγματοποιήσουν έντονη άσκηση την προηγούμενη ημέρα από τις μετρήσεις και να μην έχουν πραγματοποιήσει προπόνηση μέχρι και 12 ώρες πριν. Επιπλέον, έγινε έγγραφη και προφορική σύσταση να μην καταναλώσουν καφέ, αναψυκτικό που περιέχει καφεΐνη, αλκοολούχο ποτό ή οποιοδήποτε είδος ουσίας το οποίο μπορεί να επηρεάσει (ή υπάρχουν υποψίες ότι μπορεί να επηρεάζει) τις φυσιολογικές λειτουργίες. Τέλος, ζητήθηκε να μην καταναλωθεί τροφή δύο ώρες πριν από κάθε μέτρηση. Οι κολυμβήτριες δεν εξετάστηκαν κατά την περίοδο εμμηνόρροιας.

*Εξοικείωση (Ημέρες 1-2).* Οι δοκιμασίες διεξήχθησαν σε 5 συνεχόμενες ημέρες για κάθε κολυμβητή. Η πρώτη και δεύτερη μέρα περιλάμβαναν εξοικείωση όλων των συμμετεχόντων με το πρωτόκολλο των μετρήσεων και τις συσκευές μέτρησης. Το σημαντικότερο μέρος της εξοικείωσης αποτέλεσε η μέτρηση των εισπνευστικών πιέσεων έτσι ώστε να αποφευχθεί η επίδραση της μάθησης στις διακυμάνσεις των τιμών της PImax (Wen, Woo & Keens, 1997).

Πραγματοποιήθηκε έλεγχος αξιοπιστίας (test-retest reliability) της διαδικασίας μετά την εξοικείωση (intraclass correlation coefficient  $r=0.93$ ,  $p=0.01$ ). Στη διάρκεια της πρώτης δοκιμασίας κατεγράφη το σωματικό ύψος σε όρθια θέση και η σωματική μάζα. Μετά την εξοικείωση με τις συσκευές μέτρησης έγινε προσδιορισμός των αναπνευστικών όγκων και χωρητικοτήτων. Οι παραπάνω τιμές μετατράπηκαν αυτόματα από τη συσκευή μέτρησης σε ποσοστό (%) των προβλεπόμενων για καυκάσιο πληθυσμό (Πίνακας 5) σε σχέση με το ύψος και την ηλικία σύμφωνα με τις νόρμες των Knudson και συν. (1976).

*Καταγραφή αναπνευστικών παραμέτρων ηρεμίας.* Όλες οι μετρήσεις εκτελέστηκαν σύμφωνα με τις υποδείξεις της Αμερικανικής και Ευρωπαϊκής Θωρακικής Εταιρίας από ειδικευμένο πνευμονολόγο (ATS/ERS Statement, 2005;2002; ATS Statement, 1995; 1991). Σε όλες τις προσπάθειες χρησιμοποιήθηκε αποκλεισμός της ρινικής οδού (με ειδικό ρινοπίεστρο). Επιπλέον, δινόταν λεκτική ενθάρρυνση στους δοκιμαζόμενους για μέγιστη προσπάθεια, καθώς και ανατροφοδότηση για το αποτέλεσμα της κάθε μέτρησης.

*Σπιρομετρήσεις ηρεμίας.* Ο προσδιορισμός των FVC και FEV<sub>1</sub> πραγματοποιήθηκε τη 2<sup>η</sup> ημέρα των αξιολογήσεων. Εκτελέστηκαν τρεις ικανοποιητικές, κατά τον εξεταστή, προσπάθειες σε καθιστή θέση και καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή για κάθε μεταβλητή εφόσον δεν υπήρχε διαφορά μεγαλύτερη των 0.2L με τη δεύτερη υψηλότερη τιμή.

**Πίνακας 5.** Σπιρομετρήσεις ηρεμίας των συμμετεχόντων κολυμβητών-τριων.

Δείγμα	FEV <sub>1</sub> (L)	FEV <sub>1</sub> (%)*	FVC (L)	FVC (%)*	FEV <sub>1</sub> /FVC (%)	FEV <sub>1</sub> / FVC (%)*
Θ (n=5)	3.66 ± 0.2	110.4 ± 6	4.38 ± 0.1	114.8 ± 2.5	84 ± 5.6	96.9 ± 6.2
Α (n=6)	4.4 ± 0.2	102.3 ± 4.3	5.33 ± 0.3	104 ± 2.9	82.9 ± 2.7	98.2 ± 3.2

Οι τιμές παρουσιάζονται ως **Μέσος Όρος ± Τυπικό Σφάλμα του Μέσου Όρου**.  
**FEV<sub>1</sub>**: Μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1 δευτερόλεπτο, **FVC**: Δυναμική ζωτική χωρητικότητα.  
\* Ποσοστιαία αναλογία απόκλισης από τις προβλεπόμενες τιμές για καυκάσιους σύμφωνα με: φύλο, ηλικία και ύψος (Quanjer et al., 1995).

Σε αντίθετη περίπτωση ο εξεταζόμενος εκτελούσε άλλη μία προσπάθεια (ανώτερο όριο: 8 προσπάθειες) (ATS, 1995). Η αναλογία FVC/FEV<sub>1</sub> υπολογίστηκε έπειτα από τις υψηλότερες τιμές. Τέλος, οι απόλυτες τιμές μετατράπηκαν αυτόματα από τη συσκευή μέτρησης σε προβλεπόμενες (%απόκλιση) τιμές σύμφωνα με τη νόρμα των Quanjer και συν. (1995) για καυκάσιο πληθυσμό (λαμβάνοντας υπόψη φύλο, ηλικία και ύψος).

*Κολυμβητικές δοκιμασίες (Ημέρες 3-5).* Όλες οι κολυμβητικές δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν 10 λεπτά μετά από μια τυποποιημένη ελεγχόμενη προθέρμανση (Πίνακας 6). Η προθέρμανση περιλάμβανε ασκήσεις ευκαμψίας-ευλυγισίας για 5 λεπτά και κολύμβηση συνολικά 1300 μέτρων. Στο σχεδιασμό του παραπάνω προγράμματος οι ερευνητές έλαβαν υπόψη την συνήθη προαγωνιστική ρουτίνα προθέρμανσης των συμμετεχόντων κολυμβητών.

Οι εκκινήσεις στις κολυμβητικές δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν μέσα από το νερό (οριζόντια θέση σώματος με τα πέλματα να ακουμπούν τον τοίχο). Την 3<sup>η</sup> ημέρα (1<sup>η</sup> δοκιμασία) οι συμμετέχοντες εκτέλεσαν 400 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης σε μέγιστη ένταση και συχνότητα αναπνοής κατά τη βούληση του κάθε κολυμβητή (*ad libitum*). Οι χρόνοι κολύμβησης ανά 50 μέτρα καταγράφηκαν για τον προσδιορισμό του ρυθμού κολύμβησης στις επόμενες δοκιμασίες.

Την 4<sup>η</sup> ημέρα (2<sup>η</sup> δοκιμασία) οι κολυμβητές πραγματοποίησαν 300 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης σε ταχύτητα ίση με τα πρώτα 300 μέτρα στην 1<sup>η</sup> δοκιμασία (Σχήμα 1). Παρομοίως, η 5<sup>η</sup> ημέρα περιλάμβανε την εκτέλεση 200 και 100 μέτρων (3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> δοκιμασία, αντίστοιχα) στο ρυθμό κολύμβησης της 1<sup>ης</sup> δοκιμασίας (πρώτα 200 και 100 μέτρα αντίστοιχα). Μεταξύ της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> δοκιμασίας υπήρξε ξεκούραση 30 λεπτών. Ένα παρόμοιο πρωτόκολλο έχει χρησιμοποιηθεί από τους Laffite και συν. (2004). Για επιβεβαίωση πως οι κολυμβητές πραγματοποιούσαν τις τρεις τελευταίες δοκιμασίες στην ακριβή ταχύτητα της 1<sup>ης</sup> δοκιμασίας, ένας από τους εξεταστές περπατούσε κατά μήκος της πισίνας κρατώντας ένα οπτικό σημάδι λίγο μπροστά από τον εξεταζόμενο.



Πίνακας 6. Πρόγραμμα προθέρμανσης των κολυμβητών πριν τις δοκιμασίες.

Εκτός πισίνας	5 min ασκήσεις ενεργητικής-παθητικής ευκαμψίας και ευλυγισίας			
	Απόσταση (Επανάληψεις×Απόσταση)	Στιλ	Ένταση (% Ρεκόρ)	Διάλειμμα μετά από κάθε επανάληψη
Κολύμβηση	1×600 m	ΕΛ	70%	15 s
	4×50 m	ΕΛ	80%	20 s
	1×200 m	ΕΛ πόδια	70%	20 s
	4×50 m	ΕΛ	2 με συνεχή επιτάχυνση 2 με συνεχή επιβράδυνση	30 s
	1×100 m	Επιλογή του κολυμβητή	40-60%	
Σύνολο	1300 m			

ΕΛ: Ελεύθερο, Ρεκόρ: Καλύτερη Ατομική επίδοση.

Μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις. Πριν και μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία κατεγράφη η μέγιστη εισπνευστική πίεση. Από τους εξεταζόμενους ζητήθηκε να «αδειάσουν αργά» τους πνεύμονες τους ως τα επίπεδα της RV και μετά να εκτελέσουν την προσπάθεια. Ο προσδιορισμός της PImax πραγματοποιήθηκε από τον υπολειπόμενο όγκο (μανούβρα Mueller), δίνοντας την οδηγία στους συμμετέχοντες να διατηρήσουν μια μέγιστη εισπνευστική προσπάθεια για τουλάχιστον 1,5 δευτερόλεπτο (ATS/ERS Statement, 2002). Η μέγιστη εισπνευστική πίεση (PImax) που διατηρήθηκε περισσότερο από 1s προσδιορίστηκε με τη χρήση του ειδικού στομίου στη συσκευή μέτρησης (Εικόνα 1). Μία μικρή ελεγχόμενη διαρροή στη συσκευή απέτρεπε το κλείσιμο της γλωττίδας ή επιπλέον παραγωγή αρνητικής πίεσης από τους μυς του προσώπου. Οι μανούβρες εκτελέστηκαν σε όρθια-κατακόρυφη θέση με τον κολυμβητή βυθισμένο στο νερό ως τους ώμους.

Τρεις αρχικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν πριν από κάθε δοκιμασία και η υψηλότερη τιμή χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική ανάλυση. Μία μόνο μέτρηση χρησιμοποιήθηκε (Lomax & McConnell, 2003) αμέσως μετά από κάθε δοκιμασία σε διάστημα μικρότερο από 20s στην περίοδο της αποκατάστασης (Σχήμα 1). Επειδή μια σειρά μετρήσεων της PImax για τον εντοπισμό της κόπωσης των εισπνευστικών μυών θεωρείται ότι εξαρτάται σημαντικά από την προσπάθεια του εξεταζόμενου (ATS/ERS Statement, 2002), δινόταν συνεχώς λεκτική ενθάρρυνση έτσι ώστε να διασφαλιστεί πως οι συμμετέχοντες είχαν υψηλή παρακίνηση σε όλες

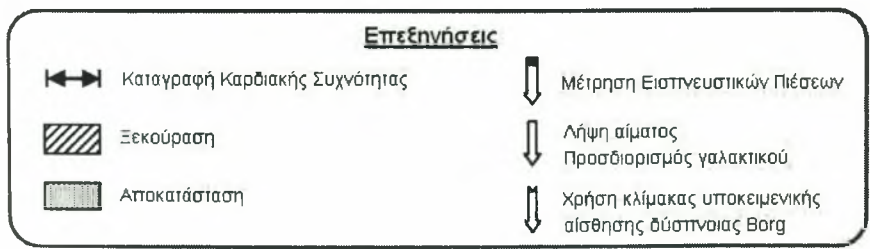
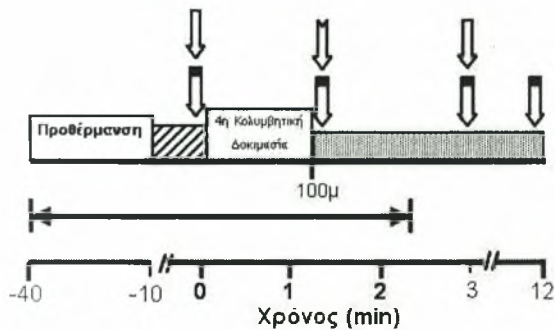
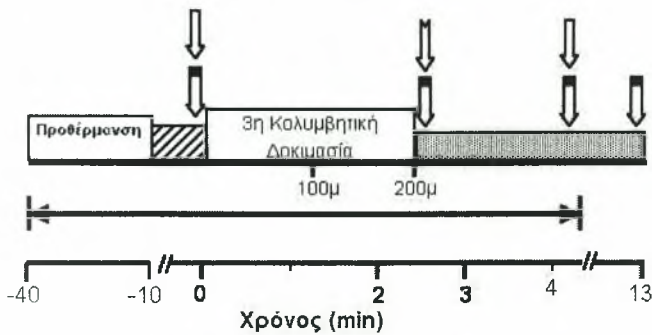
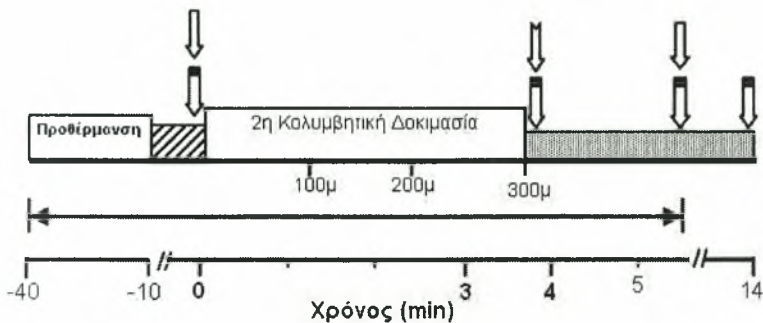
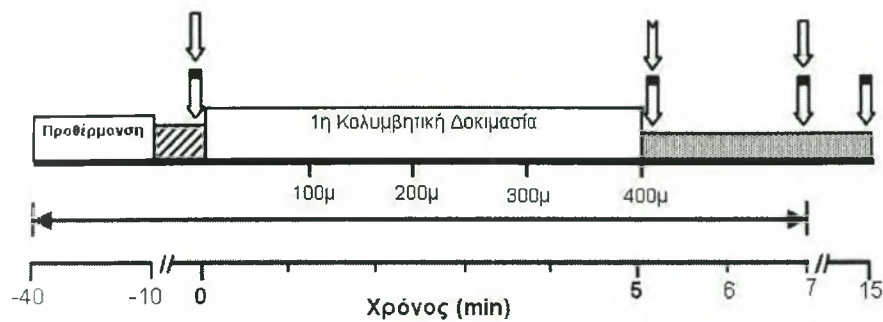
τις δοκιμασίες. Η μέση αρχική τιμή της  $Pl_{max}$  (υπολογισμένη από τις μετρήσεις πριν από όλες τις κολυμβητικές δοκιμασίες) χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική ανάλυση.

*Αίσθηση δύσπνοιας.* Η κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης τροποποιημένη για την αίσθηση δύσπνοιας (Borg, 1982) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της προσπάθειας αναπνοής σε κάθε κολυμβητική δοκιμασία. Η κλίμακα αποτελείται από μια σειρά αριθμών από το 0 (μηδέν) έως το 10 (δέκα). Αμέσως μετά από κάθε δοκιμασία ζητήθηκε από τον κολυμβητή να εκτιμήσει «Πόσο δύσκολη ήταν αναπνοή» του κατά την κολυμβητική δοκιμασία που προηγήθηκε (εκτιμώντας την προσπάθεια να αναπνεύσει αλλά όχι τα επίπεδα μυϊκής κόπωσης).

*Συγκέντρωση γαλακτικού και καρδιακή συχνότητα.* Η μέτρηση της συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα προσδιορίστηκε με τη λήψη δείγματος τριχοειδικού αίματος (50μl) από τη ρόγα του δακτύλου, πριν και στο δεύτερο λεπτό μετά το τέλος κάθε δοκιμασίας. Η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) καταγράφηκε από την αρχή της προθέρμανσης έως δύο λεπτά μετά το τέλος της κάθε κολυμβητικής δοκιμασίας. Για να καταστεί δυνατή η καταγραφή της ΚΣ κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών, οι εξεταζόμενοι κολυμπούσαν με μια ειδικά προσαρμοσμένη ζώνη με αισθητήρα (Electro Oy, Kempele, Finland) στο ύψος του στέρνου. Οι μέση τιμή γαλακτικού και ΚΣ πριν τις κολυμβητικές προσπάθειες (υπολογισμένη από όλες τις δοκιμασίες όλων των ημερών) χρησιμοποιήθηκε στη στατιστική ανάλυση.

*Καταγραφή των παραμέτρων της κολυμβητικής απόδοσης.* Η χρονομέτρηση των δοκιμασιών πραγματοποιήθηκε από δύο έμπειρους χρονομέτρους. Η μέση τιμή των χρόνων που καταγράφηκαν από τους χρονομέτρους χρησιμοποιήθηκε στην στατιστική ανάλυση. Σε κάθε μήκος πισίνας (50m) και ακριβώς στη μέση της απόστασης οι χρονομέτρους κατέγραφαν το χρόνο (σε δευτερόλεπτα) 3 συνεχών κύκλων χεριάς. Η συχνότητα χεριάς (SR; κύκλοι χεριάς ανά λεπτό) υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης  $SR = (60 \times 3) / \text{χρόνος 3 κύκλων χεριάς}$  (Laffite et al., 2004).





Σχήμα 1. Χρονική απεικόνιση της διαδικασίας μετρήσεων.

Η κολυμβητική ταχύτητα ( $V$ ; σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο) για κάθε απόσταση 50m υπολογίστηκε από την αναλογία απόσταση/χρόνο (Laffite et al., 2004) και έπειτα το μήκος χεριάς (SL; σε μέτρα ανά κύκλο χεριάς) από τον τύπο  $SL = V \times SR^{-1}$  (Thompson, Haljand & McLaren, 2000). Τα αποτελέσματα των SR, SL και  $V$  για κάθε 100 μέτρα χρησιμοποιήθηκαν στην στατιστική ανάλυση μετά από υπολογισμό της μέσης τιμής της αντίστοιχης απόστασης από όλες τις δοκιμασίες.

### **Στατιστική ανάλυση**

Η ομαλή κατανομή των δεδομένων ελέγχθηκε με το τεστ Kolmogorov-Smirnov και η σφαιρικότητα από το τεστ Mauchly. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με τη χρήση ανάλυσης διακύμανσης ως προς ένα παράγοντα (one-way ANOVA) με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Το Tukey HSD post-hoc τεστ χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό των σημαντικών διαφορών. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson χρησιμοποιήθηκε για να ελεγχθούν οι σχέσεις μεταξύ μεταβλητών. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου Statistica v7.1 for windows (StatSoft Inc., Tulsa, USA) και το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε με  $p < 0.05$ . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέση τιμή  $\pm$  τυπική απόκλιση.

# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

## Παράμετροι κολυμβητικής απόδοσης

Οι τιμές της ταχύτητας (V), συχνότητας χεριών (SR) και μήκους χεριάς (SL) για κάθε απόσταση των 50 μέτρων δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των κολυμβητικών δοκιμασιών ( $p>.05$ , Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Χρόνος, συχνότητα χεριάς (SR) και μήκος χεριάς (SL) για κάθε απόσταση 50 μέτρων σε κάθε κολυμβητική δοκιμασία.

Δοκιμασία	Απόσταση 50 μέτρων	Χρόνος (s)	SR (κύκλοι χεριάς · λεπτό <sup>-1</sup> )	SL (μέτρα · κύκλος χεριάς <sup>-1</sup> )
400 m	1 <sup>η</sup> (50)	33.34 ± 0.45	42.3 ± 1.26	2.13 ± 0.02
	2 <sup>η</sup> (100)	36.75 ± 0.74	38.4 ± 1.15	2.13 ± 0.02
	3 <sup>η</sup> (150)	37.45 ± 0.69	38.3 ± 1.01	2.09 ± 0.02
	4 <sup>η</sup> (200)	37.68 ± 0.63	38.4 ± 0.83	2.07 ± 0.03
	5 <sup>η</sup> (250)	37.74 ± 0.65	37.9 ± 0.90	2.09 ± 0.03
	6 <sup>η</sup> (300)	38.03 ± 0.66	38.8 ± 0.73	2.03 ± 0.03
	7 <sup>η</sup> (350)	37.8 ± 0.54	39.1 ± 0.91	2.03 ± 0.02
	8 <sup>η</sup> (400)	37.44 ± 0.66	40.1 ± 1.02	2.00 ± 0.02
300 m	1 <sup>η</sup> (50)	33.90 ± 0.5	41.3 ± 1.44	2.14 ± 0.02
	2 <sup>η</sup> (100)	36.76 ± 0.65	39.1 ± 1.27	2.09 ± 0.02
	3 <sup>η</sup> (150)	37.29 ± 0.69	38.5 ± 1.30	2.09 ± 0.02
	4 <sup>η</sup> (200)	37.55 ± 0.71	39 ± 0.94	2.05 ± 0.03
	5 <sup>η</sup> (250)	38.18 ± 0.59	38.5 ± 0.96	2.04 ± 0.02
	6 <sup>η</sup> (300)	37.53 ± 0.55	39.9 ± 0.98	2.00 ± 0.02
200 m	1 <sup>η</sup> (50)	33.72 ± 0.56	41.8 ± 1.22	2.13 ± 0.02
	2 <sup>η</sup> (100)	36.39 ± 0.62	39.5 ± 1.18	2.09 ± 0.02
	3 <sup>η</sup> (150)	37.42 ± 0.73	39.2 ± 1.09	2.04 ± 0.02
	4 <sup>η</sup> (200)	37.27 ± 0.57	39.1 ± 0.93	2.06 ± 0.02
100 m	1 <sup>η</sup> (50)	33.66 ± 0.46	42.2 ± 1.09	2.11 ± 0.02
	2 <sup>η</sup> (100)	35.55 ± 0.49	40 ± 0.93	2.11 ± 0.02

Οι τιμές παρουσιάζονται ως: μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα (n=11).

**Πίνακας 8.** Μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις (P<sub>I</sub>max), καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) και συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα πριν και μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία.

Δοκιμασία		100 m	200 m	300 m	400 m
<b>P<sub>I</sub>max</b> (cmH <sub>2</sub> O)	Πριν	142 ± 9	138 ± 9	143 ± 10	140 ± 9
	Μετά	132 ± 9	124 ± 10	119 ± 7	118 ± 10
<b>ΚΣ</b> (b•min <sup>-1</sup> )	Πριν	108 ± 2	108 ± 3	104 ± 3	109 ± 4
	Μετά	173 ± 2	174 ± 2	176 ± 4	184 ± 5
<b>Γαλακτικό</b> (mmol•l <sup>-1</sup> )	Πριν	2.3 ± 0.1	1.8 ± 0.1	2 ± 0.1	1.9 ± 0.1
	Μετά (2 <sup>ο</sup> λεπτό)	5.2 ± 0.4	5.9 ± 0.5	7.4 ± 0.7	8.2 ± 0.5

Οι τιμές παρουσιάζονται ως: μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα (n=11).

Δεν παρουσιάστηκαν διαφορές στις τιμές της ΚΣ, γαλακτικού και P<sub>I</sub>max πριν από την έναρξη κάθε κολυμβητικής δοκιμασίας (p>.05) (Πίνακας 8). Οι ανταποκρίσεις της ΚΣ σε κάθε δοκιμασία (100, 200 ή 300 μέτρα) δεν ήταν διαφορετικές σε σχέση με την αντίστοιχη απόσταση στη δοκιμασία των 400 μέτρων (p>.05).

*Μεταβολές παραμέτρων κολυμβητικής απόδοσης.* Ο μέσος χρόνος για την ολοκλήρωση της δοκιμασίας των 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης ήταν 296.2 ± 4.76 s και των 200 μέτρων 145.2 ± 8 s (97 ± 1% και 94 ± 1% της καλύτερης προσωπικής επίδοσης, αντίστοιχα). Η συχνότητα χεριάς δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ανά 100 μέτρα, παρά το γεγονός ότι υπήρξε μια τάση για αύξηση στα τελευταία 100 μέτρα (Πίνακας 9, p>0.05). Το μήκος χεριάς μειώθηκε στο δεύτερο, τρίτο και τέταρτο τμήμα 100 μέτρων σε σύγκριση με τα πρώτα 100 μέτρα στην απόσταση των 400 μέτρων (p=0.001, Πίνακας 9). Παρομοίως, η κολυμβητική ταχύτητα μειώθηκε σημαντικά στο δεύτερο, τρίτο και τέταρτο τμήμα σε σύγκριση μετά τα πρώτα 100 μέτρων (p=0.001, Πίνακας 9).

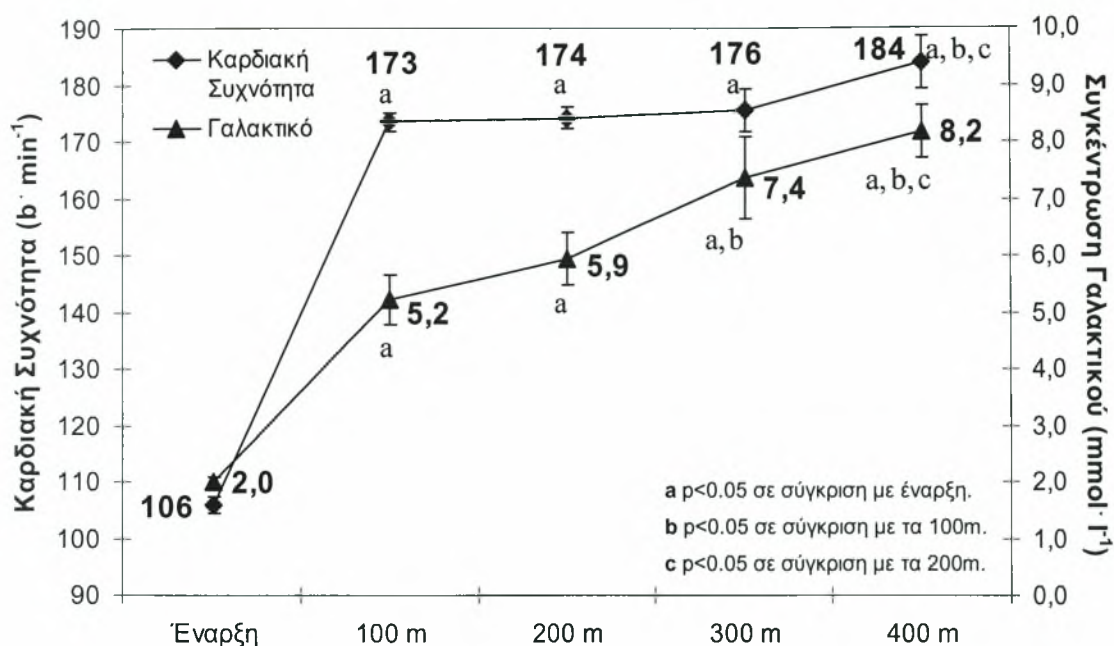
**Πίνακας 9.** Κολυμβητική ταχύτητα (V), συχνότητα χεριάς (SR) και μήκος χεριάς (SL) για κάθε 100 μέτρα κολυμβητικής απόστασης στη δοκιμασία 400 μέτρων.

Κολυμβητική απόσταση	V (μέτρα · δευτερόλεπτο <sup>-1</sup> )	SR (κύκλοι χεριάς · λεπτό <sup>-1</sup> )	SL (μέτρα · κύκλος χεριάς <sup>-1</sup> )
100 m	1.43 ± 0.02	39.6 ± 1.16	2.18 ± 0.06
200 m	1.34 ± 0.02*	39.07 ± 0.9	2.06 ± 0.05*
300 m	1.32 ± 0.02*	39.58 ± 0.82	2.01 ± 0.05*
400 m	1.34 ± 0.02*	40.41 ± 1.05	2.00 ± 0.06*

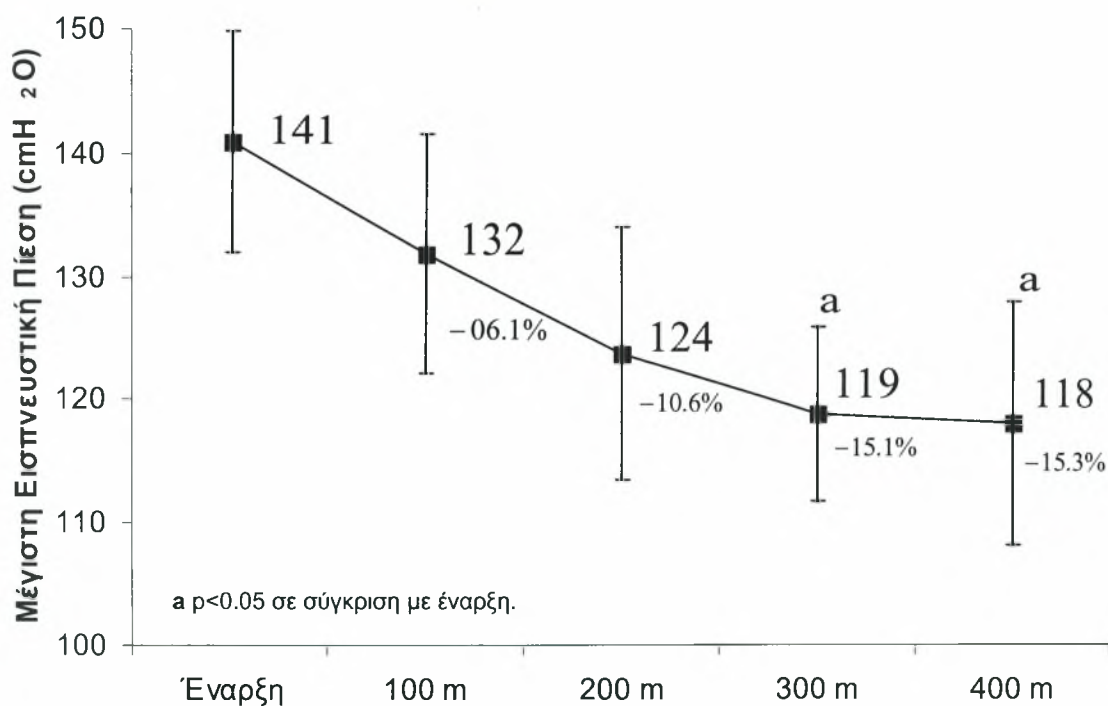
• Οι μέσες τιμές υπολογίστηκαν από τη δοκιμασία 400 μέτρων αλλά και των δοκιμασιών 100, 200 και 300 μέτρων (ταχύτητα κολύμβησης όπως στα 400 μέτρα).  
\*  $p<0.05$  σε σύγκριση με τα πρώτα 100 m (μέση τιμή ± τυπικό σφάλμα,  $n=11$ ).

**Μεταβολές φυσιολογικών και μεταβολικών παραμέτρων**

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται η μέση ΚΣ και η συγκέντρωση γαλακτικού πριν και μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία. Η αρχική τιμή (έναρξη) αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τις αρχικές τιμές όλων των δοκιμασιών (πριν την κολυμβητική προσπάθεια). Η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα μετά από τα 100 και 200 μέτρα αυξήθηκε σημαντικά σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας ( $5.2 \pm 0.4$  και  $5.9 \pm 0.5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  έναντι  $2.0 \pm 0.1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ , αντίστοιχα,  $p<0.05$ ). Μετά τα 300 μέτρα το γαλακτικό αυξήθηκε σημαντικά ( $7.4 \pm 0.7 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας και τη συγκέντρωση μετά από τα 100 μέτρα ( $p<0.05$ ). Οι υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού παρατηρήθηκε μετά τα 400 μέτρα ( $8.2 \pm 0.5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ), και ήταν σημαντικά υψηλότερη σε σύγκριση με τις τιμές αναφοράς και τη συγκέντρωση μετά από τα 100 και 200 μέτρα ( $p<0.05$ ). Η καρδιακή συχνότητα παρουσίασε μια σημαντική αύξηση στα 100 μέτρα, παραμένοντας σχετικά σταθερή στα 200 και 300 μέτρα. Σε σύγκριση με τις τιμές αναφοράς η ΚΣ αυξήθηκε σημαντικά μετά τα 100, 200 και 300 μέτρα ( $106 \pm 2$  έναντι  $173 \pm 2$ ,  $174 \pm 2$  και  $176 \pm 4 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$ , αντίστοιχα,  $p<0.05$ ). Η υψηλότερη ΚΣ καταγράφηκε μετά τα 400 μέτρα ( $184 \pm 5 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$ ) και ήταν αυξημένη σε σύγκριση με τις τιμές ΚΣ στα 100 και 200 μέτρα ( $p<0.05$ ).



Σχήμα 2. Καρδιακή συχνότητα και συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα κατά τη διάρκεια δοκιμασίας 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης.



Σχήμα 3. Μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις (PImax) μετά από δοκιμασία 400 μέτρων μέγιστης έντασης και 300, 200 και 100 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης (ταχύτητα κολύμβησης 400 μέτρων).

### **Μεταβολές εισπνευστικών πιέσεων**

Η μέγιστη εισπνευστική πίεση που προσδιορίστηκε πριν και αμέσως μετά από όλες τις κολυμβητικές δοκιμασίες παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Η αρχική τιμή (έναρξη) αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή από τις αρχικές τιμές όλων των δοκιμασιών (πριν την κολυμβητική προσπάθεια) και οι ποσοστιαίες αναλογίες (%) τα επίπεδα μείωσης της  $PI_{max}$  σε σύγκριση με την αρχική τιμή. Οι τιμές αναφοράς (πριν τη δοκιμασία) ήταν  $141 \pm 8.9 \text{ cmH}_2\text{O}$ . Η  $PI_{max}$  δεν παρουσίασε σημαντική μείωση μετά τα 100 ( $131.8 \pm 9.7 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) και 200 μέτρα ( $123.7 \pm 10.3 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) παρά τη μείωση  $-6.1 \pm 3.4 \%$  και  $-10.6 \pm 5.6 \%$  από τις τιμές αναφοράς, αντίστοιχα ( $p > .05$ ). Αντιθέτως, η  $PI_{max}$  μετά τα 300 μέτρα ( $118.8 \pm 7 \text{ cmH}_2\text{O}$ ,  $p < .05$ ) και μετά τα 400 μέτρα ( $118.1 \pm 9.9 \text{ cmH}_2\text{O}$ ,  $p < .05$ ) μειώθηκε σημαντικά σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας ( $-15.3 \pm 5.6 \%$  και  $-15.1 \pm 5 \%$ ,  $p < .05$ ).

Δεν παρουσιάστηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ επίδοσης κατά τη διάρκεια των διαφόρων αποστάσεων (δοκιμασιών) κολύμβησης και του ποσοστού (%) μείωσης της εισπνευστικής πίεσης ( $p < .05$ ). Στις δοκιμασίες των 300 και 400 μέτρων (όπου εντοπίστηκε σημαντική μείωση της  $PI_{max}$ ), οι 9 από τους 11 κολυμβητές παρουσίασαν μείωση της  $PI_{max}$  αμέσως μετά την κολυμβητική προσπάθεια.

### **Μεταβολές στην αίσθηση δύσπνοιας**

Η υποκειμενική αίσθηση της δύσπνοιας που αξιολογήθηκε με τη δεκάβαθμη κλίμακα Borg (Borg, 1970), ήταν υψηλότερη στα 200 m και 300 m ( $4.0 \pm 0.6$  και  $5.0 \pm 0.5$  αντίστοιχα) σε σύγκριση με τα 100m ( $3.5 \pm 0.5$ ) αλλά χωρίς να παρουσιαστεί στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p > .05$ ). Η αίσθηση δύσπνοιας μετά τα 400 m ( $5.0 \pm 1.0$ ) παρουσίασε σημαντική αύξηση σε σύγκριση με τις τιμές μετά τη δοκιμασία των 100 m ( $p < .05$ ) και 200 m ( $p < .05$ ).



## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσης έρευνας ήταν η αξιολόγηση και ο εντοπισμός του χρονικού σημείου της κόπωσης των εισπνευστικών μυών σε κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου, κατά τη διάρκεια (100, 200 και 300 μέτρα) και μετά από δοκιμασία 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης.

Οι ερευνητικές υποθέσεις που διατυπώθηκαν αρχικά, επιβεβαιώθηκαν μερικώς. Συγκεκριμένα, η πρώτη (μηδενική) ερευνητική υπόθεση επιβεβαιώθηκε, αφού δεν παρουσιάστηκε σημαντική μείωση της λειτουργικής ικανότητας των εισπνευστικών μυών μετά τα 100 μέτρα (σε σύγκριση με ηρεμία). Αντίθετα, η 2<sup>η</sup> ερευνητική υπόθεση δεν επαληθεύτηκε, αφού ούτε μετά τα 200 μέτρα παρουσιάστηκε σημαντική μείωση. Η λειτουργική ικανότητα παρουσιάστηκε σημαντικά μειωμένη μετά τα 300 μέτρα και διατηρήθηκε και μετά τα 400 μέτρα (επιβεβαίωση 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> ερευνητικής πρότασης). Οι τιμές δεν παρουσιάστηκαν σημαντικά μειωμένες μετά τα 400 μέτρα σε σύγκριση με τις τιμές μετά τα 100 μέτρα (υιοθέτηση μηδενικής υπόθεσης για την 5<sup>η</sup> ερευνητική πρόταση). Σημαντικές διαφορές δεν παρουσιάστηκαν στις τιμές μεταξύ 200 μέτρων-400 μέτρων ή 300 μέτρων-400 μέτρων, επιβεβαιώνοντας τις ερευνητικές υποθέσεις (6<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> ερευνητική πρόταση).

Σύμφωνα με τις παραπάνω ερευνητικές προτάσεις και τα αποτελέσματα της έρευνας, σημαντική κόπωση εισπνευστικών μυών παρουσιάστηκε μετά από δοκιμασία κολύμβησης 400 μέτρων, επιβεβαιώνοντας τη βασική (4<sup>η</sup>) ερευνητική πρόταση. Αντίθετα, η κόπωση των εισπνευστικών μυών παρουσιάστηκε μετά τα 300 μέτρα (και όχι στα 200 μέτρα όπως είχε αρχικά προταθεί) και διατηρήθηκε σε παρόμοια επίπεδα μέχρι το τέλος της δοκιμασίας των 400 μέτρων.

### ***Κολυμβητικές Δοκιμασίες***

Η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα και οι τιμές ΚΣ επιβεβαιώνουν τη μέγιστη ένταση στη δοκιμασία των 400 μέτρων. Όσο αφορά την επιτυχία αναπαραγωγής της παραπάνω δοκιμασίας, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές



διαφορές στις παραμέτρους κολυμβητικής απόδοσης ( $V$ ,  $SR$  και  $SL$ ) μεταξύ των άλλων δοκιμασιών (300, 200, 100 μέτρα) και της αντίστοιχης απόστασης στη δοκιμασία 400 μέτρων. Επιπλέον, οι τιμές της  $KΣ$ , συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα και  $Pl_{max}$  πριν από την έναρξη κάθε δοκιμασίας δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

### ***Μείωση Μέγιστων Εισπνευστικών Πίεσεων***

Η  $Pl_{max}$  μειώθηκε σε όλη τη διάρκεια των 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης με σημαντική μείωση της  $Pl_{max}$  να παρουσιάζεται μετά τα 300 μέτρα. Το μέσο ποσοστό μείωσης μετά τα 400 μέτρα (χρονική διάρκεια: ~5 min) ήταν 15.3% της  $Pl_{max}$ , ελαφρώς υψηλότερο από τα δεδομένα που παρουσίασαν οι Volianitis και συν. (2001) μετά από δοκιμασία κωπηλασίας μέγιστης προσπάθειας 6 λεπτών (μείωση ~11%).

Η αξιοσημείωτη μείωση της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης (15.1%) που παρουσιάστηκε μετά τα 300 μέτρα κολύμβησης (διάρκεια: 3.5 min) καταδεικνύει μάλλον το χρονικό σημείο που εντοπίζεται η σημαντική μείωση στη λειτουργική ικανότητα των εισπνευστικών μυών. Τα επίπεδα μείωσης της  $Pl_{max}$  μετά από 5 περίπου λεπτά κολύμβησης μέγιστης έντασης (400 μέτρα) κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα (15.3%) με αυτά που παρατηρήθηκαν μετά τα 300 μέτρα.

Κόπωση των εισπνευστικών μυών έχει οριστεί ως η μείωση της ικανότητας ανάπτυξης των ανάλογων εισπνευστικών πιέσεων, αποτέλεσμα σωματικής άσκησης το οποίο επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα μετά από ανάπαυση (NHLBI-Workshop, 1990). Προηγούμενες έρευνες εντόπισαν σημαντική μείωση της  $Pl_{max}$  μετά τα 30-60 min ποδηλασίας (Romer et al., 2002a,b), 6 min κωπηλασίας (Volianitis et al., 2001) ή 2-3 min κολύμβησης (Lomax & McConnell, 2003), αλλά ο πειραματικός σχεδιασμός της παρούσας έρευνας επέτρεψε την εξέταση των μεταβολών της  $Pl_{max}$  που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια ενός αγωνίσματος κολύμβησης (400 μέτρα) που υποβάλλει σε υψηλό στρες το αναπνευστικό σύστημα των κολυμβητών και είναι επαρκές για την επίτευξη της  $\dot{V}O_{2max}$  (Costill et al., 1985; Laffitte et al., 2004; Rinehardt et al., 1991; Rodriguez, 2000).

Παρά το γεγονός πως ο χρόνος κολύμβησης για τη δοκιμασία των 200 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης αντιστοιχούσε στο 94% της μέγιστης ταχύτητας των κολυμβητών για την ίδια δοκιμασία, δεν παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική

μείωση της  $PI_{max}$  (10.6%,  $p>0.05$ ). Η παραπάνω μείωση είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις των Lomax και McConnell (2003) οι οποίοι κατέδειξαν σημαντική μείωση της  $PI_{max}$  (29%) σε κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου (30 ετών) μετά από δοκιμασία 200 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης (ένταση 90-95% της μέσης αγωνιστικής κολυμβητικής απόδοσης). Οι διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ της παρούσας έρευνας και αυτής των παραπάνω συγγραφέων πιθανόν οφείλονται στη διαφορά ηλικίας (μέση ηλικία 17.6 έναντι 29.9 έτη), της κολυμβητικής επίδοσης (μέσο χρόνος κολυμβητικής επίδοσης: 137 έναντι 158 s) και της προπονητικής κατάστασης των κολυμβητών που συμμετείχαν. Η διαφορά στη χρονική διάρκεια της δοκιμασίας (μέση χρονική διάρκεια: 149 έναντι 167 s) μπορεί επίσης να συντέλεσε στις διαφορετικές παρατηρήσεις των ερευνών.

Επιπλέον, στην έρευνα των Lomax και McConnell (2003), χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένη προθέρμανση εισπνευστικών μυών πριν τη δοκιμασία. Η απουσία προθέρμανσης εισπνευστικών μυών στην παρούσα εργασία μπορεί να επηρέασε τα επίπεδα μεταβολών στις τιμές της  $PI_{max}$ , αφού ένα τέτοιο είδος προθέρμανσης μπορεί να αυξήσει τα επίπεδά της στην ηρεμία (Volianitis, McConnell, Koutedakis & Jones, 2001b). Η προθέρμανση κολύμβησης που χρησιμοποιήθηκε προσομοιώνει τη διαδικασία που ακολουθείται συνήθως από τους κολυμβητές σε πραγματικές αγωνιστικές ή προπονητικές συνθήκες.

Στην παρούσα έρευνα οι μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις προσδιορίστηκαν σε όρθια θέση, με τον εξεταζόμενο βυθισμένο στο νερό ως τους ώμους. Είναι γνωστό πως διαφορετική θέση σώματος ή αλλαγή αυτής μπορεί να μεταβάλει την ενεργοποίηση των εισπνευστικών μυών (Druz & Sharp, 1981; Lomax & McConnell, 2003), την καρδιακή παροχή σε κατάσταση ηρεμίας (Harms et al., 2003) ή τις καρδιο-αναπνευστικές ανταποκρίσεις στην άσκηση (Stenberg et al., 1967). Παρά το γεγονός ότι η ύπτια θέση προσομοιώνει τη θέση σώματος κατά την κολύμβηση, η κατακόρυφη θέση κατά τη διάρκεια των μετρήσεων βοήθησε στη γρήγορη ολοκλήρωση των διαδικασιών προσδιορισμού της  $PI_{max}$  και στην καλύτερη λεκτική ενθάρρυνση του εξεταζόμενου.

Οι μέγιστες εισπνευστικές πιέσεις εξαρτώνται σημαντικά από τα επίπεδα προσπάθειας του εξεταζόμενου και τυχόν μείωση στις τιμές της  $PI_{max}$  μπορεί να αποδοθεί στην έλλειψη παρακίνησης (ATS/ERS Statement, 2002). Επιπλέον,

υπάρχει πάντα η πιθανότητα λανθασμένων αποτελεσμάτων λόγω ανεπαρκούς προσπάθειας (Roussos & Zakynthinos, 1996). Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, οι μετρήσεις σε όρθια θέση θεωρήθηκαν από τους εξεταστές καταλληλότερες κατά τον πειραματικό σχεδιασμό της παρούσας έρευνας.

Οι Lomax και McConnell (2003) υπέθεσαν από τα αποτελέσματα της έρευνάς τους πως τα επίπεδα μείωσης της  $PI_{max}$  δεν θα ήταν διαφορετικά όσο αφορά τη θέση σώματος (μεταξύ ύπτιας και κατακόρυφης θέσης). Αν και τα ποσοστά μείωσης της  $PI_{max}$  μετά τα 200 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης είναι διαφορετικά μεταξύ των ερευνών (29% έναντι 10.6% στην παρούσα εργασία), η διαφορετική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε δεν επιτρέπει με ασφάλεια τη σχετική σύγκριση. Παρόλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη τον πειραματικό σχεδιασμό της εργασίας, η μείωση της  $PI_{max}$  μετά τα 300 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα με αυτήν που παρουσιάζεται σε προπονημένες κωπηλάτριες (11%) μετά από 6 min μέγιστης προσπάθειας (Volianitis et al., 2001).

Στην παρούσα έρευνα η  $PI_{max}$  προσδιορίστηκε μόνο μία φορά (αμέσως) μετά από κάθε δοκιμασία, σύμφωνα με τη διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε από τους Lomax και McConnell (2003). Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις προσδιορισμού της  $PI_{max}$  κατά τη διάρκεια της περιόδου αποκατάστασης μετά από κάθε δοκιμασία απαιτούν επιπρόσθετο χρόνο, με μεγάλη πιθανότητα επαναφοράς των τιμών της  $PI_{max}$ . Η παράταση λοιπόν της περιόδου αποκατάστασης διεξάγοντας διαδοχικές μετρήσεις ίσως δεν αντικατοπτρίζει την ικανότητα παραγωγής πίεσεων από τους εισπνευστικούς μύες μετά από μια κολυμβητική δοκιμασία. Επιπλέον, όλοι οι κολυμβητές που συμμετείχαν στην έρευνα εξοικειώθηκαν με τη διαδικασία προσδιορισμού της  $PI_{max}$  και κατάφεραν να εκτελέσουν τη διαδικασία με επιτυχία σε κάθε δοκιμασία.

Ο προσδιορισμός της  $PI_{max}$  πραγματοποιήθηκε από τον υπολοιπόμενο όγκο (RV). Η έντονη άσκηση μπορεί να αυξήσει τον RV κατά 260 ml μετά από 10 min τρεξίματος μέχρι εξάντλησης σε δαπεδοεργόμετρο (Buono et al., 1981) ή κατά 490 ml μετά από αγώνα μαραθωνίου (Maron et al., 1979). Μεταβολές στον RV όπως οι προαναφερόμενες μπορεί να τοποθετήσουν το διάφραγμα σε μια λιγότερο ευνοϊκή θέση για παραγωγή πίεσης και σαν αποτέλεσμα, να μειωθεί η  $PI_{max}$ . Η αύξηση του RV κατά 500 ml μπορεί να μειώσει την  $PI_{max}$  περίπου κατά 10 cmH<sub>2</sub>O (Coast & Weise, 1990).

Ο υπολειπόμενος όγκος δεν προσδιορίστηκε στην παρούσα εργασία, αφού η διαδικασία μέτρησης απαιτεί εργαστηριακό περιβάλλον και εξειδικευμένο ιατρικό εξοπλισμό-τεχνικές. Επίσης, τέτοιου είδους μετρήσεις δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο περιβάλλον που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (πισίνα). Η χρονική διάρκεια της κολυμβητικής δοκιμασίας των 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης ήταν περίπου 5 min, χρόνος μικρότερος από τη διάρκεια άσκησης στον προαναφερόμενες έρευνες (Buono et al., 1981; Maron et al., 1979). Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρά το γεγονός ότι δεν μπορεί να αποκλειστεί σημαντική αύξηση στον RV, η σημαντική μείωση της  $Pl_{max}$  μετά τη δοκιμασία μέγιστης προσπάθειας 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης (23 cmH<sub>2</sub>O, σε σύγκριση με τις τιμές ηρεμίας) φαίνεται απίθανο να οφείλεται εξ ολοκλήρου σε τέτοιου είδους μεταβολές.

### **Μεταβολές στις φυσιολογικές-βιοχημικές μεταβλητές**

Η καρδιακή συχνότητα παρατηρήθηκε σχετικά υψηλή πριν την έναρξη των δοκιμασιών (π.χ.  $109 \pm 4 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$  πριν τη δοκιμασία των 400 μέτρων), γεγονός που παρατηρείται κατά την προσμονή για έναρξη της άσκησης (Krogh & Lindhard, 1913). Η μέση καρδιακή συχνότητα μετά τα 400 μέτρα ήταν  $184 \text{ b} \cdot \text{min}^{-1}$ , σε παρόμοια επίπεδα με τη ΚΣ που παρατηρήθηκε για την ίδια δοκιμασία στην εργασία του Rodriguez (2000). Κατά τη διάρκεια των 400 μέτρων παρουσιάστηκε σημαντική αύξηση μετά τα 100 μέτρα, μια σχετική σταθεροποίηση ως τα 300 μέτρα και μια αξιοπρόσεκτη αύξηση κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 μέτρων. Το τελευταίο πιθανόν να αποτελεί λόγο αυξημένης καρδιακής παροχής στο ίδιο χρονικό σημείο. Η καρδιακή παροχή είναι ίσως ο περιοριστικός παράγοντας στην επίτευξη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου που παρατηρείται στα τελευταία 100 μέτρα μιας δοκιμασίας 400 μέτρων μέγιστης προσπάθειας (Laffitte et al., 2004).

Η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα παρουσίασε σημαντική αύξηση σε σύγκριση (με τις τιμές ηρεμίας) μετά τα 100 μέτρα και αυξήθηκε περαιτέρω μετά τα 300 μέτρα. Η μέση συγκέντρωσή του μετά τα 400 μέτρα ήταν  $8.2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ , ελαφρώς χαμηλότερη σε σύγκριση με τιμές που έχουν δημοσιευθεί για την ίδια δοκιμασία (Laffitte et al., 2004; Rodriguez, 2000). Το παραπάνω οφείλεται μάλλον στην μικρότερη μέση ηλικία των κολυμβητών που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα.

Η αύξηση της συγκέντρωσης των μεταβολικών παραπροϊόντων και ο ανταγωνισμός κατανομής της αιματικής ροής μεταξύ κινητήριων και εισπνευστικών μυών έχουν προταθεί ως παράγοντες μείωσης στην παραγωγή εισπνευστικής πίεσης (Babcock, Pegelow, McClaran, Suman & Dempsey, 1995; Coast et al., 1999; Romer et al., 2002a,b). Επιπλέον, αν κατά τη διάρκεια άσκησης η αναλογία της συνολικής πρόσληψης οξυγόνου που κατευθύνεται προς τους αναπνευστικούς μυς είναι υψηλή, τότε η διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου για τους ασκούμενους (μη αναπνευστικούς μυς) μπορεί να μειωθεί (Bye et al., 1983). Πράγματι, το έργο των εισπνευστικών μυών κατά την άσκηση μέγιστης έντασης των κάτω άκρων μειώνει την αιματική ροή-πρόσληψη οξυγόνου προς αυτά (Harms et al., 1997). Μπορεί επίσης να συντελέσει και στην περιφερειακή κόπωση των μυών που συνεισφέρουν στην κίνηση κατά την άσκηση υψηλής έντασης (Romer, Lovering, Haverkamp, Pegelow & Dempsey, 2006).

### ***Μεταβολές στις μηχανικές παραμέτρους της κολυμβητικής απόδοσης***

Η κολυμβητική ταχύτητα μειώθηκε μετά τα 100 μέτρα και παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα μέχρι το τέλος τη δοκιμασίας των 400 μέτρων. Το μήκος χεριάς μειώθηκε σημαντικά μετά τα 100 μέτρα και παρέμεινε σε παρόμοια επίπεδα με συνεχή τάση μείωσης. Αντίθετα, η συχνότητα χεριάς δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ανά 100 μέτρα, παρά το γεγονός πως υπήρξε μια τάση για μείωση μετά τα 100 μέτρα και αύξηση στα τελευταία 200 μέτρα. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά των Laffitte και συν. (2004) στην ίδια δοκιμασία. Φαίνεται πως οι κολυμβητές μετά τα πρώτα 100 μέτρα για τη διατήρηση της κολυμβητικής τους ταχύτητας, όπως έχει παρατηρηθεί από τους Craig και Pendergast (1979), προσπάθησαν να αυξήσουν την SR ως αντιστάθμιση στη μείωση της SL.

### ***Μεταβολές στην αίσθηση δύσπνοιας***

Η αίσθηση δύσπνοιας κατά τη διάρκεια των 400 μέτρων κολύμβησης παρουσίασε σημαντική τάση αύξησης ως τα 300 μέτρα. Είναι γεγονός πως η αύξηση στην αίσθηση δύσπνοιας παρουσίασε παρόμοιο μοτίβο με τη μείωση της  $Pl_{max}$  κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας των 400 μέτρων. Αυτό φαίνεται λογικό αφού η κόπωση των επικουρικών αναπνευστικών μυών και η συσσώρευση γαλακτικού έχουν συνδεθεί με την αυξημένη αίσθηση δύσπνοιας (Johnson et al.,



1996). Η δύσπνοια μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα συνέχισης της άσκησης σε μια συγκεκριμένη ένταση (Altose et al., 1985; Romer & Polkey, 2008). Παρόλα αυτά, λόγω του ότι η δύσπνοια αποτελεί ένα σύνθετο σύμπτωμα και μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους παράγοντες, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

### ***Κόπωση και προπόνηση εισπνευστικών μυών***

Κόπωση εισπνευστικών μυών παρατηρήθηκε μετά τη δοκιμασία των 400 μέτρων (με σημαντική μείωση της  $P_{I\max}$  μετά τα 300 μέτρα). Η παραπάνω παρατήρηση μπορεί να είναι σημαντική για τους προπονητές κολύμβησης και προτείνεται να λαμβάνεται υπόψη για το σχεδιασμό ειδικού τύπου προπόνησης όπως η ΠΕΜ. Η κόπωση των εισπνευστικών μυών μπορεί να παρουσιαστεί και να επηρεάσει αρνητικά την κολυμβητική απόδοση λόγω ανεπαρκούς αναπνευστικής ανταπόκρισης στην άσκηση, μεταβολής στη μηχανική της αναπνοής, αυξημένης αίσθησης δύσπνοιας ή συνδυασμό όλων των παραπάνω (Johnson et al., 1993; Romer & Polkey, 2008).

Υψηλά επίπεδα παραγωγής έργου από τους αναπνευστικούς μυς είναι ίσως μερικώς υπεύθυνα για την περιφερειακή κόπωση των κινητήριων μυών κατά την άσκηση (ως την εξάντληση) άνω του 90% της  $\dot{V}O_{2\max}$  (McConnell & Romer, 2004). Η αύξηση της δύναμης των εισπνευστικών μυών έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη αναλογία παραγωγής πίεσης ανά αναπνοή (ως προς τη  $P_{I\max}$ ), μειώνοντας έτσι την ευπάθεια στην κόπωση (Roussos & Zakynthinos, 1996). Επιπλέον, εξειδικευμένα ΠΕΜ μπορεί να αυξήσει την αντίσταση στην κόπωση και τη μηχανική αποδοτικότητα των εισπνευστικών μυών κατά την σωματική άσκηση υψηλής έντασης (Romer & Polkey, 2008). Επομένως, το ποσοστό από τη συνολική καρδιακή παροχή που απαιτείται από τους εισπνευστικούς μυς κατά την άσκηση θα είναι μικρότερο και η αύξηση των διαφόρων μεταβολιτών μπορεί να επιβραδυνθεί (Romer & Polkey, 2008). Τέλος, ακόμη και η υποκειμενική αίσθηση μειωμένης αναπνευστικής δυσκολίας (που συνδέεται με υψηλό έργο των αναπνευστικών μυών) μπορεί να επηρεάσει θετικά την απόδοση (McConnell & Romer, 2004), γεγονός σημαντικό αν αναλογιστεί κανείς ότι στην κολύμβηση απαιτείται επιπρόσθετη εκπνευστική δύναμη μέσα στο νερό.

Τα επίπεδα βελτίωσης της  $PI_{max}$  μετά από ΠΕΜ μπορούν να φτάσουν το  $28 \pm 7\%$  (Romer et al., 2002a,b) ή  $45.3 \pm 29.7\%$  της αρχικής  $PI_{max}$  (Volianitis et al., 2001). Επίσης, έχει παρατηρηθεί μείωση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών και βελτίωση της απόδοσης σε καλά προπονημένους ποδηλάτες (Romer et al., 2002a,b) και κωπηλάτριες (Volianitis et al., 2001) μετά από ΠΕΜ. Οι Wells και συν. (2005) χρησιμοποιώντας προπόνηση αναπνευστικών μυών σε κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου παρατήρησαν μικρή βελτίωση στην κολυμβητική απόδοση των γυναικών που συμμετείχαν στην έρευνα (αξιολόγηση με ένα πρωτόκολλο  $7 \times 200$  m ελεύθερης κολύμβησης αυξανόμενης ταχύτητας ανά επανάληψη). Αφού η εκτιμώμενη συνεισφορά του αερόβιου μεταβολισμού στα 400 μέτρα ( $\sim 4$  min) έχει υπολογιστεί στο 81% της συνολικής παραγωγής ενέργειας (Laffitte et al., 2004), θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθούν οι επιδράσεις της ΠΕΜ στην καθυστέρηση της κόπωσης και τη βελτίωση της απόδοσης σε ένα κυρίως αερόβιο αγώνισμα όπως τα 400 μέτρα ελεύθερης κολύμβησης. Το κατά πόσο η ΠΕΜ μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα κόπωσης και τελικά την κολυμβητική απόδοση χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας φαίνεται πως, κόπωση εισπνευστικών μυών παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια μιας δοκιμασίας 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης. Το χρονικό σημείο της κόπωσης εντοπίστηκε μετά τα 300 μέτρα κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας. Το παραπάνω ίσως αποτελεί σημαντικό εύρημα αφού καταδεικνύει την παρουσία εισπνευστικής κόπωσης ακόμη και σε κολυμβητές αγωνιστικού επιπέδου σε ένα αγώνισμα που η χρονική του διάρκεια είναι μόλις 4-5 λεπτά. Επιπλέον, παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον για τους προπονητές κολύμβησης, καθώς ο συνδυασμός της προπόνησης κολύμβησης με την εξειδικευμένη προπόνηση εισπνευστικών ίσως μπορεί να βελτιώσει την κολυμβητική απόδοση. Το τελευταίο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης και αποτελεί ένα ερευνητικό πεδίο στο οποίο προτείνεται να προσανατολιστούν μελλοντικές έρευνες.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aaron, E.A., Seow, K.C., Johnson, B.D. & Dempsey, J.A. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnoea: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1818–1825.
- Agostoni, E., Gurtner, G., Torri, G. & Rahn, H. (1966). Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. *Journal of Applied Physiology*, 21, 251-258.
- Altose, M., Cherniack, N. & Fishman, A.P. (1985). Respiratory sensations and dyspnea. *Journal of Applied Physiology*, 58, 1051–1054.
- American Thoracic Society (1999). Dyspnea. Mechanisms, Assessment, and Management: A Consensus Statement. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159, 321-340.
- American Thoracic Society (1995). Standardization of spirometry: 1994 update. ATS Statement. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 152, 1107-1136.
- American Thoracic Society (1991). Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. ATS Statement, *American Review of Respiratory Disease*, 144, 1202-1218.
- American Thoracic Society / European Thoracic Society (2005). Series “Task Force: Standardisation of lung function testing”. *European Respiratory Journal*, 26, 153-968.
- American Thoracic Society / European Thoracic Society (2002). ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166, 518-624.
- Armour, J., Donnely, P.M. & Bye, P.T.P. (1993). The large lungs of elite swimmers: An increased alveolar number? *European Respiratory Journal*, 6, 237-247.
- Åstrand, P.O., Eriksson, B.O., Nylander, I., Engstroem, L., Karlberg, P., Saltin, B. & Thoren, C. (1963). Girls swimmers, with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects. *Acta Paediatrica. Supplementum*, 147 (Suppl), 1-75.
- Babcock, M.A., Pegelow, D.F., McClaran, S.R., Suman, O.E., Dempsey, J.A. (1995). Contribution of diaphragmatic power output to exercise-induced diaphragm fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 78, 1710–1719.

- Bachman, J.C. & Horvath, S.M. (1968). Pulmonary function changes which accompany athletic conditioning programs. *Research Quarterly*, 39, 235-239.
- Bénéfice, E., Mercier, J., Guérin, M.J. & Préfaut, C. (1990). Differences in aerobic and anthropometric characteristics between peripubertal swimmers and non-swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 456-460.
- Berntsen, S., Wisløff, T., Nafstad, P. & Nystad, W. (2008). Lung function increases with increasing level of physical activity in school children. *Pediatric Exercise Science*, 20, 402-410.
- Bertholon, J.F., Carles, J. & Teillac, A. (1986). Assessment of ventilatory performance of athletes using the maximal expiratory flow-volume curve. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 80-85.
- Bertrand, J.M., Riley, S.P., Popkin, J. & Coates, A.L. (1985). The long-term pulmonary sequelae of prematurity: the role of familial airway hyperreactivity and the respiratory distress syndrome. *The New England Journal of Medicine*, 312, 742-745.
- Biersteker, M.W. & Biersteker, P.A. (1985). Vital capacity in trained and untrained healthy young adults in the Netherlands. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54, 46-53.
- Blackie, S.P., Fairbairn, M.S., McElvaney, N.G., Wilcox, P.G., Morrison, N.J. & Pardy, R.L. (1991). Normal values and ranges for ventilation and breathing pattern at maximal exercise. *Chest*, 100, 136-142.
- Bondi, K.R., Young, J.M., Bennett, R.M. & Bradley, M.E. (1976). Closing volumes in man immersed to the neck in water. *Journal of Applied Physiology*, 40, 736-740.
- Borg, G.A.V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 377-381.
- Bouhuys, A. & Beck, G.J. (1979). Large lungs in divers? *Journal of Applied Physiology*, 47, 1136-1137.
- Boussana, A., Galy, O., Hue, O., Matecki, S., Varray, A., Ramonatxo, M. & Le Gallais, D. (2003). *International Journal of Sports Medicine*, 24, 63-70.
- Buono, M.J., Constable, S.H., Morton, A.R., Rotkis, T.C., Stanforth, P.R. & Wilmore, J.H. (1981). The effect of an acute bout of exercise on selected pulmonary function measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13, 290-293.
- Burrows, B., Knudson, R.J. & Lebowitz, M.D. (1977). The relationship of childhood respiratory illness to adult obstructive airway disease. *The American Review of Respiratory Disease*, 115, 751-760.

- Burrows B. & Taussig, L.M. (1980). "As the twig is bent, the tree inclines" (perhaps). *The American Review of Respiratory Disease*, 122, 813-816.
- Bye, P.T.P. & Farkas, G.A. (1983). Respiratory factors limiting exercise. *Annual Review of Physiology*, 45, 439-451.
- Cheng Y.J., Macera, C.A., Addy, C.L., Sy, F.S., Wieland, D. & Blair, S.N. (2003). Effects of physical activity on exercise tests and respiratory function. *British Journal of Sports Medicine*, 37, 521-528.
- Chevrolet, J.C., Tschopp, J.M., Blanc, Y., Rochat, T. & Junod, A.F. (1993). Alterations in inspiratory and leg muscle force and recovery pattern after a marathon. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 501-507.
- Choukroun, M.L., Kays, C., Gioux, M., Techoueyres, P. & Guenard, H. (1993). Respiratory muscle function in trained and untrained adolescents during short-term high intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67, 14-19.
- Choukroun, M.L. & Varene, P. (1990). Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 68, 1475-1480.
- Clanton, T.L., Dixon, G.F., Drake, J., Gadek, J.E. (1987). Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning. *Journal of Applied Physiology*, 62, 39-46.
- Coast J.R., Clifford, P.S., Henrich, T.W., Stray-Gundersen, J. & Johnson, R.L. Jr. (1990). Maximal inspiratory pressure following maximal exercise in trained and untrained subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 811-815.
- Coast, J.R., Haverkamp, H.C., Finkbone, C.M., Anderson, K.L., George, S.O. & Herb, R.A. (1999). Alterations in pulmonary function following exercise are not caused by the work of breathing alone. *International Journal of Sports Medicine*, 20, 470-475.
- Coast, J.R. & Weise, S.D. (1990). Lung volume changes and maximal inspiratory pressure. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 10, 461-464.
- Cordain, L., Rhode, E.J., Gotshall, R.W. & Tucker, A. (1994). Residual lung volume and ventilatory muscle strength changes following maximal and submaximal exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 158-161.
- Cordain, L. & Stager, J. (1988). Pulmonary structure and function in swimmers. *Sports Medicine*, 6, 271-278.

- Cordain L., Tucker, A., Moon, D. & Stager, J.M. (1990). Lung volumes and maximal respiratory pressures in collegiate swimmers and runners. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 70-74.
- Costill, D., Kovaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R. & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle distance events. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 266-270.
- Courteix, D., Obert, P., Lecoq, A.M., Guenon, P. & Koch, G. (1997). Effect of intensive swimming training on lung volumes, airway resistance and on the maximal expiratory flow-volume relationship in prepubertal girls. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76, 264-269.
- Craig, A.B. & Pendergast, D.R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, 11, 278-283.
- Craig, A.B., Skehan, P.L., Pawelczyk, J.A. & Boomer, W.L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 625-634.
- Crosbie, W.A., Reed, J.W. & Clarke, M.C. (1979). Functional characteristics of the large lungs found in commercial divers. *Journal of Applied Physiology*, 46, 639-645.
- De Troyer, A. & Estenne, M. (1984). Coordination between rib cage muscles and diaphragm during quiet breathing in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57, 899-906.
- Demura, S., Yamaji, S. & Kitabayashi, T. (2006). Residual volume on land and when immersed in water: effect on percent body fat. *Journal of Sport Sciences*, 24, 825-833.
- DiCarlo, L.J., Sparling, P.B., Millard-Stafford, M.L., Rupp, J.C. (1991). Peak heart rates during maximal running and swimming: implications for exercise prescription. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 309-312.
- Dicker, S.G., Lofthus, G.K., Thornton, N.W., Brooks, G.A. (1980). Respiratory and heart rate responses to tethered controlled frequency breathing swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 20-23.
- Dodd S.L., Powers, S.K., Thompson, D., Landry, G. & Lawler, J. (1989). *International Journal of Sports Medicine*, 10, 48-52.
- Doherty, M & Dimitriou, L. (1997). Comparison of lung volume in Greek swimmers, land based athletes, and sedentary controls using allometric scaling. *British Journal of Sports Medicine*, 31, 337-341.

- Downey, A.E., Chenoweth, L.M., Townsend, D.K., Ranum, J.D., Ferguson, C.S. & Harms, C.A. (2007). *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 156, 137-146.
- Druz, W. & Sharp, J. (1981). Activity of respiratory muscles in upright and recumbent humans. *Journal of Applied Physiology*, 51, 1552–1561.
- Eastwood, P.R., Hillman, D.R. & Finucane, K.E. (2001). Inspiratory muscle performance in endurance athletes and sedentary subjects. *Respirology*, 6, 95–104.
- Edwards, A.M., Wells, C. & Butterly, R. (2008). Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and 5000 m running performance compared with cardiovascular training alone. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 523-527.
- Engström, I., Eriksson, B.O., Karlberg, P., Saltin, B. & Thorén, C. (1971). Preliminary report on the development of lung volumes in young girl swimmers. *Acta Paediatrica Scandinavica. Supplement*, 217, 73-76.
- Eriksson, B.O., Engström, I., Karlberg, P., Lundin, A., Saltin, B. & Thorén, C. (1978). Long-term effect of previous swimtraining in girls. A 10-year follow-up of the "girl swimmers". *Acta Paediatrica Scandinavica*, 67, 285-292.
- Farrell, P.A., Maron, M.B., Hamilton, L.H., Maksud, M.G. & Foster, C. (1983). Time course of lung volume changes during prolonged treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15, 319-324.
- Frangolias, D. & Rhodes, E. (1996). Metabolic responses and mechanisms during water immersion running exercise. *Sports Medicine*, 22, 38–53.
- Frangolias, D. & Rhodes, E. (1995). Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 1007–1013.
- Gagnon, M. & Montpetit, R. (1981). Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. *Journal of Biomechanics*, 14, 235-241.
- Gallagher, C.G., Brown, E. & Younes, M. (1987). Breathing pattern during maximal exercise and during submaximal exercise with hypercapnia. *Journal of Applied Physiology*, 63, 238-244.
- Green, M. & Moxham, J. (1985). The respiratory muscles. *Clinical Science (London)*, 68, 1-10.





- Griffiths, L.A. & McConnell, A.K. (2007). The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *European Journal of Applied Physiology*, 99, 457-466.
- Guenette, J.A., Witt, J.D., McKenzie, D.C., Road, J.D., Sheel, A.W. (2007). Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. *Journal of Physiology*, 581, 1309-1322.
- Hagerman, F., Addington, W.W. & Gaensler, E.A. (1975). Severe steady state exercise at sea level and altitude in Olympic oarsmen. *Medicine and Science in Sports*, 7, 275-279.
- Hamilton, P. & Andrew, G.M. (1976). Influence of growth and athletic training on heart and lung functions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 36, 27-38.
- Hanel, B., Levine, B.D., Engfred, K., Clifford, P.S., Friedman, D.B. & Secher, N.H. (1994). Maximal inspiratory pressure following endurance training at altitude. *Ergonomics*, 37, 59-67.
- Hanel, B. & Secher, N.H. (1991). Maximal oxygen uptake and work capacity after inspiratory muscle training: a controlled study. *Journal of Sports Sciences*, 9, 43-52.
- Harms, M.P.M., vanLieshout, J.J., Jenstrup, M.M., Pott, F. & Secher N.H. (2003). Postural effects on cardiac output and mixed venous oxygen saturation in humans. *Experimental Physiology*, 88, 611-616.
- Harms, C.A., Babcock, M.A., McClaran, S.R., Pegelow, D.F., Nিকেle, G.N., Nelson, W.B., *et al.* (1997). Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 82, 1573-83.
- Harms, C.A., Wetter, T.J., McClaran, S.R., Pegelow, D.F., Nিকেle, G.A., Nelson, W.B., *et al.* (1998). Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 85, 609-618.
- Haverkamp, H.C., Metelits, M., Hartnett, J., Olsson, K. & Coast, J.R. (2001). Pulmonary function subsequent to expiratory muscle fatigue in healthy humans. *International Journal of Sports Medicine*, 22, 498-503.
- Hill, N.S., Jacoby, C. & Farber, H.W. (1991). Effect of an endurance triathlon on pulmonary function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 1260-1264.
- Holmer, I., & Gullstrand, L. (1980). Physiological responses to swimming with a controlled frequency of breathing. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 2, 1-6.



- Θωμαΐδης, Σ., Κουτλιάνος, Α., Γαβριηλίδου, Α. & Κουτλιάνος, Ν. (2003). Πνευμονικοί όγκοι και χωρητικότητες ηρεμίας κολυμβητών-τριων υψηλού επιπέδου. *Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου «Ιατρική της Άθλησης στον 21<sup>ο</sup> Αιώνα»*, University Studio Press, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Inbar, O, Weiner, P., Azgad, Y., Rotstein, A. & Weinstein, Y. (2000). Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1233-1237.
- Jensen, J.I., Lyager, S. & Pedersen, O.F. (1980). The relationship between maximal ventilation, breathing pattern and mechanical limitation of ventilation. *Journal of Physiology*, 309, 521-532.
- Johnson, B.D., Aaron, E.A., Babcock, M.A. & Dempsey, J.A. (1996). Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1129-1137.
- Johnson, B.D., Babcock, M.A., Suman, O.E. & Dempsey, J.A. (1993). Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *Journal of Physiology*, 460, 385– 405.
- Kabitz, H.J., Walker, D., Schwoerer, A., Sonntag, F., Walterspacher, S., Roecker, K. & Windisch, W. (2007). New physiological insights into exercise-induced diaphragmatic fatigue. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 158, 88-96.
- Kippelen, P., Caillaud, C., Robert, E., Connes, P., Godard, P. & Prefaut, C. (2005). Effect of endurance training on lung function: a one year study. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 617-621.
- Κλεισούρας, Β. (1997). *Εργο-Φυσιολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Klusiewicz, A., Borkowski, L., Zdanowicz, R., Boros, P. & Wesolowski, S. (2008). The inspiratory muscle training in elite rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48, 279-284.
- Koch, G. & Eriksson, B.O. (1973). Effect of physical training on anatomical R-L shunt at rest and pulmonary diffusing capacity during near-maximal exercise in boys 11-13 years old. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 31, 95-103.
- Kokkalis, C.Z., Athanassaki, M., Gourgoulisanis, K.I. & Molyvdas, P.A. (2001). Diet, lung function and swimmers' performance. *Journal of Nutritional and Environmental Medicine*, 11, 121-125.
- Koulouris, N.G. & Dimitroulis, I. (2001). Structure and function of the respiratory muscles. *Pneumon*, 14, 91-108.

- Krogh, A. & Lindhard, J. (1913). The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *Journal of Physiology*, 47, 112-136.
- Laffite, L.P., Vilas-Boas, J.P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. & Billat, V.L. (2004). Changes in physiological and stroke parameters during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29 (Suppl.), 17-31.
- Leech, J.A., Ghezzi, H., Stevens, D. & Becklake, M.R. (1983). Respiratory pressures and function in young adults. *The American Review of Respiratory Disease*, 128, 17-23.
- Leith, D.E. & Bradley, M. (1976). Ventilatory muscle strength and endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 41, 508-516.
- Loke, J., Mahler, D.A. & Virgulto, J.A. (1982). Respiratory muscle fatigue after marathon running. *Journal of Applied Physiology*, 52, 821-824.
- Lomax, M.E., & McConnell, A.K. (2003). Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *Journal of Sports Sciences*, 21, 659-664.
- Mador, M.J. & Acevedo, F.A. (1991). Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 70, 2059-2065.
- Maglischo, E.W. (1993). *Swimming even faster*. Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company.
- Mahler, D.A. & Loke, J. (1981). Pulmonary dysfunction in ultramarathon runners. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 54, 243-248.
- Maron, M.B., Hamilton, L.H. & Maksud, M.G. (1979). Alterations in pulmonary function consequent to competitive marathon running. *Medicine and Science in Sports*, 11, 244-249.
- Martin, B., Heintzelman, M. & Chen, H.I. (1982). Exercise performance after ventilatory work. *Journal of Applied Physiology*, 52, 1581-1585.
- McArdle, W.D., Margel, J.R., Delio, D.J., Toner, M. & Chase, J.M. (1978). Specificity of run training on VO<sub>2</sub> max and heart rate changes during running and swimming. *Medicine and Science in Sports*, 10, 16-20.
- McConnell, A.K., Caine, M.P. & Sharpe, G.R. (1997). Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: The influence of baseline strength. *International Journal of Sports Medicine*, 18, 169-173.
- McConnell, A.K. & Lomax, M. (2006). The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *Journal of Physiology*, 577, 445-457.

- McConnell, A.K. & Romer, L.M. (2004). Dyspnoea in health and obstructive pulmonary disease: the role of respiratory muscle function and training. *Sports Medicine*, 34, 117–132.
- McLean, S.P. & Hinrichs, R.N. (2000). Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71, 182-189.
- McLean, S.P. & Hinrichs, R.N. (1998). Sex differences in the centre of buoyancy location of competitive swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 16, 373-383.
- Meakins J. (1923). The cause and treatment of dyspnea in cardio- vascular disease. *British Medicine Journal*, 1, 1043-1045.
- Mickleborough, T.D., Stager, J.M., Chatham, K., Lindley, M.R. & Ionescu, A.A. (2008). Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 635-646.
- Miles, D.S., Cox, M.H., Bomze, J.P. & Gotshall, R.W. (1991). Acute recovery profile of lung volumes and function after running 5 miles. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31, 243-248.
- Miles, D.S., Enoch, A.D. & Grevey, S.C. (1986). Interpretation of changes in DLCO and pulmonary function after running five miles. *Respiration Physiology*, 66, 135-45.
- Murray, J.F. & Nadel, J.A. (1994). *Textbook of respiratory medicine* (2<sup>nd</sup> Edition). Volume 1. Philadelphia: W.B. Saunders.
- National Heart Lung Blood Institute Workshop Summary (1990). Respiratory muscle fatigue: report of the respiratory muscle fatigue workshop group. *American Review of Respiratory Disease*, 142, 474-486.
- Nicks, C.R., Morgan, D.W., Fuller, D.K. & Caputo, J.L. (2009). The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 16-21.
- Nigorikawa, T., Yoshigi, H., Muramoto, N. & Oishi, K. (1987). Modifications of pulmonary residual volume measuring method using closed circuit helium dilution technique. *Respiration and Circulation*, 35, 299 – 303.
- O'Kroy JA, Loy RA, Coast JR. (1992). Pulmonary function changes following exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 1359-1364.
- Ostrove, S.M. & Vaccaro, P. (1982). Effect of immersion on RV in young women: implications for measurement of body density. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 220-223.
- Otis, A.B. (1954). The work of breathing. *Physiological Reviews*, 34, 449-458.

- Ozkaplan, A., Rhodes, E.C., Sheel, A.W. & Taunton, J.E. (2005). A comparison of inspiratory muscle fatigue following maximal exercise in moderately trained males and females. *European Journal of Applied Physiology*, 95, 52-56.
- Πατάκας, Δ.Α. (1992). *Εφαρμοσμένη φυσιολογία αναπνευστικού συστήματος*, Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Powers, S.K., Coombes, J. & Demirel, H. (1997). Exercise training-induced changes in respiratory muscles. *Sports Medicine*, 24, 120-131.
- Prefaut, C., Ramonatxo, M., Boyer, R. & Chardon, G. (1978). Human gas exchange during water immersion. *Respiration Physiology*, 34, 307-318.
- Quanjer, P.H., Borsboom, G.J., Brunekreef, B., Zach, M., Forche, G., Cotes, J.E., *et al.* (1995). Spirometric reference values for white European children and adolescents: Polgar revisited. *Pediatric Pulmonology*, 19, 135-142.
- Raper, A.J., Thompson, W.T., Shapiro, W. & Patterson, J.L. (1966). Scalene and sternomastoid muscle function. *Journal of Applied Physiology*, 21, 497-502.
- Ratnovsky, A., Elad, D. & Halpern, P. (2008). Mechanics of respiratory muscles. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 163, 82-89.
- Riganas, C.S., Vrabas, I.S., Christoulas, K. & Mandroukas, K. (2008). Specific inspiratory muscle training does not improve performance or VO<sub>2</sub>max levels in well trained rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48, 285-292.
- Rinehardt, K.F., Kraemer, R.R., Gormely, S. & Colan, S. (1991). Comparison of maximal oxygen uptakes from the tethered, the 183- and 457- meter unimpeded supramaximal freestyle swims. *International Journal of Applied Physiology*, 12, 6-9.
- Robertson, C.H., Foster, G.H. & Johnson, R.L. (1977). The relationship of respiratory failure to the oxygen consumption of, lactate production by, and distribution of blood flow among respiratory muscles during increasing inspiratory resistance. *Journal of Clinical Investigation*, 59, 31-42.
- Robinson, E.P. & Kjeldgaard, J.M. (1982). Improvement in ventilatory muscle function with running. *Journal of Applied Physiology*, 52, 1400-1406.
- Rodriguez, F.A. (200). Maximal oxygen and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 87-95.
- Romer, L.M., Haverkamp, H.C., Lovering, A.T., Pegelow, D.F., Dempsey, J.A. (2006). Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 290, 365-375.

- Romer, L.M., Lovering, A.T., Haverkamp, H.C., Pegelow, D.F. & Dempsey, J.A. (2006). Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *Journal of Physiology*, 571, 425-439.
- Romer, L.M. & McConnell, A.K. (2003). specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 237-244.
- Romer, L.M., McConnell, A.K. & Jones, D.A. (2002a). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20, 547-562.
- Romer, L.M., McConnell, A.K. & Jones, D.A. (2002b). Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 785-792.
- Romer, L.M. & Polkey, M.I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 104, 879-888.
- Ross, E., Middleton, N., Shave, R., George, K. & McConnell, A. (2008). Changes in respiratory muscle and lung function following marathon running in man. *Journal of Sports Sciences*, 26, 1295-1301.
- Roussos, C. & Zakynthinos, S. (1996). Fatigue of the respiratory muscles. *Intensive Care Medicine*, 22, 134-155.
- Sarro, K.J., Silvatti, A.P. & Barros, R.L.M. (2008). Coordination between ribs motion and thoracoabdominal volumes in swimmers during respiratory maneuvers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7, 195-200.
- Schoenberg, J.B., Beck, G.J. & Bouhuys, A. (1978). Growth and decay of pulmonary function in healthy blacks and whites. *Respiration Physiology*, 33, 367-393.
- Secher, N.H., Mizuno, M. & Saltin, B. (1984). Adaptation of skeletal muscles to training. *Bulletin Européen de Physiopathologie Respiratoire*, 20, 453-457.
- Sheel, A.W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports Medicine*, 32, 567-581.
- Sliwiński, P., Yan, S., Gauthier, A.P. & Macklem, P.T. (1996). Influence of global inspiratory muscle fatigue on breathing during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80, 1270-1278.
- Sonetti, D.A., Wetter, T.J., Pegelow, D.F. & Dempsey, J.A. (2001). Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respiration Physiology*, 127, 185-199.



- Spengler, C.M., Knopfli-Lenzin, C., Birchler, K., Trapletti, A. & Boutellier, U. (2000). Breathing pattern and exercise endurance time after exhausting cycling or breathing. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 368-374.
- Stenberg, J., Åstrand, P.O., Ekblom, B., Royce, J. & Saltin, B. (1967). Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *Journal of Applied Physiology*, 22, 61-70.
- Thomas, R.G., LaStayo, P.C., Hoppeler, H., Favier, R., Ferretti, G., Kayser, B., *et al.* (1998). Exercise training in chronic hypoxia has no effect on ventilatory muscle function in humans. *Respiration Physiology*, 112, 195-202.
- Thompson, K.G., Haljand, R. & McLaren, D.P. (2000). An analysis of selected kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 18, 421-431.
- Vaccaro, P. & Clarke, D.H. (1978). Cardiorespiratory alterations in 9 to 11 years old children following a season of competitive swimming. *Medicine and Science in Sports*, 10, 204-207.
- Vaccaro, P., Clarke, D.H. & Morris, A.F. (1980). Physiological characteristics of young well-trained swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 44, 61-66.
- Verges, S., Sager, Y., Erni, C. & Spengler, C.M. (2007). Expiratory muscle fatigue impairs exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 225-232.
- Vincken, W., Ghezzo, H. & Cosio, M.G. (1987). Maximal static respiratory pressures in adults: normal values and their relationship to determinants of respiratory function. *Bulletin Européen de Physiopathologie Respiratoire*, 23, 435-439.
- Volianitis, S., McConnell, A.K., Koutedakis, Y. & Jones D.A. (2001). Specific respiratory warm-up improves rowing performance and exertional dyspnea. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1189-1193.
- Volianitis, S., McConnell, A.K., Koutedakis, Y., McNaughton, L., Backx, K. & Jones, D. (2001). Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 803-809.
- Wakayoshi, K., D'Acquisto, L.J., Cappaert, J.M. & Troup, J.P. (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 19-23.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y., *et al.* (1992). A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 367-371.

- Wells, G.D., Plyley, M., Thomas, S., Goodman, L. & Duffin, J. (2005). Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 527-540.
- Warren, G.L., Cureton, K.J. & Sparling, P.B. (1989). Does lung function limit performance in a 24-hour ultramarathon? *Respiration Physiology*, 78, 253-263.
- Wen, A.S., Woo, M.S. & Keens, T.G. (1997). How many manoeuvres are required to measure maximal inspiratory pressure accurately? *Chest*, 111, 802-807.
- West, J.B. (2000). *Respiratory Physiology: The Essentials* (6<sup>th</sup> Edition). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Whipp, B.J. & Ward, S.A. (1998). Determinants and control of breathing during muscular exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 199-211.
- Whitelaw, W.A. & Feroah, T. (1989). Patterns of intercostal muscle activity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 67, 2087-2094.
- Williams, J.S., Wongsathikun, J., Boon, S.M. & Acevedo, E.O. (2002). Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 1194-1198.
- Wilmore, H.W. & Costill, D.L. (2004). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Withers, R.T. & Hamdorf, P.A. (1989). Effect of immersion on lung capacities and volumes: implications for the densitometric estimation of relative body fat. *Journal of Sports Sciences*, 7, 21-30.
- Younes, M. & Kivinen, G. (1984). Respiratory mechanics and breathing pattern during and following maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 57, 1773-1782.
- Zamparo, P., Antonutto, G., Capelli, C., Francescato, M.P., Girardis, M., Sangoi, R., et al. (1996). Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 6, 273-280.
- Zauner, C.W. & Benson, N.Y. (1981). Physiological alterations in young swimmers during three years of intensive training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21, 179-185.
- Zinman, R. & Gaultier, C. (1986). Maximal static pressures and lung volumes in young female swimmers. *Respiration Physiology*, 64, 229-239.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ-ΑΠΟΔΟΧΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ

#### ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΣΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ

Υπεύθυνος Εργαστηρίου: Τοκμακίδης Σάββας, PhD

Υπεύθυνοι Μελέτης: Τουμπέκης Αργύρης, PhD

Θωμαΐδης Σάββας, υποψήφιος MSc

#### ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΗ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗ

Πληροφορίες για τους ενδιαφερόμενους και δήλωση αποδοχής

**Τίτλος της μελέτης:** «Αξιολόγηση της κόπωσης των εισπνευστικών μυών σε δοκιμασία κολύμβησης 400 μέτρων».

#### Σκοπός της μελέτης

Σύμφωνα με την παγκόσμια ερευνητική βιβλιογραφία, πολλές παράμετροι των αναπνευστικού συστήματος (όπως π.χ. η δύναμη των αναπνευστικών μυών, οι πνευμονικοί όγκοι) ελαττώνονται μετά από έντονη άσκηση μικρού διαστήματος (Coast et al., 1999· McConnell et al., 1997· Volianitis et al., 2001). Συγκεκριμένα, για το άθλημα της κολύμβησης (αγωνιστικό επίπεδο) έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση της δύναμης των εισπνευστικών μυών μετά από δοκιμασία κολύμβησης 200 μέτρων ελευθέρου (Lomax & McConnell, 2003). Παρά την ιδιαιτερότητα του περιβάλλοντος και την ιδιομορφία της αναπνοής στην κολύμβηση, η παραπάνω εργασία είναι η μοναδική δημοσιευμένη έρευνα που έχει αξιολογήσει την κόπωση των αναπνευστικών μυών στην κολύμβηση.

Από τα διεθνή ερευνητικά δεδομένα γίνεται φανερό πως η κόπωση των αναπνευστικών μυών κατά την άσκηση είναι πιθανό να επηρεάζει τα επίπεδα απόδοσης. Επιπλέον, το ιδιαίτερο περιβάλλον στο οποίο ασκούνται οι κολυμβητές επιδρά με έναν ιδιαίτερο τρόπο στο αναπνευστικό σύστημα, καθιστώντας δυσκολότερη την αξιολόγηση της κόπωσης των αναπνευστικών μυών. Από τα παραπάνω αναδεικνύεται η σημασία του προσδιορισμού των επιπέδων κόπωσης

των αναπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια και μετά από σύντομη-έντονη δοκιμασία κολύμβησης και η σύγκρισή τους με τα επίπεδα απόδοσης.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η αξιολόγηση της λειτουργικής ικανότητας του αναπνευστικού συστήματος τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά από μια δοκιμασία 400 μέτρων ελεύθερης κολύμβησης, καθώς κι ο εντοπισμός του σημείου της προσπάθειας που εμφανίζεται η κόπωση των εισπνευστικών μυών.

### **Χώρος Διεξαγωγής της μελέτης**

Όλες οι διαδικασίες και δοκιμασίες θα πραγματοποιηθούν στο Φιλίππειο Δημοτικό Κολυμβητήριο Καβάλας. Η θερμοκρασία νερού και περιβάλλοντος θα είναι σταθερή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

### **Διαδικασίες**

Οι εξεταζόμενοι θα υποβληθούν σε μια σειρά δοκιμασιών-μετρήσεων για τρεις ημέρες. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο της έρευνας, η 1<sup>η</sup> ημέρα των μετρήσεων περιλαμβάνει δοκιμασία μέγιστης έντασης 400 μέτρων ελευθέρου. Η 2<sup>η</sup> ημέρα περιλαμβάνει δοκιμασία 300 μέτρων ελευθέρου, ενώ η 3<sup>η</sup> ημέρα 200 και 100 μέτρα ελεύθερο. Οι δοκιμασίες της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> ημέρας θα πραγματοποιηθούν στο ρυθμό κολύμβησης των 400 μέτρων (1<sup>η</sup> ημέρα).

### **Περιορισμοί για τους συμμετέχοντες**

#### **Οι εξεταζόμενοι πρέπει να συμμετέχουν σε αγωνιστική προπόνηση για την κολύμβηση καθημερινά**

Από τους συμμετέχοντες θα ζητηθεί να μην πραγματοποιήσουν έντονη άσκηση την προηγούμενη ημέρα (από τις μετρήσεις) και να μην έχουν πραγματοποιήσει προπόνηση μέχρι και 12 ώρες πριν. Επιπλέον, θα γίνει προφορική σύσταση να μην καταναλώσουν καφέ, αναψυκτικό που περιέχει καφεΐνη, αλκοολούχο ποτό ή οποιοδήποτε είδος ουσίας το οποίο μπορεί να επηρεάσει (ή υπάρχουν υποψίες ότι μπορεί να επηρεάζει) τις φυσιολογικές

λειτουργίες, κατά την παραμονή αλλά και κατά τις ημέρες των μετρήσεων. Θα ζητηθεί επίσης να μην καταναλωθεί τροφή δύο ώρες πριν από κάθε μέτρηση. Τέλος, οι συμμετέχοντες θα πρέπει να διατηρήσουν τη διατροφή και τις καθημερινές τους συνήθειες όπως είχαν πριν από τις ημέρες των μετρήσεων.

## Μετρήσεις

Αρχικά, μετά από εξοικείωση των συμμετεχόντων με τις συσκευές μέτρησης, θα πραγματοποιηθεί μέτρηση σωματικού ύψους και μάζας, καθώς και του ποσοστού σωματικού λίπους.

Πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από τις δοκιμασίες κολύμβησης θα πραγματοποιηθούν ανώδυνες αξιολογήσεις της λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος, προσδιορισμός του κορεσμού αιμοσφαιρίνης και καταγραφή της καρδιακής συχνότητας. Τέλος, θα πραγματοποιηθούν λήψεις τριχοειδικού αίματος από το δάκτυλο για τον προσδιορισμό του γαλακτικού.

- *Για κάθε ημέρα εξέτασης, το χρονικό διάστημα αξιολογήσεων για κάθε συμμετέχοντα υπολογίζεται να είναι 1 ώρα και 15 λεπτά.*
- *Όλες οι διαδικασίες είναι ασφαλείς και θα γίνουν από ειδικευμένο προσωπικό και την παρουσία ιατρού (ειδ. πνευμονολόγου).*
- *Η πιθανότητα τραυματισμού είναι ελάχιστη αφού πρόκειται για μια σειρά επαναλήψεων συνηθισμένη για κολυμβητές.*

## Προστασία των δεδομένων

Τα δεδομένα της έρευνας είναι δυνατό να παρουσιαστούν ή να δημοσιευτούν. Σε καμία περίπτωση όμως δεν θα αναφέρεται το όνομα ή κάποιο από τα προσωπικά στοιχεία των εξεταζόμενων.

Για οποιεσδήποτε διευκρινήσεις για τη διαδικασία της έρευνας, μπορείτε να επικοινωνήσετε με τον υπεύθυνο της μελέτης:

Θωμαΐδης Σάββας: **τηλ.:** 6945109401 **email:** sthomaed@phyed.duth.gr

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:** .....

Έχω διαβάσει την περιγραφή της διαδικασίας της μελέτης κι έχω κατανοήσει ακριβώς τις απαιτήσεις για τους συμμετέχοντες.

Έχω το δικαίωμα να ζητήσω περισσότερες εξηγήσεις οποιαδήποτε στιγμή στην διάρκεια της έρευνας και να αποχωρήσω οποτεδήποτε το επιθυμώ χωρίς να δώσω κάποιες εξηγήσεις για τους λόγους.

**ΣΥΜΦΩΝΩ ΝΑ ΠΑΡΩ ΜΕΡΟΣ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗ**

Υπογραφή.....

Ημερομηνία.....

Υπογραφή κηδεμόνα (για τους κάτω των 18 ετών) .....

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β  
ΚΛΙΜΑΚΑ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΑΙΣΘΗΣΗΣ ΔΥΣΠΝΟΙΑΣ

ΤΙΜΗ	ΑΙΣΘΗΣΗ ΔΥΣΠΝΟΙΑΣ
0	ΚΑΜΙΑ
0.3	
0.5	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΕΛΑΦΡΙΑ-ΜΟΛΙΣ ΑΙΣΘΗΤΗ
1	ΠΟΛΥ ΕΛΑΦΡΙΑ
1.5	
2	ΕΛΑΦΡΙΑ
2.5	
3	ΜΕΤΡΙΑ
4	
5	ΙΣΧΥΡΗ
6	
7	ΠΟΛΥ ΙΣΧΥΡΗ
8	
9	
10	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΙΣΧΥΡΗ (ΜΕΓΙΣΤΗ)
11	
↵	
●	ΑΠΟΛΥΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ (ΥΨΗΛΟΤΕΡΟ ΔΥΝΑΤΟ)

Borg CR10 scale  
© Gunnar Borg, 1981, 1982, 1998

## ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ CR10

**Βασικές οδηγίες:** 10, «εξαιρετικά ισχυρή-μέγιστη» είναι το βασικό σημείο αναφοράς. Είναι η ισχυρότερη δύσπνοια που είχατε ποτέ. Είναι δυνατόν όμως να βιώσετε ή να φανταστείτε κάτι ακόμη ισχυρότερο. Γι' αυτόν το λόγο το «απόλυτο μέγιστο» έχει τοποθετηθεί λίγο πιο κάτω στην κλίμακα, χωρίς αριθμό, σημειωμένο με μια τελεία. Αν αντιλαμβάνεστε μια ένταση μεγαλύτερη του 10, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μεγαλύτερο αριθμό.

Ξεκινήστε με την *προφορική έκφραση* και μετά επιλέξτε *αριθμό*. Αν η αντίληψή σας για τη δύσπνοια είναι «πολύ ελαφριά» πείτε το 1, αν είναι «μέτρια» το 3, κτλ. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε και τιμές με μισά (όπως 1.5 ή 3.5 ή δεκαδικά, για παράδειγμα 0.3, 0.8, 2.3). Είναι πολύ σημαντικό να απαντήσετε τι αντιλαμβάνεστε *εσείς* και όχι αυτό που πιστεύετε ότι οφείλετε να απαντήσετε. Να είσατε όσο ειλικρινείς γίνεται και προσπαθήστε να μην υποτιμήσετε ή υπερτιμήσετε τις εντάσεις.

**Κλίμακα:** Θέλουμε να βαθμολογήσετε την υποκειμενική σας δύσπνοια, δηλαδή το κατά πόσο δύσκολη ήταν η αναπνοή σας. Πρέπει να δώσετε προσοχή στα υποκειμενικά σας αισθήματα και όχι στη φυσιολογική σας κόπωση ή την πραγματική ένταση της άσκησης.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Σας παρακαλούμε συμπληρώστε με ειλικρίνεια τα στοιχεία που σας ζητούνται παρακάτω. Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν μόνο για τους σκοπούς της έρευνας.

#### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ:

α/α \_\_\_\_\_

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΓΕΝΝΗΣΗΣ: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ: \_\_\_\_\_

#### ΠΡΟΠΟΝΗΣΕΙΣ

Αριθμός προπονήσεων (Μ.Ο., ανά εβδομάδα): \_\_\_\_\_

Χρονική διάρκεια κάθε προπόνησης: \_\_\_\_\_

Ένταση προπόνησης (βαθμολογείτε από 0-10): \_\_\_\_\_

Σύνολο χιλιομέτρων (ανά εβδομάδα, κατά προσέγγιση): \_\_\_\_\_

Στιλ εξειδίκευσης: \_\_\_\_\_

Κύρια αγωνίσματα: \_\_\_\_\_

Έτη εντατικής προπόνησης (μαζί με προ-αγωνιστική, ακαδημίες): \_\_\_\_\_

Καλύτερες διακρίσεις: \_\_\_\_\_

#### ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Έχετε κάποιο είδος αλλεργίας; ΝΑΙ    ΟΧΙ

Αν ναι, παρακαλούμε εξηγήστε (ιατρικό, άλλου είδους):



**Υπάρχει κάποιο πρόβλημα για το οποίο πιστεύετε πως πρέπει να είμαστε ενήμεροι;    ΝΑΙ    ΟΧΙ**

Αν ναι, παρακαλούμε εξηγήστε (πχ υγείας, άλλες υποχρεώσεις):

---

---

---

**Παίρνετε αυτήν την εποχή κάποιου είδους φάρμακο ή διατροφικό συμπλήρωμα;    ΝΑΙ    ΟΧΙ**

Αν ναι, παρακαλούμε εξηγήστε:

---

---

---

**Έχετε κάποια δυσκολία σχετικά με τη διαδικασία των μετρήσεων (π.χ. με τη λήψη αίματος από εσάς);    ΝΑΙ    ΟΧΙ**

Αν ναι, παρακαλούμε εξηγήστε:

---

---

**Καπνιστής;    ΝΑΙ    ΟΧΙ**

**Ημερομηνία:** \_\_\_\_\_