

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ
ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΜΥΪΚΗ ΔΥΝΑΜΗ
ΕΦΗΒΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΤΩΝ**

της
Ιωάννας Εποιμενίδου

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

Κομοτηνή
2012

Εγκεκριμένο από το Καθηγητικό σώμα:

Επιβλέπων Καθηγητής: Δούδα Ελένη, Αναπληρώτρια .Καθηγήτρια

Καθηγητής-Μέλος: Τουμπέκης Ανάργυρος, Λέκτορας

Καθηγητής-Μέλος: Γούργουλης Βασίλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

13468/1

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή υλοποιήθηκε μέσω ερευνητικής υποτροφίας της Ελληνικής Εταιρείας Βιοχημείας και Φυσιολογίας της Άσκησης με την ευγενική χορηγία του κ. Χρήστου Μανέα. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Χρήστο Μανέα και στο Διοικητικό Συμβούλιο της Ε.Ε.Β.Φ.Α. για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και τη δυνατότητα που μου έδωσαν να υλοποιήσω την παρούσα εργασία.

Στην υλοποίηση και τη συγγραφή αυτής της έρευνας συνέβαλαν ωστόσο πολλά αξιόλογα άτομα τους οποίους θα ήθελα να αναφέρω και να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου, για την πολύτιμη βοήθεια και την αμέριστη κατανόηση που μου προσέφεραν.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτο από όλους τον Λέκτορα κ. Αργύρη Τουμπέκη, ο οποίος ήταν δίπλα μου σύμβουλος, βοηθός αλλά και συμπαραστάτης και πρόσφερε τη βοήθειά του απλόχερα και ανιδιοτελώς. Ήταν δίπλα μου πάντα πρόθυμος και διαθέσιμος, σε οποιαδήποτε δυσκολία. Ιδιαίτερα τον ευχαριστώ, για την πολύτιμη βοήθεια στη διεκπεραίωση των διαδικασιών της μελέτης. Οι συμβουλές του ήταν ουσιαστικές και καθοριστικές και η συνεχής συμπαράστασή του, με βοήθησαν να επιτύχω τους στόχους μου και να ολοκληρώσω αυτή τη διατριβή.

Οφείλω επίσης να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στην κ. Ελένη Δούδα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του ΤΕΦΑΑ Κομοτηνής, που με εμπιστεύτηκε ως επιβλέπουσά μου και τον κ. Βασίλη Γούργουλη, Αναπληρωτή Καθηγητή, για τη συνεργασία τους και τις χρήσιμες συμβουλές που μου προσέφεραν.

Ευχαριστώ θερμά τη μητέρα μου Ειρήνη, τη γιαγιά μου Αναστασία και τον αδερφό μου Κοσμά, για την εμπιστοσύνη, τη συμπαράσταση, την υποστήριξη ηθική και υλική αλλά και για την κατανόηση σε ό,τι κάνω, που είναι πάντα δίπλα μου στη ζωή, σε κάθε επιλογή και δύσκολη απόφαση. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον άνθρωπο που είναι δίπλα μου τα τελευταία χρόνια, τον Μάνο Πετρίδη για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση, ηθική και υλική, μα πάνω από όλα για την κατανόηση που έδειξε το διάστημα των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους κολυμβητές που συμμετείχαν στις διαδικασίες των μετρήσεων, στους προπονητές τους Χάρη Ταχταλή και Γιώργο Τυλιγαδά, που ήταν εκεί όποτε τους χρειάστηκα.

Αφιερωμένη στον φύλακα άγγελο μου, που περίμενε την υλοποίηση αυτής της διατριβής, τον παπού μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιωάννα Εποιμενίδου: Η επίδραση της προθέρμανσης των εισπνευστικών μυών στην απόδοση και τη μέγιστη εισπνευστική μυϊκή δύναμη εφήβων κολυμβητών.

(Με την επίβλεψη της κ. Ελένης Δούδα, Αναπληρώτριας Καθηγήτριας)

Η κολύμβηση με μέγιστη ένταση απαιτεί ρυθμική αναπνοή που επιβαρύνει τους αναπνευστικούς μύες (ΑΜ) μειώνοντας την μέγιστη εισπνευστική δύναμη (P_Imax). Κατάλληλη αναπνευστική προθέρμανση (ΑΠ) είναι πιθανό να επιδρά στην P_Imax και την αγωνιστική απόδοση. Σκοπός της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της επίδρασης της ΑΠ στην P_Imax και την απόδοση στα 100 m ελεύθερο σε έφηβους κολυμβητές. Στην έρευνα συμμετείχαν 8 κολυμβητές (ηλικία: 15,6±0,8 έτη, σωματική μάζα: 69,6±7,4 kg, ύψος: 174,7±7,0 cm) και 10 κολυμβήτριες (ηλικία: 15,5±0,4 έτη, σωματική μάζα: 64,6±3,6 kg, ύψος: 169,3±5,2 cm), με αγωνιστική εμπειρία 6,9±1,2 έτη. Στις κύριες δοκιμασίες εκτελέστηκε κολυμβητική προθέρμανση (κολύμβηση 400 m, 4 x 50 m έντασης 80% της μέγιστης και 4 x 12,5 m μέγιστης έντασης), πέντε λεπτά μετά ακολούθησε ΑΠ 2 x 30 εισπνοές, με ένταση 15% (T15) ή 40% (T40) της P_Imax, σε δύο συνθήκες που απείχαν μεταξύ τους επτά ημέρες. Πέντε λεπτά μετά την ΑΠ εκτελέστηκε μέγιστη προσπάθεια 100 m ελεύθερο. Η P_Imax κατεγράφη πριν και μετά την ΑΠ και αμέσως μετά την προσπάθεια των 100 m. Η ανάλυση διακύμανσης για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε δύο παράγοντες, έδειξε ότι η P_Imax παρέμεινε αμετάβλητη μετά την κολυμβητική και την ΑΠ και δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των συνθηκών (p>0,05). Ωστόσο, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της P_Imax μετά τα 100 m και στις δύο συνθήκες (T15: 145±31 έναντι 115±30, T40: 146±31 έναντι 108±23 cmH₂O, p<0,05). Η επίδοση στα 100 m δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των συνθηκών (T15: 66,1±3,8 s έναντι T40: 66,5±4,0 s, p>0,05). Η ΑΠ που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη δεν εμφάνισε σημαντική επίδραση στην P_Imax και την απόδοση των 100 m. Η δοκιμασία αξιολόγησης της απόδοσης είχε διάρκεια 66s και η επιβάρυνση των ΑΜ είναι πιθανόν μικρή για να αναδείξει επίδραση της ΑΠ στην απόδοση.

Λέξεις κλειδιά: εισπνευστική δύναμη, προθέρμανση, απόδοση, εφηβεία, κολύμβηση

ABSTRACT

Ioanna Epoimenidou: Swimming performance and maximum inspiratory muscle force following specific respiratory warm-up in young swimmers.

(Under the supervision of Associate Professor Helen Douda)

The purpose of this study was to evaluate the effect of inspiratory muscle warm up on the maximum inspiratory force (P_Imax) and performance in a 100 m sprint swimming. Eight male and ten female swimmers participated in the study (males; age: 15.6 ± 0.8 years, body mass: 69.6 ± 7.4 kg, height: 174.7 ± 7.0 cm; females; age: 15.5 ± 0.4 years, body mass: 64.6 ± 3.6 kg, height: 169.3 ± 5.2 cm). During the main trials the participants completed inspiratory muscle warm-up, 2x30 breaths in two different conditions with intensity 15% (T15) or 40% (T40) of P_Imax five minutes after the swimming warm-up (400 m swimming, 4x50 m with an intensity 80% of maximum and 4 x 12.5 m with a maximum intensity). Five minutes after the completion of the respiratory warm-up the swimmers performed 100 m with maximum intensity. The P_Imax was recorded after the swimming warm-up, after the respiratory warm-up, at the start and immediately after the 100 m sprint. P_Imax was unchanged after the swimming and inspiratory warm-up and did not differ significantly between the two conditions ($p > 0.05$). However, a significant reduction in P_Imax occurred at the end compared to the values before the start of the 100 m in both conditions (T15: 145 ± 31 vs. 115 ± 30 , T40: 146 ± 31 vs. 108 ± 23 cmH₂O, $p < 0.05$). Performance on the 100 m sprint was not different between conditions (T15: 66.1 ± 3.8 s vs. T40: 66.5 ± 4.0 s, $p > 0.05$). The inspiratory warm-up applied in this study had no effect on P_Imax and performance of a 100 m freestyle sprint. The duration of the tested distance is probably too short to reveal any effect of inspiratory warm-up on respiratory muscle function and swimming performance.

Keywords: inspiratory strength, warm up, performance, puberty, swimming

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	viii
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
Προσδιορισμός του προβλήματος.....	11
Σκοπός της μελέτης.....	12
Σημασία της μελέτης.....	12
Όρια και περιορισμοί της μελέτης.....	13
Ερευνητικές και μηδενικές υποθέσεις.....	13
Ορισμοί και συντομογραφίες.....	14
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	15
Αναπνευστικοί μύες.....	15
Αναπνευστικοί μύες και κολύμβηση.....	17
Αναπνευστικοί μύες και μέγιστη άσκηση.....	20
Αναπνευστική μυϊκή κόπωση και επίδραση στην άσκηση.....	23
Αναπνευστική κόπωση και φύλο.....	28
Κόπωση αναπνευστικών μυών στην κολύμβηση.....	29
Βελτιώσεις στην απόδοση μετά από προπόνηση αναπνευστικών μυών.....	33
Αιτίες βελτίωσης της απόδοσης μετά από αναπνευστική προπόνηση.....	36
Προπόνηση αναπνευστικών μυών και επίδραση στο μεταβολικό αντανακλαστικό.....	39
Προπόνηση αναπνευστικών μυών σε κολυμβητές.....	40
Μέγιστη εισπνευστική πίεση και εισπνευστική προπόνηση.....	41
Προθέρμανση.....	42
Γενική και Ειδική προθέρμανση.....	42
Ποια είναι τα σημαντικότερα οφέλη.....	42
Κολυμβητική προθέρμανση.....	45
Προθέρμανση εισπνευστικών μυών.....	45
Προθέρμανση εισπνευστικών μυών και εισπνευστική πίεση.....	47
Προθέρμανση εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση.....	50
III ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	51
Δείγμα.....	51
Όργανα μέτρησης.....	52
Πειραματική διαδικασία.....	52
Προκαταρκτικές μετρήσεις.....	53
Κύριες μετρήσεις.....	53
Μετρήσεις.....	55
Μετρήσεις Αναπνευστικών μεταβλητών.....	56
Σχεδιασμός της μελέτης.....	58
Στατιστική Ανάλυση.....	58

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	59
Μεταβολές στις παραμέτρους απόδοσης.....	61
Επίδραση στη συχνότητα χεριάς και το μήκος χεριάς και τον αριθμό αναπνοών.....	60
Επίδραση στην καρδιακή συχνότητα.....	61
Μεταβολές στην μέγιστη εισπνευστική πίεση.....	62
Μεταβολές στη συγκέντρωση γαλακτικού.....	63
Μεταβολές στην υποκειμενική αντίληψη κόπωσης.....	64
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	65
Επίδοση στα 100 μέτρα ελεύθερο.....	65
Επίδραση στη συχνότητα χεριάς και το μήκος χεριάς.....	70
Μεταβολές στον αριθμό αναπνοών.....	71
Επίδραση στην μέγιστη εισπνευστική πίεση.....	71
Επίδραση στη συγκέντρωση γαλακτικού.....	74
Μεταβολές στην υποκειμενική αντίληψη κόπωσης.....	76
VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
VII. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	78
VIII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	91

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.	Τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων στη μελέτη.....	51
Πίνακας 2.	Οι χρόνοι στα 100 μέτρα ελεύθερο και η αντίστοιχη διεθνής βαθμολογία της FINA, (n = 18, μέση τιμή ± τυπική απόκλιση).....	53
Πίνακας 3.	Μεταβολές στην επίδοση ανά 25m, στην προσπάθεια των 100 m ελευθέρου.....	60
Πίνακας 4.	Μεταβολές ανά 25 m, στην συχνότητα χεριάς στην προσπάθεια 100 m ελευθέρου.....	61
Πίνακας 5.	Μεταβολές στην καρδιακή συχνότητα πριν και μετά την προσπάθεια των 100 m ελευθέρου.....	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.	Η πειραματική διαδικασία της έρευνας. PImax: μέγιστη εισπνευστική πίεση.....	54
Σχήμα 2.	Διαφορές μεταξύ της μέσης τιμής της επίδοσης στα 100 m, $p>0.05$ συγκριτικά με την εισπνευστική προθέρμανση στο T15 και στο T40...	59
Σχήμα 3.	Μεταβολές της PImax, στις τρεις μετρήσεις για κάθε μία από τις πειραματικές συνθήκες T15 και T40. *: $p<0,05$ σε σύγκριση με τις προηγούμενες μετρήσεις.....	62
Σχήμα 4.	Η συγκέντρωση γαλακτικού, στις τρεις μετρήσεις για κάθε μία από τις πειραματικές T15 και T40. *: $p<0,05$ σε σύγκριση με τις προηγούμενες μετρήσεις.....	63
Σχήμα 5.	Υποκειμενική αντίληψη κόπωσης, μετά τα 100 μέτρα ελεύθερο στις δύο πειραματικές συνθήκες T15 και T40.....	64

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΙΣΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΜΥΪΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΕΦΗΒΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΤΩΝ

Η προθέρμανση είναι μια ευρέως αποδεκτή πρακτική που προηγείται σχεδόν σε κάθε αθλητική δραστηριότητα. Υποδηλώνει ένα σύνολο διαδικασιών που συνήθως συνδέονται με συγκεκριμένα φυσιολογικά οφέλη (Volianitis, Koutedakis & Carson, 2001). Η ενεργητική προθέρμανση σύμφωνα με τον Bishop, (2003) βελτιώνει την απόδοση σε μικρής (<10 s), μεσαίας και μεγάλης διάρκειας προσπάθειες (>10 s και <5 min). Στην κολύμβηση όπως και στα περισσότερα αθλήματα η προθέρμανση περιλαμβάνει ειδικές και γενικές ασκήσεις με στόχο την προετοιμασία των ειδικών μυϊκών ομάδων. Τα ευρήματα προσφάτων ερευνών (Thomaidis, Toubekis, Mrousoukilia, Douda, Antoniou & Tokmakidis, 2009) φανερώνουν ότι οι εισπνευστικοί μύες ενεργοποιούνται σημαντικά και εμφανίζουν κόπωση στη διάρκεια μιας προσπάθειας και είναι πιθανό αυτοί οι μύες να χρειάζονται μια ειδική προθέρμανση πριν από τον αγώνα. Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών είναι μια διαδικασία που έχει εφαρμοστεί σε άλλες μορφές άσκησης με αντικρουόμενα αποτελέσματα (Lin, Tong, Huang, Nie, Lu & Quach, 2007; Tong & Fu 2006; Volianitis, McConnell, Koutedakis & Jones, 1999; Volianitis, McConnell & Jones 2001a).

Για πολλά χρόνια, υπήρχε η πεποίθηση ότι η αναπνευστική λειτουργία δεν περιορίζει τις επιδόσεις σε υγιείς αθλητές. Την προηγούμενη δεκαετία, όμως, αποδείχθηκε ότι η πνευμονική λειτουργία, η αναπνευστική μυϊκή δύναμη και η απόδοση των εισπνευστικών μυών μειώνονται κατά την άσκηση λόγω κόπωσης (Coast, Haverkamp, Finkbone, Anderson, George & Herb, 1999). Στον περιορισμό όμως της μείωσης στην εισπνευστική δύναμη και της αίσθησης κόπωσης, μπορεί να συμβάλει η αναπνευστική προπόνηση και προθέρμανση (Tong, Fu, Eston, Chung, Quach & Lu, 2010).

Η βελτίωση στη μέγιστη εισπνευστική πίεση (P_{imax}) μετά από ειδική προθέρμανση εισπνευστικών μυών, αιτιολογείται με την μείωση της αίσθησης δύσπνοιας και του μεταβολικού στρες (Tong et al., 2010). Η μείωση της αίσθησης δύσπνοιας οφείλεται εν μέρει στη βελτίωση των λειτουργιών των εισπνευστικών μυών σε υψηλής έντασης

άσκηση, μετά την προθέρμανση σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης, επηρεάζοντας την απόδοση αντοχής (Tong & Fu, 2006). Ωστόσο, φαίνεται ότι και η εισπνευστική δύναμη αυξάνεται με τη συστηματική άσκηση, φαινόμενο παρόμοιο με αυτό των σκελετικών μυών (Volianitis, McConnell, Koutedakis, Jones, 1999).

Παρά το γεγονός όμως, ότι στην προπονητική υπάρχουν πολλά μοντέλα προθέρμανσης, είναι ελάχιστα αυτά που συστήνονται για το αναπνευστικό σύστημα. Υπάρχουν όμως και έρευνες που ισχυρίζονται ότι η αναπνευστική προθέρμανση είναι πιο αποτελεσματική από τα πρωτόκολλα προθέρμανσης ολόκληρου του σώματος (Volianitis et al., 1999). Επιπλέον, φαίνεται ότι ο συνδυασμός πρωτόκολλου προθέρμανσης του αναπνευστικού συστήματος (2X30 αναπνοές χρησιμοποιώντας τη συσκευή powerbreath, στο 40% της P_Imax) μαζί με ειδική προθέρμανση σε κάποιο άθλημα όπως η κωπηλασία είναι πιο αποτελεσματική από μια ειδική προθέρμανση κωπηλασίας ή μια υπομέγιστης έντασης προθέρμανση κωπηλασίας (Volianitis et al., 2001a; Volianitis, McConnell, Koutedakis & Jones, 2001). Ταυτόχρονα ο συνδυασμός της χρόνιας άσκησης (2X30 αναπνοές στο 50% της P_Imax, την ημέρα, 6 μέρες την εβδομάδα) και της οξείας προθέρμανσης εισπνευστικών μυών (2X30 αναπνοές, στο 40% της P_Imax), σε ένα υψηλής έντασης διαλειμματικό πρόγραμμα, φαίνεται να είναι μια επωφελής προπονητική στρατηγική για την βελτίωση της αντοχής σε υψηλής έντασης διαλειμματικό πρόγραμμα (Tong et al., 2010).

Ωστόσο παρά τη σημασία των αναπνευστικών μυών στην κολύμβηση, υπάρχει μόνο μια αναφορά που σχετίζεται με την επίδραση της προθέρμανσης των αναπνευστικών μυών στην κολύμβηση (Baross, Howorth, Talbot & Doherty, 2002). Στην έρευνα αυτή φαίνεται ότι η κολύμβηση μπορεί να αποτελεί μια μορφή αναπνευστικής προθέρμανσης ενώ συνδέει τις βελτιώσεις στην κολυμβητική απόδοση με την αναπνευστική προθέρμανση. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε (2X30 εισπνοές στο 40% P_Imax) είναι πιο εργογενές από την ειδική κολυμβητική προθέρμανση μετά από προσπάθεια σε 200 m κολύμβηση στο στιλ εξειδίκευσης του κάθε κολυμβητή (Baross et al., 2002). Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών είναι πιθανό να φανεί χρήσιμη και ωφέλιμη και σε μικρότερες αποστάσεις όπως τα 100, σε σχέση με τα 200 m και αυτό γιατί μετά από προσπάθεια 100 m εμφανίζεται σημαντική κόπωση των αναπνευστικών μυών (Brown & Kilding, 2010).

Προσδιορισμός του προβλήματος

Το κολύμπι είναι δραστηριότητα υψηλής ενεργειακής απαίτησης αφού η αντίσταση στο νερό είναι περίπου 12 φορές μεγαλύτερη από την αντίσταση του αέρα και η μετακίνηση γίνεται με πολύ μικρότερη ταχύτητα και απαιτεί περισσότερη ενέργεια και προσπάθεια (DiPrampo, 1986). Όταν το σώμα είναι βυθισμένο και μετακινείται στο νερό, επηρεάζεται από την άνωση του νερού. Ως εκ τούτου η αγωνιστική κολύμβηση απαιτεί την ικανότητα να ρυθμίζεται σωστά η αναπνοή σε όγκους και ποσοστά ροής, τα οποία είναι πολύ υψηλότερα από αυτά κατά την άσκηση στην ξηρά. Ο μεγάλος όγκος των πνευμόνων αλλά και η καλή λειτουργική ικανότητα του αναπνευστικού συστήματος αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση στην κολύμβηση (Blimkie, 1992). Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα του αναπνευστικού συστήματος παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς στην ικανότητα του σώματος να εκτελέσει την άσκηση λόγω των επιπτώσεων του αυξημένου έργου της αναπνοής, της κόπωσης των αναπνευστικών μυών, και της δύσπνοιας (Vrabas, Dodd, Powers, Hughes, Coombes, Demirel & Reid, 1999).

Όπως έχει ήδη επισημανθεί (Wells, Plyley, Thomas, Goodman & Duffin, 2005), οι απαιτήσεις και οι συνθήκες λειτουργίας των αναπνευστικών μυών κατά την αναπνοή στο κολύμπι, προκαλούν σημαντικές μηχανικές και φυσιολογικές προσαρμογές και ιδιαιτερότητες. Μειώνεται η συχνότητα αναπνοής, επηρεάζεται από την πρόσθετη πίεση το θωρακικό τοίχωμα, αυξάνονται η ροή φορτίου αντίστασης στις αεροφόρους οδούς, η ταχύτητα μυϊκής συστολής η σύσπαση των αναπνευστικών μυών και η συχνότητα λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος αλλά και ο αναπνεόμενος όγκος.

Κόπωση των αναπνευστικών μυών μπορεί να οριστεί η αδυναμία να συνεχίσουν να παράγουν επαρκή πίεση για τη διατήρηση του κυψελιδικού αερισμού. Παράλληλα η μυϊκή κόπωση γίνεται αντιληπτή με την αίσθηση δύσπνοιας. Η δύσπνοια μπορεί να περιορίσει την ικανότητα ενός ατόμου να συνεχίσει να ασκείται με την απαιτούμενη ένταση. Όλοι αυτοί οι παράγοντες που περιορίζουν τη λειτουργία των αναπνευστικών μυών είναι άκρως σημαντικοί στο άθλημα της κολύμβησης σε υψηλό επίπεδο. Υπάρχουν όμως αναφορές ότι η εισπνευστική μυϊκή κόπωση μεγέθους 11-27% μετά από μόλις 2,7 έως 4,9 λεπτά υψηλής έντασης κολύμβηση στο ελεύθερο στυλ (Lomax & McConnell, 2003; Thomaidis et al., 2009), εμφανίζεται ταχύτερα από εκείνη που αναφέρεται στη βιβλιογραφία σε άλλες μορφές άσκησης.

Παράλληλα, μείωση της έντασης της αίσθησης αναπνευστικής προσπάθειας (κατά τη διάρκεια της άσκησης και αναπνοής σε συγκεκριμένο φορτίο), έχει παρατηρηθεί μετά από προπόνηση των αναπνευστικών μυών (McConnell & Romer, 2004). Δεδομένο που οδήγησε τους McConnell και Romer (2004) στο συμπέρασμα ότι η αναπνευστική προπόνηση έχει τη δυνατότητα να μειώσει τη σοβαρότητα της δύσπνοιας, καθώς και ότι αυτό συμβαίνει πιθανότατα μέσω της μείωσης του επιπέδου της αβίαστης μηχανικής εκπνοής. Υπάρχουν διάφοροι τύποι τεχνικών προθέρμανσης που χρησιμοποιούν οι αθλητές για την προετοιμασία τους. Οι πιο γνωστές μέθοδοι είναι η ενεργητική και η παθητική, η γενική και η ειδική προθέρμανση. Η εκ των προτέρων εφαρμογή σωματικής δραστηριότητας μέτριας έντασης είναι ευρέως αποδεκτή ως ένα αποτελεσματικό μέσο για την προθέρμανση κινητικών μυών για να λειτουργήσουν σε έντονο επίπεδο. Τα περισσότερα πρωτόκολλα γενικής προθέρμανσης είναι μέτριας έντασης και χαρακτηρίζονται από χαμηλή απαίτηση αναπνευστικής δραστηριότητας. Για τον λόγο αυτό και εφαρμόζεται και η ειδική προετοιμασία των αναπνευστικών μυών. Συγκεκριμένα ένα πρόγραμμα ειδικής προθέρμανσης εισπνευστικών μυών:

- μπορεί να επιταχύνει το επίπεδο, μάθησης-εξοικείωσης της ενέργειας που σχετίζεται με τους επαναλαμβανόμενους ελιγμούς Mueller (Volianitis et al., 2001a)
- μπορεί να αυξήσει την περιφερική διεγερσιμότητα (Ross, Nowicky & McConnell, 2007)
- μπορεί να αυξήσει τη συνεργασία μεταξύ των ενεργών εισπνευστικών μυών (Lomax & McConnell, 2009),
- μπορεί να ασκεί επίδραση από έναν συνδυασμό αυτών των παραγόντων και τη μέγιστη εισπνευστική πίεση (Lomax & McConnell, 2009).

Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αξιολογηθεί η επίδραση της προθέρμανσης των εισπνευστικών μυών στην απόδοση και τη μέγιστη εισπνευστική μυϊκή δύναμη έφηβων κολυμβητών στα 100 m ελεύθερο.

Σημασία της μελέτης

Η παρούσα εργασία, αξιολογεί τη εισπνευστική δύναμη αλλά και την επίδραση της στην κολυμβητική απόδοση.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης πιθανόν να δώσουν χρήσιμες γνώσεις, στους προπονητές κολύμβησης, για τις μεταβολές της εισπνευστικής δύναμης μετά από την προθέρμανση. Επίσης θα διευκρινίσουν αν οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση των κολυμβητών. Τέλος η έρευνα θα μπορούσε να δώσει πληροφορίες στους αθλητές για τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση τους αλλά και για τις μεταβολές που προκαλεί σε αυτούς η προθέρμανση εισπνευστικών μυών στην δεδομένη στιγμή της προπονητικής περιόδου.

Όρια και περιορισμοί της μελέτης

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δοκιμασία κολύμβησης 100 m ελεύθερου, από περιορισμένο αριθμό εφήβων κολυμβητών (ηλικίας 14-16 ετών) του ίδιου σωματείου και σε κολυμβητήριο 25 m. Η προθέρμανση περιλάμβανε 2 x 30 προσπάθειες με ένταση 40% και η συνθήκη ελέγχου ένταση 15% με την υπόθεση ότι είναι πιθανό η διαφορετική ένταση προθέρμανσης να εμφανίσει διαφορετικές μεταβολές.

- α) Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε περίοδο με χαμηλό όγκο και ένταση προπόνησης.
- β) Οι συμμετέχοντες στην έρευνα εξειδικεύτηκαν στο αγώνισμα των 100 m ελεύθερο.
- γ) Οι μετρήσεις των αναπνευστικών πιέσεων μετά την κολυμβητική δοκιμασία πραγματοποιήθηκαν σε όρθια θέση (διαφορετική από αυτή της κολυμβητικής προσπάθειας).

Ερευνητικές και μηδενικές υποθέσεις

Οι βασικές ερευνητικές και μηδενικές υποθέσεις της παρούσας μελέτης που εξετάστηκαν είναι:

Ερευνητική υπόθεση 1 (H_1): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση επιδρά σημαντικά στην απόδοση έφηβων κολυμβητών στα 100 m ελεύθερο.

Ερευνητική υπόθεση 2 (H_2): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση επιδρά σημαντικά στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα και στην καρδιακή συχνότητα στο τέλος της προσπάθειας των 100 m ελεύθερο.

Ερευνητική υπόθεση 3 (H_3): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση επιδρά σημαντικά στην συχνότητα χεριάς και το μήκος χεριάς των κολυμβητών

Ερευνητική υπόθεση 4 (H_4): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση επιδρά σημαντικά στην εισπνευστική δύναμη των κολυμβητών στο τέλος της προσπάθειας των 100 m

Μηδενική υπόθεση 1 (H_{10}): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση δεν επιδρά σημαντικά στην απόδοση έφηβων κολυμβητών στα 100 m ελεύθερο.

Μηδενική υπόθεση 2 (H_{20}): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση, δεν επιδρά σημαντικά στη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα και την καρδιακή συχνότητα στο τέλος της προσπάθειας των 100 m ελεύθερο.

Μηδενική υπόθεση 3 (H_{30}): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση δεν επιδρά σημαντικά στη συχνότητα χεριάς και το μήκος χεριάς των κολυμβητών.

Μηδενική υπόθεση 4 (H_{40}): Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση, δεν επιδρά σημαντικά στην εισπνευστική δύναμη των κολυμβητών στο τέλος της προσπάθειας των 100 m

Ορισμοί και συντομογραφίες

Εισπνευστικοί μύες: διάφραγμα, έξω μεσοπλεύριοι μύες, επικουρικοί (σκαληνοί, στερνοκλειδομαστοειδείς, μείζονες κι ελάσσονες θωρακικοί, πρόσθιοι οδοντωτοί, τραπεζοειδείς και υποκλείδιοι) (Ματζιάρη, 1999).

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

Μέγιστη εισπνευστική στοματική πίεση (PI_{max}): η μέγιστη πίεση που παράγεται (σε cm H_2O) μετά από μέγιστη εισπνευστική προσπάθεια, αφού προηγηθεί εκπνοή ως την RV (Πατάκας, 1992).

Μέγιστος εκπνεόμενος όγκος σε 1 δευτερόλεπτο (Forced Expiratory Volume in one second, $FEV_{1.0}$): Ο όγκος αέρα που εκπνέεται 1 δευτερόλεπτο μετά την αρχή μιας δυναμικής ζωτικής χωρητικότητας (Πατάκας, 1992).

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

I. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Αναπνευστικοί μύες

Η αναπνοή, όπως και πολλές άλλες κινήσεις του σώματος, εξαρτάται από την κίνηση των μυών (Koulouris & Dimitrouli, 2001). Η διεργασία κατά την οποία ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στους πνεύμονες και ανταλλάσσεται με τον αέρα που βρίσκεται με σε αυτούς, ονομάζεται πνευμονικός αερισμός (Κλεισούρας 2000). Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται ουσιαστικά από δύο τμήματα, ένα όργανο για την ανταλλαγή αερίων, τον πνεύμονα και μια αντλία για την άντληση του αέρα μέσα και έξω από το τμήμα ανταλλαγής αερίων, η οποία αποτελείται από τους αναπνευστικούς μύες και το θωρακικό τοίχωμα. Για την ανταλλαγή των αναπνευστικών αερίων μέσα από την αναπνευστική επιφάνεια, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεχής ανανέωση του κυψελιδικού αέρα. Η ανανέωση αυτή γίνεται με τις αναπνευστικές κινήσεις οι οποίες μετακινούν συνεχώς τον ατμοσφαιρικό αέρα, προς τις κυψελίδες και τον κυψελιδικό αέρα προς την ατμόσφαιρα. Για την μετακίνηση αυτή του αέρα, κινούσα δύναμη είναι η διαφορά πίεσεως που δημιουργείται από τις παραπάνω αναπνευστικές κινήσεις (Koulouris & Dimitrouli, 2001).

Οι αναπνευστικοί μύες διακρίνονται στους εισπνευστικούς και τους εκπνευστικούς. Οι κύριοι μύες του αναπνευστικού συστήματος είναι το διάφραγμα και οι μεσοπλεύριοι μύες. Στην ομάδα των επικουρικών αναπνευστικών μυών είναι: οι σκαληνοί μύες, οι στερνοκλειδομαστοειδείς μύες, οι μείζονες και οι ελάσσονες θωρακικοί, οι πρόσθιοι οδοντωτοί, οι τραπεζοειδείς και οι υποκλείδιοι μύες. Οι επικουρικοί είναι αυτοί που ενεργοποιούνται κατά την έντονη εισπνοή και προκαλούν ανύψωση των πλευρών βίαια. Μετακινώντας τα πλευρά μπορεί ένα άτομο να εισπνέει και να εκπνέει. Οι μύες που έλκουν τις πλευρές προς τα κάτω αναφέρονται ως εκπνευστικοί και θεωρούνται επικουρικοί επειδή δεν χρησιμοποιούνται στην ήρεμη αναπνοή, η οποία γίνεται παθητικά (Koulouris & Dimitrouli, 2001). Η εισπνοή είναι μια ενεργητική λειτουργία, επιτελούμενη από τους εισπνευστικούς μύες. Το διάφραγμα, κύριος μυς του αναπνευστικού, είναι ένας θολωτός μυς, που φράζει το κάτω στόμιο της θωρακικής κοιλότητας και έχει επιφάνεια περίπου 250 cm². Νευρώνεται από δύο, φρενικά νεύρα, του αυχενικού πλέγματος. Η δράση του μοιάζει με τη δράση «εμβόλου» που ανεβοκατεβαίνει και αυξομειώνει την

κατακόρυφη διάμετρο της θωρακικής κοιλότητας. Η σύσπαση του διαφράγματος, που είναι η πιο σημαντική λειτουργία των εισπνευστικών μυών, μειώνει την ενδοθωρακική πίεση και αυξάνει την κοιλιακή πίεση σε φυσιολογικούς ανθρώπους με τη μείωση της διαφραγματικής διόδου (Koulouris & Dimitrouli, 2001).

Έρευνες για τους αναπνευστικούς μύες έχουν διεξαχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών και αναφέρουν ότι οι αναπνευστικοί μύες και όλοι οι σκελετικοί μύες, έχουν παρόμοια σύνθεση ινών με τους μύες των άκρων. Οι αναπνευστικοί είναι σκελετικοί μύες, με παρόμοια σύσταση ινών με τα άκρα του σώματος. Η σύνθεση των ινών τους, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αντοχή και τις συσταλτικές τους ιδιότητες. Υπάρχουν δύο τύποι ινών, γρήγορης και αργής σύσπασης. Οι άνθρωποι μεσοπλεύριοι μύες φαίνεται να έχουν περίπου 60% ίνες βραδείας συστολής όπως οι εισπνευστικοί μύες και το διάφραγμα, που έχει επίσης ένα υψηλό ποσοστό, περίπου 60%, από ίνες ανθεκτικές στην κόπωση (Koulouris & Dimitrouli, 2001). Ωστόσο άλλοι ερευνητές επεσήμαναν ότι οι αργές και οι γρήγορες ίνες βρίσκονται σε ίσες αναλογίες στο διάφραγμα του ενήλικου ανθρώπου, ενώ οι μεσοπλεύριοι μύες περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό των γρήγορων ινών (Polla, D'Antona, Bottinelli & Reggiani, 2004). Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι το διάφραγμα έχει μεγαλύτερη οξειδωτική ικανότητα και μεγαλύτερη ροή του αίματος από εκείνη των μυών των άκρων και είναι πιο ανθεκτικό στην κούραση, σε άσκηση αντοχής, ενώ δεν είναι σημαντικός καθαρός παραγωγός του γαλακτικού οξέος ή αμμωνίας κατά τη διάρκεια της άσκησης (Koulouris & Dimitrouli, 2001; Roussos & Zakynthinos, 1996). Επίσης το μικρό μέγεθος των ινών, η αφθονία των τριχοειδών αγγείων, καθώς και μια υψηλή αερόβια οξειδωτική δράση των ενζύμων είναι τυπικά χαρακτηριστικά των ινών του διαφράγματος και τους παρέχουν την δυνατότητα για αντίσταση στην κόπωση που απαιτείται από τη συνεχή δραστηριότητα τους (Polla et al., 2004). Αντίθετα με τους Koulouris και Dimitrouli, (2001) οι Polla και συν. (2004) ανέφεραν ότι λόγω της σύνθεσης των ινών τους, οι μεσοπλεύριοι μύες είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην κόπωση.

Βέβαια, παρά τον κύριο ρόλο τους στην αναπνοή η φυσιολογία των αναπνευστικών μυών έχει σχετικά παραμεληθεί, ίσως λόγω της πολυπλοκότητας της λειτουργίας τους και των δυσκολιών της μελέτης τους. Η στατική και η δυναμική συστολή τους είναι δύσκολο να μελετηθούν. Η κατανόηση της λειτουργίας τους εξαρτάται από τις σχέσεις της συχνότητας με τη δύναμη, του μήκους και της έντασης, της δύναμης και της ταχύτητας

αλλά και της κόπωσης με την συχνότητα (Koulouris & Dimitrouli, 2001). Το διαρθρωτικά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, αλλά και οι ιδιότητες των αναπνευστικών μυϊκών ινών δεν έχουν καθοριστεί, ωστόσο, μπορούν να τροποποιηθούν για την αντιμετώπιση πολλών φυσιολογικών και παθολογικών καταστάσεων, όπως η προπόνηση, η προσαρμογή στις αλλαγές του αναπνευστικού φορτίου, η προσαρμογή στην υποξία, αλλαγές σχετικές με την ηλικία και με την άσκηση αυξημένης έντασης ή περιπτώσεις ασθένειας του αναπνευστικού συστήματος (Polla et al., 2004). Τέλος οι προσαρμογές στην προπόνηση και την απότομη διακοπή της, είναι παρόμοιες με αυτές που παρατηρήθηκαν σε μεγαλύτερους μύες των άκρων και με αυτές του διαφράγματος (Koulouris & Dimitrouli, 2001; Polla et al., 2004).

Αναπνευστικοί μύες και κολύμβηση

Η κολύμβηση είναι μια σωματική δραστηριότητα που απαιτεί υψηλή δαπάνη ενέργειας και ένα απαιτητικό άθλημα σε ανταγωνιστικό επίπεδο. Επειδή το νερό είναι περίπου 800 φορές πιο πυκνό, από ότι είναι ο αέρας και η αντίσταση στο νερό είναι περίπου 12 φορές μεγαλύτερη από την αντίσταση του αέρα, η μετακίνηση στο νερό γίνεται με πολύ μικρότερη ταχύτητα και απαιτεί περισσότερη ενέργεια και προσπάθεια (DiPrampiero, 1986). Όταν η άσκηση γίνεται στη στεριά, όλα τα συστήματα του οργανισμού, επηρεάζονται σημαντικά από τη δύναμη της βαρύτητας, αλλά η αντίσταση του αέρα είναι χαμηλή. Αντίθετα, στο νερό το σώμα επηρεάζεται από την άνωση, ουσιαστικά η πυκνότητα του νερού και η ευρωστία του σώματος εξουδετερώνουν την επίδραση της βαρύτητας. Επίσης η ανταγωνιστική κολύμβηση απαιτεί την ικανότητα σωστής ρύθμισης της αναπνοής σε όγκους και ποσοστά ροής, τα οποία είναι πολύ υψηλότερα από αυτά κατά την άσκηση στην ξηρά. Ο μεγάλος όγκος των πνευμόνων αλλά και η καλή λειτουργική ικανότητα του αναπνευστικού αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση στον κολύμβηση (Blimkie, 1992).

Ωστόσο η αποτελεσματικότητα του αναπνευστικού συστήματος παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς στην ικανότητα του σώματος να εκτελέσει την άσκηση λόγω των επιπτώσεων του αυξημένου έργου της αναπνοής, της κόπωσης των αναπνευστικών μυών, και της δύσπνοιας (Vrabas et al., 1999). Το απροπόνητο υγιές πνευμονικό μυϊκό σύστημα έχει διατυπωθεί ότι πρέπει να διαθέτει επαρκή χωρητικότητα για να διαχειριστεί τυχόν πρόσθετους στρεσογόνους παράγοντες που η άσκηση μπορεί να προκαλέσει σε

αυτό. Ως εκ τούτου, ένα καλό αναπνευστικό μυϊκό σύστημα και καλή εισπνοή και εκπνοή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση της αποτελεσματικής μηχανικής κίνησης στο κολύμπι (Wells et al., 2005). Η θέση αυτή ενισχύεται από στοιχεία που υποδεικνύουν ότι παρατεταμένα αερόβια προγράμματα προπόνησης προκαλούν μερικές μορφολογικές ή και λειτουργικές αλλαγές σε πνεύμονες ενηλίκων (Dempsey, Harms & Ainsworth, 1996; Dempsey, Johnson & Kurt, 1990). Κατά τη διάρκεια αερόβιας άσκησης, όπως στην προπόνηση και την αγωνιστική κολύμβηση, σημαντικές προσαρμογές των αναπνευστικών μυών παρατηρούνται, αυξάνοντας την αντοχή και τη δύναμή τους (O’Kroy, Loy & Coast, 1992). Επιπλέον, η κολυμβητική προπόνηση βελτιώνει τις αναπνευστικές παραμέτρους. Για παράδειγμα, η ζωτική χωρητικότητα αυξάνεται λόγω της αύξησης της δύναμης των αναπνευστικών μυών, καθώς αυξάνεται και η ελαστικότητα της θωρακικής κοιλότητας και των πνευμόνων (Dempsey et al., 1990). Παρόμοιες αλλαγές παρατηρούνται στη βίαιη ζωτική χωρητικότητα και τον εκπνεόμενο όγκο αέρα σε ένα δευτερόλεπτο (Wells et al., 2005; Mickleborough Stager, Chatham, Lindley Ionescu et al., 2008; Lomax & McConnell, 2003; Sambanis, 2006; Sambanis, 2011).

Βέβαια το μέγεθος του πνεύμονα και η πνευμονική λειτουργία φαίνεται να επηρεάζονται ελάχιστα από την εντατική άσκηση (Mickleborough et al., 2008). Οι παραπάνω περιορισμοί του αναπνευστικού συστήματος μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση κατά την άσκηση σε καλά προπονημένα άτομα (Boutellier, Buchel, Kundert & Spengler, 1992), ιδιαίτερα σε υψηλές εντάσεις, όπου το αυξημένο έργο της αναπνοής θέτει σε κίνδυνο τις επιδόσεις (Harms, Wetter, ST Croix, Pegelow & Dempsey, 2000). Παράλληλα είναι γνωστό ότι η πνευμονική λειτουργία μειώνεται μετά από τη μέγιστη ή σχεδόν μέγιστη άσκηση (Coast, Clifford, Henrich, Stray-Gundersen & Johnson, 1990; Johnson, Babcock, Suman & Dempsey, 1993). Σε αυτές τις μειώσεις συμπεριλαμβάνονται και εκείνες στη δυναμική ζωτική χωρητικότητα αλλά και τη μέγιστη εισπνευστική πίεση.

Οι κολυμβητές όμως, είναι ειδική ομάδα αθλητών με μεγαλύτερους πνευμονικούς όγκους από τους προβλεπόμενους και με μεγαλύτερη ζωτική χωρητικότητα και συνολική δυναμικότητα των πνευμόνων. Επίσης, στους κολυμβητές έχει αναφερθεί βελτιωμένη πνευμονική ικανότητα διάχυσης σε σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές και με αυτές των μη-αθλητών (Wells et al., 2005). Είναι ενδιαφέρον, ότι ενώ κολυμβητές διασυλλογικού επιπέδου, δρομείς μεγάλων αποστάσεων και μη-αθλητές δεν παρουσίασαν καμία σημαντική απόκλιση από τις προβλεπόμενες τιμές στην ικανότητα πνευμονικής διάχυσης,

οι ελίτ κολυμβητές παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερη ικανότητα διάχυσης σε σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές (Wells et al., 2005).

Βέβαια, όπως έχει ήδη επισημανθεί από τους Wells και συν. (2005), οι απαιτήσεις και οι συνθήκες λειτουργίας των αναπνευστικών μυών στο κολύμπι περιλαμβάνουν:

- τη μειωμένη συχνότητα αναπνοής, λόγω του ελεγχόμενου κύκλου αναπνοής
- την ανάγκη επέκτασης, του θωρακικού τοιχώματος, ως αποτέλεσμα της βύθισης στο νερό
- την αυξημένη ροή φορτίου αντίστασης στις αεροφόρους λόγω των υψηλών τιμών ροής
- την αύξηση της ταχύτητας μυϊκής συστολής, την αύξηση της σύσπασης των αναπνευστικών μυών και την αύξηση της συχνότητας λειτουργίας του αναπνευστικού συστήματος και τον αυξημένο αναπνεόμενο όγκο και
- την πιθανή διπλή χρήση, των μυών του αναπνευστικού συστήματος, για να βοηθήσουν στην διάρκεια της κολύμβησης. Αυτό σημαίνει, ότι μερικοί από τους μύες που συμμετέχουν στην αναπνοή, όπως αυτοί του θωρακικού τοιχώματος, χρησιμοποιούνται επίσης για να δημιουργήσουν μια σταθερή δομή από την οποία οι μύες των ώμων μπορούν να ενεργούν αυτόνομα για την παραγωγή κίνησης. Το ίδιο μπορεί να συμβαίνει για παράδειγμα και με τους μύες του κοιλιακού τοιχώματος που χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη σταθεροποίηση του σώματος κατά την κολύμβηση (Wells et al. 2005).

Οι Lomax και McConnell (2003) ανέφεραν ότι μια προσπάθεια 200 m ελευθέρου, που αντιστοιχεί στο 90-95% του ρυθμού αγώνα, ήταν αρκετή για να προκαλέσει βαθιά εισπνευστική μυϊκή κόπωση και να μειώσει κατά 29% τη μετά την άσκηση $\dot{V}I_{max}$ σε λιγότερο από 2,7 λεπτά. Πράγματι, τα παραπάνω στοιχεία αποδεικνύουν ότι το κολύμπι παροτρύνει τους εισπνευστικούς μύες να δουλεύουν ακατάπαυστα κάτι που το καθιστά πιο απαιτητικό. Σύμφωνα με μελέτες σαν τις παραπάνω, η προπόνηση κολύμβησης έχει αποδειχθεί ότι προάγει βελτιώσεις στην αναπνευστική μυϊκή λειτουργία, υποστηρίζεται όμως ότι υπάρχουν και περιορισμοί που επιβάλλονται, προκαλώντας δυσχέρεια στο αναπνευστικό σύστημα. Όλα αυτά υπό παρόμοιες αν όχι δυσκολότερες συνθήκες από άλλα είδη άσκησης ή προπόνησης (Mickleborough et al., 2008).

Αναπνευστικοί μύες και μέγιστη άσκηση

Η πνευμονική λειτουργία αλλά και η μυϊκή δύναμη μπορεί να μειωθεί μετά την άσκηση σε υγιείς ανθρώπους. Οι αλλαγές των αναπνευστικών μυών δεν είναι πάντα ίδιες. Ως εκ τούτου, στη μελέτη των Coast και συν. (1999) μετρήθηκε η πνευμονική λειτουργία αλλά και η λειτουργία των αναπνευστικών μυών, μετά από μέγιστη άσκηση ή υπεραερισμό προσομοιωμένο με τον αερισμό που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της άσκησης. Φάνηκε ότι η άσκηση επηρεάζει την πνευμονική λειτουργία, ανεξάρτητα από την αναπνευστική μυϊκή εργασία που διεξάγεται (Coast et al., 1999). Κατά την έντονη άσκηση, όταν το επίπεδο των αναπνευστικών απαιτήσεων είναι τέτοιο περιορίζεται σοβαρά η εκπνευστική ροή, αφού το κόστος της αναπνοής σε οξυγόνο μπορεί να προσεγγίσει το 15% της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου. Θεωρητικά, το μεταβολικό κόστος της αναπνοής αποτελείται: από το κύριο αναπνευστικό σύστημα και από τη ρύθμιση-σταθεροποίηση των μυών του θωρακικού τοιχώματος, καθώς και από την ζήτηση για αιμάτωση των εμπλεκόμενων μυών. Θα μπορούσε ωστόσο, να περιοριστεί η ροή αίματος στους κινητικούς μύες και έτσι να περιοριστεί και το παραγόμενο έργο τους (Harms, Craig, Babcock, McClaran, Pegelow, Nickele, Nelson, & Dempsey, 1997).

Ωστόσο, η αναπνευστική εργασία η οποία πραγματοποιείται συνήθως κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης προκαλεί αγγειοσυστολή των κινητικών μυών, παράλληλα με ανάλογη αιμάτωση, των κινητικών μυών και αύξηση της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2) (Harms et al., 1997). Έτσι όπως προαναφέρθηκε, κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης, οι αναπνευστικοί μύες απαιτούν περίπου το 10% της VO_2 σε μέτρια προπονημένα άτομα, και έως 15% σε πολύ καλά προπονημένα άτομα (Aaron, Seow, Johnson & Dempsey, 1992). Είναι όμως απόλυτα, λογικό, απροπόνητα άτομα να είναι πιο επιρρεπή σε κόπωση των αναπνευστικών μυών σε σύγκριση με καλά προπονημένους αθλητές (Babcock, Pegelow, Johnson, Dempsey 1996; Johnson, Aaron, Babcock, & Dempsey, 1996; Romer, McConnell & Jones, 2002c). Ταυτόχρονα υποστηρίχθηκε ότι υπάρχει σημαντική κόπωση των εισπνευστικών μυών μετά από συνεχή άσκηση αντοχής, υψηλής έντασης (Romer et al., 2002c).

Οι Sheel, Derchak, Morgan, Pegelow, Jacques και Dempsey (2001), αναδεικνύουν ένα άλλο βασικό κεφάλαιο που αφορά τους αναπνευστικούς μυς, το αυτόνομο νευρικό σύστημα και τη ρύθμιση του καρδιαγγειακού συστήματος στον άνθρωπο. Νωρίτερα, είχε διαπιστωθεί ότι η χειραγώγηση του έργου της αναπνοής κατά τη μέγιστη άσκηση οδήγησε

σε μεγάλες αλλαγές στην ροή του αίματος στους κινητικούς μύες, την καρδιακή παροχή σε ολόκληρο το σώμα και στην ενεργή πρόσληψη οξυγόνου των άκρων (Harms et al., 1997; Harms, Wetter, McClaran, Pegelow, Nিকেle, Nelson, Hanson & Dempsey 1998). Συγκεκριμένα οι Harms και συν. (1998) εξέτασαν τις επιδράσεις των μεταβολών του έργου της αναπνοής στην καρδιακή παροχή (CO) κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης. Επίσης, καθόρισαν αξιοσημείωτο το μεταβολικό κόστος υποστήριξης των αναπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης, οι οποίοι απαιτούν 14 έως 16% της καρδιακής παροχής (Harms et al., 1998). Πράγματι, επιβεβαιώθηκε ότι η συμμετοχή του 14 έως 16% της καρδιακής παροχής στους αναπνευστικούς μύες κατά τη μέγιστη άσκηση, δείχνει ότι οι αθλητές υποβάλλονται σε εντατική αναπνευστική μυϊκή δραστηριότητα (Harms et al., 1998).

Η υψηλή ζήτηση των αναπνευστικών μυών για ροή αίματος συνυπάρχει με την αυξημένη ροή του αίματος στους κινητικούς μύες των άκρων λόγω ευνοϊκής μεσολάβησης της αγγειοσυστολής (Harms et al., 1997). Έτσι, όταν η αναπνοή μειώνεται κατά 50% υπάρχει ανάλογη αύξηση στη ροή του αίματος στα άκρα και την αγωγιμότητα των αγγείων (Harms et al., 1997). Αντίθετα όταν το έργο της αναπνοής αυξάνεται χρησιμοποιώντας εισπνευστικές αντιστάσεις, η ροή αίματος στα άκρα και η αγωγιμότητα των αγγείων πέφτει (Harms et al., 1997; Romer, Lovering, Haverkamp, Pegelow & Dempsey, 2006). Η παραπάνω σημαντική, αλλαγή στη ροή του αίματος στους κινητικούς μύες και η αγγειακή αγωγιμότητα κατά το υψηλό έργο της αναπνοής σχετίστηκε με αύξηση της νοραδρεναλίνης (νορεπινεφρίνης) η οποία διαχέεται, γεγονός που υποδηλώνει ενίσχυση της συμπαθητικής αγγειοσυστολής (Harms et al., 1997). Αυτές οι φυσιολογικές επιπτώσεις του έργου της αναπνοής έχουν σημαντικές συνέπειες, όπως αποδεικνύεται από την περίπου 15% βελτίωση της απόδοσης αντοχής μετά την αποφόρτιση των αναπνευστικών μυών (Harms et al., 2000).

Τα ευρήματα λοιπόν των Harms και συν. (1998) έδειξαν σημαντική επίδραση, στον όγκο παλμού και την καρδιακή παροχή κατά τη μέγιστη άσκηση σε υγιή, προπονημένα άτομα. Επίσης βρέθηκε ότι η μείωση του αναπνευστικού έργου κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης, προκάλεσε σημαντικές μειώσεις στην VO_2 και στις τιμές της καρδιακής παροχής, η οποίες οφείλονται κυρίως στη μείωση του όγκου παλμού και όχι στην αύξηση του αναπνευστικού έργου κατά τη μέγιστη άσκηση η οποία δεν επιδρά στις εκπομπές CO_2 ή στην VO_2 . Τα παραπάνω ευρήματα αποδεικνύουν ότι το έργο των αναπνευστικών μυών

υπό φυσιολογικές συνθήκες σε μέγιστη άσκηση ασκεί δύο είδη επιδράσεων στις καρδιαγγειακές προσαρμογές: 1) σημαντικό μέρος της καρδιακής παροχής (έως 14-16%) κατευθύνεται στους αναπνευστικούς μύες για να υποστηρίξει τις μεταβολικές τους απαιτήσεις και 2) η ροή του αίματος μειώνεται (ή αποσπάται) σε εργασίες των κινητικών μυών λόγω μεσολάβησης του συμπαθητικού συστήματος η οποία προκαλεί αντανακλαστικά αγγειοσυσπαση. Προφανώς, αυτή η μεταβολική ζήτηση των αναπνευστικών μυών, θα αφορά ένα σημαντικό μερίδιο της συνολικής καρδιακής παροχής. Επίσης αλλαγές στην πίεση μπορεί να προκαλέσουν επιπλέον μια αλλαγή του όγκου παλμού κατά τη διάρκεια της άσκησης (Harms et al., 1997). Έτσι η ροή του αίματος στα πόδια αυξάνεται με την μείωση του φορτίου (αποφόρτιση) των αναπνευστικών μυών και μειώθηκε με την αύξηση του φορτίου των αναπνευστικών μυών (φόρτωση) (Harms et al., 1997).

Ωστόσο, είναι άγνωστο όμως, αν υπάρχει και πόση, αλλαγή στην τοπική ροή αίματος στα πόδια, η οποία να οφείλεται στις ταυτόχρονες αλλαγές στα επίπεδα καρδιακής παροχής. Ομοίως, δεν είναι γνωστό αν αυτές οι αλλαγές στην τοπική ροή αίματος στα πόδια που προκαλούνται από ένα μεταβαλλόμενο αναπνευστικό έργο, μεταβάλουν το ποσοστό των συνολικών εκπομπών CO₂ που διανέμεται στους κινητικούς μύες κατά την άσκηση. Μέχρι πρόσφατα, οι πνευμονικοί περιορισμοί για τη μεταφορά οξυγόνου (έργο της αναπνοής) σε υγιή άτομα κατά τη διάρκεια υπομέγιστης και μέγιστης άσκησης δεν θεωρούνταν ότι επηρέαζαν την επίδοση (Sheel, Derchak, Pegelow & Dempsey, 2002). Ωστόσο, αποδείχθηκε ότι, ακόμη και σε υγιή άτομα, οι αναπνευστικοί περιορισμοί μπορεί να προκαλέσουν μείωση της μέγιστης απόδοσης (Aaron et al., 1992; Harms et al., 2000; Mador & Acevedo, 1991a; Mador & Acevedo, 1991b). Η αποτελεσματικότητα του αναπνευστικού συστήματος παρουσιάζει σημαντικούς περιορισμούς στην μέγιστη άσκηση λόγω των επιπτώσεων του αυξημένου ρυθμού της αναπνοής, λόγω κόπωσης των αναπνευστικών μυών και της δύσπνοιας Wells και συν. (2005). Αντίθετα σε άλλη έρευνα δεν υιοθετείται η άποψη ότι ο ρόλος είτε της εργασίας των εισπνευστικών μυών είτε της κόπωσης τους αυτής καθαυτής, επηρεάζουν την απόδοση σε σταδιακά μέγιστη άσκηση (Romer, Miller, Haverkamp, Pegelow & Dempsey, 2006). Κατά συνέπεια, δεν ενισχύεται το γεγονός ότι η απόδοση των εισπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια της σταδιακά μέγιστης άσκησης, συμβαδίζει με την γενική απόδοση στην άσκηση σε μέτρια

προπονημένα άτομα. Ενώ παραμένει άγνωστο αν οι εισπνευστικοί μύες περιορίζουν τη σταδιακά μέγιστη άσκηση σε πολύ καλά προπονημένα άτομα (Romer et al., 2006).

Αναπνευστική μυϊκή κόπωση και επίδραση στην άσκηση

Μυϊκή κόπωση μπορεί να οριστεί ως η ανικανότητα να διατηρηθεί η απαιτούμενη δύναμη ή αυτή που αναμένεται για τη συνέχιση των συστολών. Όταν παύει η άσκηση ή η ένταση της μειώνεται, ο μυς ανακάμπτει (Koulouris & Dimitrouli, 2001). Η μυϊκή κόπωση, είναι αναστρέψιμη περίπτωση, η ανάκαμψη όμως σε ορισμένες μορφές περιφερικής κόπωσης των μυών, μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε δευτερόλεπτα, αλλά μπορεί να είναι σταδιακή, με πλήρη ανάκτηση, μετά από ώρες. Άσκηση διάρκειας 5-10 λεπτών οδηγεί σε κόπωση των αναπνευστικών μυών σε φυσιολογικά άτομα. Ο σκοπός της μελέτης των Coast και συν. (1990) ήταν να διαπιστώσουν εάν υπήρχε απόκλιση των προσαρμογών της εισπνευστικής πίεσης κατά τη μέγιστη άσκηση σε εργοποδήλατο, σε προπονημένα και απροπόνητα άτομα. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στη μέγιστη άσκηση οι επιπτώσεις, της εισπνευστικής δυσλειτουργίας των μυών παρατηρούνται σε φυσιολογικά άτομα, αλλά όχι σε αθλητές υψηλού επιπέδου. Φαίνεται ότι η προπόνηση αντοχής προκαλεί μια προσαρμοστική αλλαγή των εισπνευστικών μυών προστατεύοντας τους από οξεία απώλεια δύναμης που παρατηρείται μετά την άσκηση σε φυσιολογικά άτομα (Coast et al., 1990).

Άλλες έρευνες δείχνουν ότι η $\dot{V}I_{max}$ αλλά και η δυναμική ζωτική χωρητικότητα μειώνονται μετά από μέγιστη άσκηση στο ποδήλατο, αλλά δεν μειώνονται μετά από μια δοκιμασία ελέγχου, ούτε σε μία δοκιμασία στην οποία το έργο της αναπνοή κατά τη διάρκεια της άσκησης ήταν όμοιο με αυτό της καθιστής θέσης (Coast et al., 1999). Οι παραπάνω ερευνητές προσθέτουν ότι πιθανά και άλλες πτυχές της άσκησης εκτός από το έργο της αναπνοής είναι λογικό να προκαλέσουν αναπνευστική μυϊκή κόπωση μετά την άσκηση. Οι πιθανές εξηγήσεις μπορεί να είναι οι κυκλοφορούντες μεταβολίτες, η αναδιανομή της διαθέσιμης ροής του αίματος, η μηχανική σύνδεση, η μειωμένη πνευμονική λειτουργία και η κόπωση των αναπνευστικών μυών (Coast et al., 1999). Αναλογικά με τους μυς των άκρων, η κόπωση που μπορεί να αναπτυχθεί στους αναπνευστικούς μύες, συμβάλει στην υπερκαπνία αλλά και στην αναπνευστική ανεπάρκεια. Σε αντίθεση με τους μυς των άκρων οι απαιτήσεις από αυτούς είναι αυξημένες, ιδιαίτερα οι εισπνευστικοί υπόκεινται σε μεγάλα φορτία με κάθε ανάσα για

παρατεταμένες χρονικές περιόδους με μικρή ευκαιρία για ξεκούραση. Υπό αυτές τις συνθήκες, φαίνεται πιθανό ότι οι αναπνευστικοί μύες, ιδιαίτερα οι εισπνευστικοί, μπορεί να υποστούν εύκολα κόπωση και να επιταχύνουν ή να εντείνουν την αναπνευστική ανεπάρκεια (Koulouris & Dimitroulis, 2001). Βέβαια, έρευνα για την επίδραση των αναπνευστικών μυών σε ανενεργά άτομα έδειξε ότι οι αναπνευστικοί μύες μπορεί να επανακτήσουν, άμεσα το 8-45% της δύναμής τους (Spengler, Roos, Laube, & Boutellier 1999). Σε αθλητές όμως, η υψηλής έντασης άσκηση αντοχής για ολόκληρο το σώμα, προκαλεί κόπωση των αναπνευστικών μυών (διαφραγματική κόπωση) (Johnson et al., 1993; Mador et al., 1993). Το μέγεθος της διαφραγματικής κόπωσης κατά την άσκηση αυξάνεται όταν η VO_2max κυμαίνεται τουλάχιστον στο 80% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου και πάνω από 85% της VO_2max και με σταθερό φορτίο άσκησης (Johnson, et al., 1993; Mador, Magalang, Rodis & Kufel, 1993).

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις θεωρείται πιθανό ότι αυτές οι επιπτώσεις στην κόπωση των άκρων οφείλονται σε αντίστοιχες επιπτώσεις της άσκησης των αναπνευστικών μυών, σχετικά με την αντοχή των αγγείων και τη ροή του αίματος στα άκρα. Επιπλέον, υποστηρίχθηκε ότι οι σημαντικές επιπτώσεις της εργασίας των αναπνευστικών μυών, στις επιδόσεις κατά την άσκηση οφείλονται σε μεγάλο μέρος στην άμεση επίδραση της περιφερειακής κόπωσης. Περιορίζεται έτσι η παραγωγή μυϊκής δύναμης, σαν απάντηση σε ένα δεδομένο μηχανικό ερέθισμα μέσω της επίδρασης της ανατροφοδότησης, για την αύξηση των αισθητηριακών ερεθισμάτων στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Romer et al., 2006). Σε επόμενη έρευνα οι St Croix και συν. (2000), διαπίστωσαν ότι η άσκηση αντοχής και ο παρατεταμένος κύκλος αναπνοής είχε σαν αποτέλεσμα την αναπνευστική μυϊκή κόπωση, ενώ αναφέρθηκε επίσης η αύξηση της δραστηριότητας του συμπαθητικού νεύρου των μυών στα πόδια, που ήταν ανεξάρτητη της κεντρικής παροχής του αναπνευστικού συστήματος, υποδηλώνοντας έτσι την προέλευση του αντανακλαστικού. Επιπλέον, η χρονική φύση της προσαρμογής (αύξηση της δραστηριότητας του συμπαθητικού νεύρου των μυών) παρέμεινε αμετάβλητη κατά τα αρχικά 1-2 λεπτά της κόπωσης αλλά στη συνέχεια αυξήθηκε σταδιακά, ήταν χαρακτηριστικό του βραδύτερα αναπτυσσόμενου *metaboreflex* (μεταβολικού αντανακλαστικού) των μυών, και του χημικού αντανακλαστικού (*chemoreflex*), αντί για μια ώθηση (*mechanoreflex*- μηχανικό αντανακλαστικό) από την ανάπτυξη δύναμης, (η

οποία αναμένεται να προκαλέσει διέγερση του συμπαθητικού νεύρου κατά την έναρξη των συστολών).

Έτσι, οι προηγούμενες παρατηρήσεις (St Croix et al., 2000), παρέχουν πειστικές αποδείξεις για την ύπαρξη ενός μεταβολικού αντανακλαστικού, του οποίου η προέλευσή είναι στους αναπνευστικούς μύες και διαμορφώνεται μέσω διέγερσης του συμπαθητικού συστήματος-νεύρου και αγγειοσυσπαστική προσαρμογή-αγγειοσυστολής στους νευρώνες. Παράλληλα συμβαδίζει με την μειωμένη αιμάτωση των μυών των άκρων, αφού οι Sheel και συν. (2001, 2002) απέδειξαν ότι το μεταβολικό αντανακλαστικό μειώνει τη ροή του αίματος στους περιφερικούς μύες και στην ηρεμία μετά από μέγιστη άσκηση. Έτσι περιορίζεται η ικανότητά παραγωγής έργου κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης. Αυτό το αντανακλαστικό μπορεί να έχει ως πρωταρχικό στόχο την προστατευμένη παράδοση του οξυγόνου στους αναπνευστικούς μύες και την εξασφάλιση της δυνατότητας να διατηρήσει τον πνευμονικό αερισμό, τη σωστή ρύθμιση των αερίων του αρτηριακού αίματος και του pH αλλά και τη συνολική ομοιόσταση του οργανισμού (Seals, 2001).

Όταν όμως οι εισπνευστικοί μύες ασκούνται με μερικώς μειωμένο φορτίο, ο χρόνος εμφάνισης της εξάντλησης, κατά τη διάρκεια σταθερής έντασης-φορτίου άσκησης αυξάνεται σημαντικά και η διαφραγματική κόπωση εμποδίζεται (Harms et al., 2000). Επιπρόσθετα, οι ίδιοι ερευνητές Harms και συν. (2000) έδειξαν ότι ο χρόνος έως το όριο εμφάνισης της κόπωσης κατά την μέγιστη άσκηση με ποδήλατο είναι αντιστρόφως ανάλογος με το ισχύον επίπεδο εργασίας των εισπνευστικών μυών. Ακόμη πιο πρόσφατα, οι Romer και συν. (2006) επεκτείνανε τις παραπάνω παρατηρήσεις, αποδεικνύοντας ότι το μέγεθος της κόπωσης των μυών των άκρων που αλλάζει από την κόπωση κατά την άσκηση, είναι επίσης αντιστρόφως ανάλογο με το ισχύον επίπεδο εργασίας των εισπνευστικών μυών. Αυτές οι μελέτες δείχνουν ότι το έργο των αναπνευστικών μυών είναι ικανό να επηρεάσει την αντοχή στην άσκηση και αυτό είναι πιθανό να επηρεάζει και την απόδοση των άκρων.

Κόπωση ορίζεται η απώλεια της ικανότητας να αναπτύξει ισχύ ή / και ταχύτητα σαν απάντηση σε ένα φορτίο, η οποία ανατρέπεται με την ξεκούραση. Ως πρώτη προσέγγιση, η κόπωση των αναπνευστικών μυών μπορεί να οριστεί ως αδυναμία να συνεχίσουν να παράγουν επαρκή πίεση για τη διατήρηση του κυψελιδικού αερισμού. Η κούραση, όμως διακρίνεται και από τη μείωση της παραγωγής ισχύος, η οποία, όμως δεν είναι αναστρέψιμη με την ξεκούραση, αν και η μυϊκή αδυναμία μπορεί να είναι μια προδιάθεση

για την κόπωση των μυών. Η κόπωση των αναπνευστικών μυών γίνεται αντιληπτή με την αίσθηση δύσπνοιας. Η δύσπνοια περιορίζει την ικανότητα ενός ατόμου να συνεχίσει να ασκείται με την απαιτούμενη ένταση. Όλοι οι παράγοντες που περιορίζουν τις επιδόσεις άσκησης είναι άκρως σημαντικοί στην κολύμβηση σε υψηλό επίπεδο αφού είναι και οι ίδιες οι απαιτήσεις του περιοριστικές και υψηλές. Η αίσθηση δύσπνοιας που προκλήθηκε κατά τη διάρκεια έντονης διαλειμματικής άσκησης μέχρι εξάντλησης, σε ενεργά άτομα φάνηκε να παίζει ρόλο στον περιορισμό της διατήρησης της άσκησης (Tong, Fu & Chow 2001a; Tong, Fu, Chow, Quach & Lu 2003a; Tong, Fu, Quach & Lu, 2004). Σημειώθηκε επίσης ότι, η ένταση της αίσθησης δύσπνοιας κατά τη διάρκεια της άσκησης ήταν ανάλογη με το μέγεθος της παραγωγής δύναμης των εισπνευστικών μυών σε σχέση με τη μέγιστη δυναμική που αναγκάζει τους μυς να χρησιμοποιούν τη δύναμη αυτή (Tong et al., 2004).

Η σχετική συμβολή του διαφράγματος στη συνολική αναπνευστική απόδοση μειώνεται σταδιακά, με τη διάρκεια άσκησης. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η σημαντική διαφραγματική κόπωση, προκαλείται από τις αναπνευστικές απαιτήσεις που επιβάλλονται μετά από άσκηση αντοχής, ή υψηλής έντασης, σε άτομα με ποικιλία επιπέδων φυσικής κατάστασης, επηρεάζοντας την απόδοση. Υπάρχουν όμως αρκετές αιτίες για τις παρατηρήσεις που αναφέρονται. Υπάρχουν πολλές μορφές άσκησης και επομένως διαφορετικοί παράγοντες μπορεί να περιορίσουν την άσκηση. Ανάμεσα στους παράγοντες που περιορίζουν την άσκηση, είναι η διαθεσιμότητα και ο κύκλος εργασιών του οξυγόνου. Η μεταφορά οξυγόνου από την ατμόσφαιρα στα μιτοχόνδρια των σκελετικών μυών περιλαμβάνει την αναπνοή, την κυκλοφορία, τα ερυθροκύτταρα, την καρδιά και τους σκελετικούς μυς. Μεταξύ αυτών, η αναπνοή είναι γενική υπόθεση ότι είναι σημαντική στον περιορισμό της παραγωγής άσκησης, διότι φαίνεται να υπάρχει μεν απόθεμα, αλλά μπορεί να μην είναι αρκετό.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα, η βιβλιογραφία ήταν σχεδόν ομόφωνη στην αναφορά ότι η αναπνοή δεν περιορίζει τη μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου (VO_2max) σε φυσιολογικά άτομα (Dempsey et al., 1996; Di Prampero & Ferretti 1990) εκτός από καλά προπονημένους αθλητές αντοχής, των οποίων ο κορεσμός οξυγόνου του αίματος πέφτει κατά τη διάρκεια της άσκησης σημαντικά (Boutellier & Piwko 1992). Ωστόσο, οι καταπονημένοι αναπνευστικοί μύες με τη σειρά τους μειώνουν την απόδοση στην άσκηση (Mador & Acevedo, 1991a; Mador & Acevedo, 1991b; Mador et al., 1993; Spengler et al., 1999), γεγονός που επιβεβαιώνεται από τη μικρότερη διάρκεια της άσκησης μετά την

πρόκληση της κόπωσης σε σχέση πάντα με τις προσπάθειες ελέγχου. Κατέληξαν έτσι στο συμπέρασμα, πως μετά από αγώνισμα αντοχής, η συνολική εισπνευστική κόπωση των μυών συνεπάγεται και μειωμένη αναπνευστική λειτουργία και απόδοση, ενώ χρειάζονται πολλές ώρες για την πλήρη αποκατάσταση (Spengler et al., 1999). Ταυτόχρονα, φαίνεται σε συνδυασμό και με παραπάνω αναφορές, ότι η σχετική ένταση των αναπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια της άσκησης συμβάλει και στην περιφερειακή κόπωση στα πόδια, μέσω του μεταβολικού αντανακλαστικού που αναφέρθηκε νωρίτερα. Ενώ τα αποτελέσματά των Ross, Middleton, Shave, George & McConnell (2008) επιβεβαιώνουν ότι η παρατεταμένη μέτριας έντασης άσκηση προκαλεί αναπνευστική μυϊκή κόπωση, η οποία συμβάλει στην περιφερειακή κόπωση στα πόδια, και στη μείωση της απόδοσης, αφού μεταβάλλει τους όρους της αναπνοής κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Παράλληλα σε άλλη έρευνα (Mador & Acevedo, 1991a; Mador & Acevedo, 1991b) η αναπνοή κατά τη διάρκεια της άσκησης, λόγω των μεταβολών στον τρόπο αναπνοής, μεταβλήθηκε και ήταν ταχεία και ρηχή, αμέσως μετά την άσκηση και κατά την ανάκαμψη, μετά την πρόκληση της κόπωσης. Οι Ross και συν. (2008) κατά τη διάρκεια της άσκησης και μετά την πρόκληση της κόπωσης παρατήρησαν ταχύπνοια και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πρόκληση της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης μπορεί να επηρεάσει τη μεταγενέστερη προσπάθεια σε υψηλής έντασης άσκηση κάτι που επιβεβαιώνει την προηγούμενη αναφορά.

Νωρίτερα, οι Roussos και Zakynthinos (1996) υποστήριξαν ότι οι εισπνευστικοί μύες, αν υπόκεινται σε υψηλά φορτία για επαρκές χρονικό διάστημα θα υποστούν τελικά κόπωση. Η κόπωση αυτή μετέπειτα, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην υπερκαπνική αναπνευστική ανεπάρκεια. Επιπλέον, η πρόκληση της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης αύξησε την αναπνευστική ανταπόκριση κατά την άσκηση και άλλαξε το μοτίβο της αναπνοής, προκαλώντας επίσης ταχύπνοια και αναπτύσσοντας το αίσθημα της αναπνευστικής κόπωσης για μια δεδομένη διάρκεια άσκησης. Έτσι η μείωση στην απόδοση κατά την άσκηση μετά την πρόκληση της κόπωσης μπορεί να οφείλεται σε αύξηση της αίσθησης της αναπνευστικής προσπάθειας κατά τη διάρκεια της άσκησης η οποία απορρέει από την αυξημένη αναπνευστική απόκριση (Mador & Acevedo, 1991a; Mador & Acevedo, 1991b).

Όλα τα παραπάνω αφορούσαν τους εισπνευστικούς μύες, ενώ οι Haverkamp, Metelits, Hartnett, Olsson και Coast (2001) ασχολήθηκαν με την υπόθεση ότι η εκπνευστική μυϊκή κόπωση μεταβάλλει την πνευμονική λειτουργία και ορισμένους δείκτες της. Τα

αποτελέσματα τους δείχνουν ότι η εκπνευστική μυϊκή κόπωση που αναπτύχθηκε μόνη της κατά την άσκηση, δεν μεταβάλλει την πνευμονική λειτουργία. Ωστόσο, τυχόν αλληλεπιδράσεις μεταξύ εκπνευστικής μυϊκής κόπωσης και άλλων συνεπειών της άσκησης μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία των πνευμόνων (Haverkamp et al., 2001). Έτσι προέκυψε και η πρόταση ότι η συνολική κόπωση των αναπνευστικών μυών, η οποία μπορεί να εμφανιστεί παράλληλα με τον περιορισμό της ικανότητας για βίαιη απομάκρυνση του συνόλου των αερίων από τους πνεύμονες. Συνεπώς η μείωση της δυναμικής ζωτικής χωρητικότητας μετά την άσκηση είναι λόγω του εκπνευστικού, παρά του εισπνευστικού περιορισμού, όπως φαίνεται από την αύξηση του υπολειπόμενου όγκου που παρατηρείται συχνά μετά την άσκηση. Ως εκ τούτου, αν η κόπωση των αναπνευστικών μυών συμβάλλει στη μείωση της δυναμικής ζωτικής χωρητικότητας μετά την άσκηση, η εκπνευστική μυϊκή κόπωση διαδραματίζει σημαντικότερο ρόλο σε αυτή από την εισπνευστική μυϊκή κόπωση.

Αναπνευστική κόπωση και φύλο

Η ασκησιογενής αναπνευστική κόπωση των μυών, παρατηρείται σε άνδρες (Babcock et al., 1996; Boussana, Galy, Hue, Matecki, Varray, Ramonatxo & Le Gallais, 2003; Coast et al., 1990; Johnson et al., 1993; McConnell, Caine, & Sharpe, 1997; Volianitis et al., 1999), αλλά υπάρχουν ελάχιστες αναφορές για γυναίκες (Coast et al., 1999; Volianitis et al., 2001a; Volianitis, McConnell, Koutedakis & Jones, 2001b; Ozkaplan, Rhodes, Sheel, Taunton, 2005). Η κόπωση των κινητικών μυών φέρεται να είναι διαφορετική μεταξύ των δύο φύλων και τα στοιχεία δείχνουν ότι οι γυναίκες σημειώνουν μεγαλύτερη αντίσταση στην κόπωση (Ozkaplan et al., 2005). Ωστόσο οι περισσότερες μελέτες που παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην κόπωση σε γυναίκες χρησιμοποίησαν υπομέγιστης έντασης συστολή για πρόκληση της κόπωσης. Ενώ οι διαφορές ποικίλλουν, ανάλογα με την ομάδα μυών που μελετήθηκαν, μόνο μία μελέτη έχει επικεντρωθεί ειδικά στους μυς της αναπνοής (Gonzales, Williams, Scheuermann & James, 2003). Επίσης οι λίγες μελέτες, που έχουν συμπεριλάβει τις γυναίκες, δεν αναλύουν αποτελέσματα όσον αφορά τη σύγκριση των δύο φύλων (Coast et al., 1999; Volianitis et al., 2001).

Δεν είναι γνωστό εάν η ισότητα των φύλων υπάρχει και για την εισπνευστική μυϊκή δύναμη, κατά την έντονη άσκηση, όπως αυτή που παρατηρείται στους υπόλοιπους μύες. Συνεπώς, η σχέση μεταξύ κόπωσης και της επακόλουθης ανάκτησης της P_Imax μετά από

άσκηση στη μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου, εξετάστηκε σε μια ομάδα μέτρια προπονημένων ανδρών και γυναικών (Ozkarlan, et al., 2005). Στα αποτελέσματα φάνηκε ότι οι άνδρες είχαν υψηλότερες απόλυτες τιμές P_Imax από τις γυναίκες σε όλα τα χρονικά διαστήματα. Αμέσως μετά την άσκηση, η P_Imax ήταν σημαντικά μειωμένη στα δύο φύλα σε σχέση με τις τιμές αναφοράς, αλλά οι τιμές της χειροδυναμομέτρησης δεν ήταν διαφορετικές από τις αρχικές. Οι τιμές P_Imax παρέμειναν σε χαμηλά επίπεδα για τους άντρες και τις γυναίκες σε όλα τα 15 λεπτά. Οι διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών δεν ήταν στατιστικά σημαντικές σε οποιαδήποτε στιγμή της μέτρησης. Συμπεράναν λοιπόν ότι η ασκησιογενής εισπνευστική κόπωση, παρατηρήθηκε αμέσως μετά το τέλος της μέγιστης άσκησης, με το ίδιο μοτίβο αποκατάστασης και στα δύο φύλα (Ozkarlan, et al., 2005).

Κόπωση αναπνευστικών μυών στην κολύμβηση

Ανεξάρτητα από το φύλο, οι συνέπειες της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης μέχρι σήμερα έχουν αξιολογηθεί κατά κύριο λόγο σε χερσαίες δραστηριότητες, όπου η κόπωση έχει αποδειχθεί ότι μειώνει σημαντικά τη διάρκεια της άσκησης (Mador & Acevedo, 1991a; Mador & Acevedo, 1991b; McConnell & Lomax, 2006), τον αναπνεόμενο όγκο, και αυξάνει τη συχνότητα αναπνοής και τη δύσπνοια (Mador & Acevedo, 1991a; Mador & Acevedo, 1991b). Η εισπνευστική μυϊκή κόπωση είναι καλά τεκμηριωμένη μετά από μια σειρά δραστηριοτήτων (Griffiths & McConnell, 2007; McConnell et al., 1997; Romer, McConnell & Jones, 2002a; McConnell & Jones, 2002b; Ross, et al., 2008), ωστόσο λίγες μελέτες έχουν ασχοληθεί με την κολύμβηση. Υπάρχουν αναφορές ότι η εισπνευστική μυϊκή κόπωση μεγέθους 11-27% μετά από μόλις 2,7 έως 4,9 λεπτά υψηλής έντασης ελευθέρου (Lomax & McConnell, 2003; Thomaidis et al., 2009), εμφανίζεται ταχύτερα από εκείνη που αναφέρεται στη βιβλιογραφία σε άλλα αθλήματα. Ενώ ήταν γνωστό όμως ότι η εισπνευστική μυϊκή κόπωση, μπορεί να επέλθει σε διάστημα μέχρι 6 λεπτά κατά την άσκηση υψηλής έντασης και αυθόρμητης αναπνοής (Volianitis et al. 2001). Οι Lomax και McConnell (2003) προσπάθησαν να καθορίσουν εάν προκαλείται αναπνευστική μυϊκή κόπωση κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης κολύμβησης και εάν η εισπνευστική μυϊκή δύναμη διαφέρει μεταξύ της ύπτιας και όρθιας θέσης. Φάνηκε ότι μια προσπάθεια 200 m, ελεύθερο στο 90-95% του ρυθμού αγώνα ήταν αρκετή για να προκαλέσει αναπνευστική μυϊκή κόπωση σε λιγότερο από 2,7 λεπτά. Επιπλέον, παρά την

αύξηση του μήκους του διαφράγματος στην ύπτια θέση, η εισπνευστική μυϊκή δύναμη ήταν μεγαλύτερη σε ύπτια παρά σε όρθια θέση.

Η κόπωση των εισπνευστικών μυών ωστόσο έχει παρατηρηθεί σε άλλο χρονικό σημείο, μετά από μικρής διάρκειας (6 λεπτά), υψηλής έντασης κωπηλασία (Volianitis et al., 2001) και μετά τις προσομοιωμένες δοκιμές ποδηλασίας 20 και 40 χλμ (30-60 λεπτά) (Romer et al., 2002a; Romer et al., 2002b). Παραδόξως, στο κολύμπι η μείωση στην δύναμη των εισπνευστικών μυών και την εισπνευστική πίεση παρατηρείται μετά τα 300 m στο ελεύθερο (Thomaidis, et al., 2009), κάτι που δεν προκαλεί έκπληξη, διότι εκτελείται στο υδάτινο περιβάλλον. Η βύθιση αυξάνει την υδροστατική πίεση γύρω από το στήθος, η οποία ωθεί το τοίχος του θώρακα προς τα μέσα, όταν είναι πιο χαλαροί οι εισπνευστικοί μύες (Lomax & McConnell, 2003). Όπως η υδροστατική πίεση εξουδετερώνει την εισπνευστική μυϊκή δύναμη και παραμορφώνει το θωρακικό τοίχωμα, είναι λογικό να υποτεθεί ότι το έργο που επιτελείται από τους εισπνευστικούς μυς πρέπει να αυξηθεί για την αντιμετώπιση αυτών των παραγόντων (Lomax & McConnell, 2003). Επιπλέον, η βύθιση αναγκάζει τον κολυμβητή να συντονίσει την αναπνοή και τη μηχανική της κολύμβησης. Κολυμπώντας, η αναπνευστική συχνότητα τείνει να είναι χαμηλότερη και ο αναπνεόμενος όγκος υψηλότερος. Έτσι ο αέρας παραμένει στους πνεύμονες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και μια ανώτερη θέση στο νερό επιτυγχάνεται και η πλευστότητα αυξάνεται. Αυτό βελτιώνει την μηχανική στο κολύμπι και πιθανά μειώνει την αντίσταση (Lomax & McConnell, 2003). Ωστόσο, ο υψηλότερος αναπνεόμενος όγκος προκαλεί επέκταση στον τελικό αποθεματικό εισπνεόμενο όγκο και η εισπνοή, καθώς το πρόσωπο αφήνει το νερό γίνεται συντομότερη, όπως και κατά την ταχύπνοια μετά την κόπωση, με τους μύες να λειτουργούν γρηγορότερα και με υψηλότερες απαιτήσεις. Δεδομένου ότι η αναπνοή που υιοθετούν οι κολυμβητές τους θέτει σε λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες, οι καμπύλες δύναμης-ταχύτητας και μήκους-τάσης είναι με την αναπνοή αυτή, πιο ευαίσθητες στην κόπωση η οποία επέρχεται νωρίτερα και αναγκάζει τους μύες, να δουλεύουν σε άλλη συχνότητα (Lomax & McConnell, 2003).

Μετέπειτα, σκοπός της μελέτης των Lomax και Castle (2011) ήταν η αξιολόγηση της επίδρασης της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης σε σχέση με τις ληφθείσες αναπνοές, τη συχνότητα αναπνοής, το συνολικό αριθμό χεριών, τη συχνότητα χεριάς, αλλά και το μήκος χεριάς, μετά από σταθερής έντασης κολύμβησης ελεύθερου. Από τα δεδομένα προέκυψε ότι η αύξηση στις συνολικά ληφθείσες αναπνοές και τις αναπνοές ανά λεπτό, υπό την

εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης, εν μέρει, οφείλονται στην προσπάθεια μείωσης της δύσπνοιας. Κατά συνέπεια, μειώθηκαν το μήκος χεριάς και η συχνότητα χεριάς αλλά αυξήθηκε ο αριθμός χεριών, παρά την εμφανή μεταβλητότητα των προσαρμογών στη συχνότητα χεριάς και τον αριθμό χεριάς. Ωστόσο, όσο ένας αριθμός συγκεκριμένων μυών στρατολογούνται κατά τη διάρκεια βαθιάς εισπνοής στο ελεύθερο, η πιθανότητα συντονισμού με το βραχίονα άλλαζε. Έτσι αντισταθμιστικά η μειωμένη ικανότητα παραγωγής δύναμης ανά χεριά δεν πρέπει να παραβλέπεται. Η P_Imax, μειώθηκε κατά 17%, σαν προσαρμογή μετά την εισπνευστική μυϊκή κόπωση, αλλά παρέμεινε αμετάβλητη μετά το κολύμπι. Σε σύγκριση με τις τιμές ελέγχου, οι συνολικές αναπνοές, οι αναπνοές ανά λεπτό, ο συνολικός αριθμός χεριών και η συχνότητα χεριάς αυξήθηκαν, ενώ το μήκος χεριάς μόνο μειώθηκε, μετά την εισπνευστική μυϊκή κόπωση. Εν κατακλείδι, ήταν η πρώτη έρευνα (Lomax & Castle, 2011) που απέδειξε επίδραση της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης στις συνολικές ληφθείσες αναπνοές και τις αναπνοές ανά λεπτό, στον αριθμό των χεριών και στη συχνότητα χεριάς, μειώνοντας το μήκος χεριάς μετά από 200 m σταθερής ταχύτητας ελευθέρου. Αυξήθηκαν οι αναπνοές ανά λεπτό, αυξάνοντας το μήκος χεριάς, με την τελευταία να είναι υπεύθυνη για σχεδόν όλη την αύξηση της συχνότητας χεριάς. Είναι επίσης πιθανό ότι η συχνότητα και το μήκος χεριάς επηρεάστηκαν από την κόπωση των εισπνευστικών μυών υποβάλλοντας τους κολυμβητές σε αναγκαστικές και βαθιές εισπνοές.

Με την αύξηση της εισπνευστικής μυϊκής δύναμης, η πίεση που αναπτύσσεται κατά την αναπνοή εκφράζεται ως κλάσμα της μέγιστης πίεσης, με αποτέλεσμα να μειωθεί (η πίεση) και το αίσθημα δύσπνοιας, άρα και η τάση στην κόπωση (Roussos & Zakynthinos, 1996). Η ειδική προπόνηση των αναπνευστικών μυών, όπως και άλλων σκελετικών μυών, ενισχύει τη δύναμη και την αντοχή τους. Σε υγιή νεαρά άτομα, δύο μορφές προπόνησης αναπνευστικού συστήματος έχουν χρησιμοποιηθεί: (α) εθελοντική ισοκαπνική υπέρπνοια (Boutellier et al., 1992; Boutellier & Piwko, 1992; Spengler et al., 1999; McMahon, Boutellier, Smith & Spengler, 2002) και (β) προπόνησης αντίστασης εισπνευστικών μυών (Volianitis et al., 2001b; Romer et al., 2002a; Romer et al., 2002; Edwards & Cooke, 2004; Gething, Passfield & Davies, 2004a; Gething, Williams & Davies, 2004b).

Η πρώτη είναι μια προπονητική προσέγγιση αντοχής που περιλαμβάνει τόσο τους εισπνευστικούς όσο και τους εκπνευστικούς μύες, ενώ η δεύτερη ακολουθεί τις αρχές της προπόνησης αντίστασης και περιορίζεται κατά κύριο λόγο στους εισπνευστικούς μύες. Και

οι δύο τεχνικές οδηγούν σε παρόμοιες φυσιολογικές αλλαγές μετά την προπόνηση (McConnell & Romer, 2004), συνεπώς ο/οι μηχανισμός/οι για τη βελτίωση της απόδοσης είναι ανεξάρτητος/οι των προπονητικών ερεθισμάτων. Οι μελέτες για την επίδραση της προπόνησης των εισπνευστικών μυών σε μορφές άσκησης, σε υγιή άτομα έχουν αποδειχθεί αντικρουόμενες (Inbar, Weiner, Azgad, Rotstein & Weinstein, 2000; Volianitis et al., 2001; McConnell & Romer, 2004). Οι παρατηρήσεις των Inbar και συν. (2000) και η έρευνα των Markov Spengler, Knöpfli-Lenzin, Stuessi & Boutellier (2001) δείχνουν ότι η προπόνηση εισπνευστικών μυών δεν επέφερε αλλαγές στο μέγιστο όγκο αναπνοής ή την καρδιακή παροχή. Οι Wells και συν. (2005) ανέφεραν τη μειωμένη αποτελεσματικότητα του αναπνευστικού συστήματος και ανικανότητα του σώματος για άσκηση, λόγω του αυξημένου ρυθμού της αναπνοής, ενώ επεσήμαναν επίσης ότι η επίδραση της προπόνησης των αναπνευστικών μυών στην απόδοση είναι αμφιλεγόμενη.

Αν και η βελτιωμένη καρδιοπνευμονική λειτουργία συνήθως συνδέεται με τη βελτιωμένη απόδοση σε κατάλληλα σχεδιασμένες δοκιμασίες της καρδιοαναπνευστικής ικανότητας, αρκετές φορές έχουν μετρήσει τη μέγιστη αερόβια ικανότητα (VO_2max) μετά από προπόνηση εισπνευστικών μυών, αλλά δεν έχουν αναφέρει σημαντικές βελτιώσεις (Inbar et al., 2000; Markov et al., 2001; Spengler et al., 1999). Υπάρχουν όμως και μελέτες που δεν επιβεβαίωσαν βελτιώσεις ούτε στην απόδοση, ή σημείωσαν σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα κάτι που πιθανά οφείλεται σε διαφορές στο είδος άσκησης που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση επιδόσεων, στη σχετική ένταση άσκησης και στη διάρκεια της άσκησης που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή. Ταυτόχρονα οι διαφορές στο σχεδιασμό της έρευνας και η καταλληλότητα των συμμετεχόντων είναι επίσης υψίστης σημασίας όπως επιβεβαιώνουν και οι Romer και συν. (2002a).

Είναι ευρύτερη διαπίστωση, ότι η εισπνευστική προπόνηση τροποποιεί τη δομή και τη λειτουργία των εισπνευστικών μυών (Harms, et al., 2000; Edwards & Cooke, 2004) και είναι παρέμβαση που βοηθάει στην αντιμετώπιση των περιορισμών της απόδοσης (Wells et al., 2005). Οι Martin Heintzelman και Chen (1982) έδειξαν ότι η αναπνευστική προπόνηση αποσκοπεί, στην καλύτερη μεταφορά οξυγόνου στους μύες πριν την άσκηση αντοχής και σε βραχυπρόθεσμα μέγιστη άσκηση. Η μεταφορά οξυγόνου μειώνει την εισπνευστική λειτουργία, την απόδοση και την πρόσληψη οξυγόνου όταν γίνεται χωρίς προηγούμενη άσκηση αναπνοής. Επίσης οι Boutellier και Piwko (1992) εντόπισαν το αναπνευστικό σύστημα ως περιοριστικό παράγοντα της άσκησης σε υγιή αθλητές.

άτομα. Αναπνευστικά απροπόνητα άτομα εκτέλεσαν άσκηση σταθερά υπομέγιστης έντασης (64% VO_2 peak), αυξάνοντας τον αερισμό συνεχώς μέχρι εξάντλησης. Η αναπνευστική προπόνηση κατήργησε τον υπεραερισμό και παρέτεινε την αντοχή της αναπνοής κατά 50% (Boutellier & Piwko, 1992).

Ωστόσο, ένας καθορισμένος ρόλος της προπόνησης των εισπνευστικών μυών δεν είχε ακόμη καθιερωθεί μέχρι πριν μερικά χρόνια, παραμένοντας λιγότερο σαφές κατά πόσον αυτή η μορφή προπόνησης έχει εργογενή επίδραση στην απόδοση αντοχής (Inbar et al., 2000; Volianitis et al., 2001; McConnell & Romer, 2004). Αρκετές έρευνες μέτρησαν τη μέγιστη αερόβια ικανότητα (VO_2max) και την υπομέγιστη δυναμική οξυγόνου (κινητική της VO_2) σαν μεμονωμένες προσαρμογές προπόνησης των εισπνευστικών μυών, αλλά δεν βρήκαν καρδιαγγειακές βελτιώσεις (Edwards & Cooke, 2004; Markov et al., 2001; Spengler et al., 1999). Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, αφού το καρδιαγγειακό φορτίο της προπόνησης των εισπνευστικών μυών είναι ελάχιστο. Βέβαια, σημαντικές βελτιώσεις προκάλεσε η αναπνευστική προπόνηση στην κωπηλασία, την ποδηλασία (Volianitis et al., 2001; Johnson, Sharpe & Brown, 2007) τον εργοδιάδρομο και το τρέξιμο (Edwards & Cooke, 2004) αν και η αιτία των εν λόγω βελτιώσεων παρέμενε ασαφής (McConnell & Romer, 2004).

Βελτιώσεις στην απόδοση μετά από προπόνηση αναπνευστικών μυών

Οι περισσότερες προσαρμογές της πίεσης, της ροής και της ισχύος εκφράζονται πλήρως μετά την έκτη εβδομάδα της προπόνησης αναπνευστικών μυών. Η απότομη διακοπή της οποίας είχε ως αποτέλεσμα μικρές αλλά σημαντικές μειώσεις στην λειτουργία των εισπνευστικών μυών, σε σχέση με τις αρχικές τιμές. Οι προσαρμογές που είχαν αποκτηθεί από την προπόνηση του αναπνευστικού συστήματος, χάθηκαν εντελώς μετά από 18 μήνες. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι η προπόνηση στο αναπνευστικό σύστημα ήταν μια άσκηση, με σκοπό τον περιορισμό παραγόντων που μειώνουν την απόδοση, κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής αντοχής σε υγιή απροπόνητα άτομα (Boutellier & Piwko, 1992). Λίγες μελέτες διεξήχθησαν για να διαπιστωθεί η ανταπόκριση των εισπνευστικών μυών στις αρχές της προπονητικής, αλλά λογικά υποτίθεται ότι ισχύει κάτι τέτοιο Romer και McConnell (2003).

Οι πιθανοί περιορισμοί του αναπνευστικού συστήματος και οι επιπτώσεις τους στην απόδοση οδήγησαν στη διερεύνηση της χρησιμότητας της προπόνησης των

αναπνευστικών μυών, για την ενίσχυση τους ως μέσο βελτίωσης της απόδοσης. Ωστόσο, ενώ έρευνες έδειξαν ότι η συμπληρωματική προπόνηση μπορεί να αυξήσει τη δύναμη και την αντοχή των αναπνευστικών μυών (Sheel et al., 2002), ερευνητική διαμάχη υπάρχει για το αν τα αποτελέσματα μπορεί να επιφέρουν αλλαγές και στις επιδόσεις. Αυτό αναδεικνύεται από το γεγονός, ότι η εισπνευστική ροή είναι ανάλογη της ταχύτητας βράχυνσης των μυών και η εισπνευστική πίεση, όμως είναι ανάλογη της παραγωγής δύναμης. Ως εκ τούτου, η προπόνηση υψηλής έντασης και ισχύος, με υψηλά φορτία αντίστασης και φορτία υψηλής ροής αυξάνει την P_Imax και τα ποσοστά μέγιστης εισπνευστικής ροής (Tzelepis, Vega, Cohen, Fulambarker, Patel & McCool, 1994; Romer & McConnell, 2003). Επίσης είναι τεκμηριωμένη η βελτίωση της απόδοσης μετά από συμπληρωματική προπόνηση εισπνευστικών μυών, σε απροπόνητους και προπονημένους αθλητές, σε ένα ευρύ φάσμα αθλημάτων αντοχής, (Edwards & Cooke, 2004; Gething et al., 2004; Sheel et al., 2002) (Spengler et al., 1999; Markov et al., 2001; Edwards Wells & Butterly, 2008; Griffiths & McConnell, 2007; Johnson, Sharpe & Brown, 2007; Romer et al., 2002a; Volianitis et al., 2001) σε μικρότερης διάρκειας υψηλής έντασης δοκιμές (Volianitis et al., 2001) καθώς και σε επαναλαμβανόμενα σπριντ (Romer et al., 2002b; Tong, Fu, Chung, Eston, Lu, Quach, Nie & So, 2008). Φαίνεται πιθανό ότι η βελτίωση της αντίληψης της προσπάθειας, είναι ζωτικής σημασίας για τις αλλαγές στις επιδόσεις, στις δοκιμές χρονομέτρησης και ότι η εισπνευστική προπόνηση μπορεί να επιδρά θετικά, επηρεάζοντας συνειδητά την αίσθηση της κόπωσης.

Πιο συγκεκριμένα σε υγιή άτομα η εισπνευστική προπόνηση αντοχής συνδέεται με βελτιώσεις στην ικανότητα αντοχής σε ολόκληρο το σώμα (Boutellier et al., 1992; Boutellier & Piwko, 1992; Spengler et al., 1999), σε μικρής διάρκειας και υψηλής έντασης προσπάθειες, αλλά και σε μικρής διάρκειας μετρήσεις απόδοσης (Volianitis et al., 2001; Markov et al., 2001; Romer et al., 2002). Διαπιστώθηκε ότι μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια σταθερής έντασης ποδηλασίας σε απροπόνητους αθλητές κατά 50% (Boutellier & Piwko, 1992) και σε προπονημένους κατά 38% (Boutellier et al., 1992). Γεγονός που ενίσχυσαν οι Verges, Lenherr, Haner, Schulz και Spengler (2007) αναφέροντας, ότι η προπόνηση αντοχής αναπνευστικών μυών μειώνει την κόπωση τους κατά την άσκηση υψηλής έντασης, αλλαγή όμως που δεν φαίνεται να βελτιώνει την αντοχή στην ποδηλασία. Έδειξαν επίσης ότι η προπόνηση αντοχής των αναπνευστικών μυών, μειώνει την αντίληψη των δυσμενών αισθήσεων του αναπνευστικού, μετά από εξαντλητική άσκηση, σταθερού

φορτίου, ούτε αυτές οι αλλαγές, δεν μεταφράζονται όμως σε βελτίωση των επιδόσεων στην άσκηση. Ωστόσο άλλες έρευνες συνδέουν, τα οφέλη στην απόδοση με την ειδική προπόνηση των εισπνευστικών μυών σε προπονημένους ποδηλάτες (Romer et al., 2002a; Romer et al., 2002c). Βέβαια, δεν είναι επιβεβαιωμένος, ο μηχανισμός μέσω του οποίου η προπόνηση αντοχής των αναπνευστικών μυών παρατείνει τη διάρκεια της άσκησης σταθερής έντασης. Άλλα στοιχεία δείχνουν ότι η ειδική προπόνηση εισπνευστικών μυών στο κατώφλι της εισπνευστικής πίεσης, μειώνει την κόπωση των αναπνευστικών μυών μετά από 6 λεπτά κωπηλασίας μέγιστης έντασης σε προπονημένες ποδηλάτριες (Volianitis et al., 2001). Συγκεκριμένα η αναπνευστική μυϊκή κόπωση προκαλείται μετά από έντονη ποδηλασία σε προπονημένους αθλητές, αλλά η ένταση της είναι εξασθενημένη μετά από την ειδική προπόνηση, όπως και το έργο της αναπνοής (Romer et al., 2002c).

Αρκετές μελέτες επίσης, έχουν αναφέρει ότι η μείωση του έργου της αναπνοής οδηγεί σε σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή στην άσκηση, κάτι που συνδέεται με καλύτερο ποσοστό πρόσληψης οξυγόνου (VO_2), καλύτερη αναπνευστική λειτουργία και μειωμένη υποκειμενική αντίληψη της αναπνευστικής κόπωσης και δυσφορία των άκρων (Harms et al., 1998; Harms et al., 2000). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το έργο της αναπνοής συνήθως ανακύπτει κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης, η οποία επιδρά σημαντικά στην επίδοση, πιθανά λόγω της διαφραγματικής κόπωσης ή υψηλότερης διανομής της ροής του αίματος προς τους μυς που εργάζονται αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα του αναπνευστικού (Harms et al., 1997; Johnson et al., 1993; Mador et al., 1993). Η λειτουργική εξασθένηση και η κόπωση, είναι παράγοντες που αυξάνουν την ένταση της δύσπνοιας, ενώ παράγοντες που βελτιώνουν τις συσταλτικές ιδιότητες των αναπνευστικών μυών, όπως η προπόνησης των αναπνευστικών μυών έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν την ένταση της δύσπνοιας (McConnell & Romer, 2004). Παράλληλα η μείωση της έντασης της αίσθησης αναπνευστικής προσπάθειας (κατά τη διάρκεια άσκησης και αναπνοής σε συγκεκριμένο φορτίο), έχει παρατηρηθεί μετά από προπόνηση αναπνευστικών μυών McConnell και Romer (2004). Δεδομένο που οδήγησε τις McConnell και Romer (2004) να συμπεράνουν ότι η αναπνευστική προπόνηση μειώνει τη δύσπνοια, καθώς και ότι αυτό συμβαίνει πιθανά μέσω της μείωσης του επιπέδου των μηχανικών εκροών. Πράγματι, στατιστικά σημαντική ήταν η μείωση στις αντιληπτές προσαρμογές της αναπνευστικής προσπάθειας κατά τη διάρκεια σταδιακά μέγιστης κωπηλασίας (Volianitis et al., 2001) και ποδηλασίας, (Romer, et al., 2002a) αλλά και σε σταθερής έντασης τρέξιμο στο διάδρομο στο όριο της ανοχής

(85 % της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, VO_{2max}) έχουν αναφερθεί μετά την εισπνευστική προπόνηση.

Αιτίες βελτίωσης της απόδοσης μετά από αναπνευστική προπόνηση

Δύο διαδικασίες περιορισμού της κόπωσης των εισπνευστικών μυών, είναι η αναπνευστική προθέρμανση και η αναπνευστική προπόνηση. Μια τακτική προπόνησης αναπνευστικών μυών είναι η προπόνηση-προθέρμανση (McConnell & Romer, 2004). Μετά από μια τέτοια προπόνηση η εισπνευστική κόπωση είναι χαμηλότερη όταν η διάρκεια της αναπνευστικής προσπάθειας είναι παρόμοια με τη διάρκεια της άσκησης. Το ίδιο μειώνεται η κόπωση όταν η απόλυτη ένταση της αναπνευστικής προσπάθειας είναι όμοια με εκείνη της άσκησης (Volianitis et al., 2001b), ή όταν χρησιμοποιείται προθέρμανση-προενεργοποίηση εισπνευστικών μυών (McConnell & Lomax, 2006), ή όταν η αναπνευστικές παράμετροι είναι σύμφωνες με τη διάρκεια της δοκιμής χρονομέτρησης (Romer, McConnell & Jones, 2002C).

Η αναπνευστική προπόνηση προάγει βελτιώσεις στην άσκηση σε υγιή νεαρά άτομα (McConnell & Romer, 2004). Αρκετοί μηχανισμοί προτάθηκαν ως εξηγήσεις στις παραπάνω βελτιώσεις της απόδοσης και περιλαμβάνουν: καθυστέρηση της κόπωσης εισπνευστικών μυών (Mador et al., 1993; Johnson et al., 1993), ανακατανομή της ροής του αίματος από τους εισπνευστικούς μύες στους κινητικούς (McConnell & Romer, 2004), μείωση της αντίληψης της αναπνευστικής δυσφορίας και μείωση στην αντίληψη της περιφερικής, σωματικής κόπωσης κατά την άσκηση μέχρι εξάντλησης (Volianitis et al., 2001; Romer et al., 2002a; Romer et al., 2002b). Επίσης διαπιστώθηκε ότι οι εισπνευστικοί μύες μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο τη ροή του αίματος (αυξημένη αρτηριακή συγκέντρωση γαλακτικού οξέος) κατά τη μέγιστη άσκηση λόγω αυξημένου αναπνευστικού κόστους (Harms et al. 1997).

Η πιο πιθανή εξήγηση για την προπόνηση των εισπνευστικών μυών και τις βελτιώσεις που προκαλεί στην απόδοση, βρίσκεται πιθανότατα στη μειωμένη αίσθηση προσπάθειας και κόπωσης (Volianitis et al. 2001; Romer et al., 2002a; Romer, et al., 2002b). Είναι επομένως έκπληξη το γεγονός ότι τα πειραματικά μοντέλα που εξετάζουν τις επιπτώσεις της προπόνησης των εισπνευστικών μυών, το κάνουν μεμονωμένα, αντί να την χρησιμοποιούν ως πρόσθετη ενίσχυση για έναν καρδιαγγειακό πρόγραμμα. Σκοπός των Edwards και Cooke (2004) ήταν να διαπιστωθεί αν 4 εβδομάδες προπόνησης

εισπνευστικών μυών συνοδεύεται από αλλαγή στην καρδιοαναπνευστική δραστηριότητα όπως εκτιμάται, μέσω μέτριας έντασης πρόσληψης οξυγόνου και από την κινητική της μέγιστης αερόβιας ικανότητας. Συμπέραναν, ότι αυξήθηκε ο χρόνος άσκησης, κατά την άσκηση σταθερής έντασης (Edwards & Cooke, 2004; McConnell & Lomax, 2006), το ίδιο προέκυψε και κατά το τρέξιμο μέχρι εξάντλησης (Tong et al., 2008). Κατά συνέπεια, οι παραπάνω πρότειναν να συμπεριληφθεί η συμπληρωματική προπόνηση σε ένα πρόγραμμα που μπορεί να αλλάξει θετικά την αντίληψη της προσπάθειας στην προπονητική περίοδο και ως εκ τούτου αυξάνουν τον όγκο και την ποιότητα των εργασιών που επιτυγχάνονται, ενισχύοντας την απόδοση αντοχής.

Εν συνεχεία, στόχος της έρευνας των Edwards, Wells και Butterly (2008) ήταν να εξεταστεί κατά πόσον η προπόνηση εισπνευστικών μυών είναι μια χρήσιμη πρόσθετη τεχνική με την οποία αυξάνονται οι καρδιαγγειακές προπονητικές προσαρμογές. Βρήκαν, έτσι ότι η προσθήκη προπόνησης εισπνευστικών μυών, σε καρδιαγγειακά προγράμματα προπόνησης βελτιώνει τις επιδόσεις στα 5000m, αλλά δεν ασκεί καμία επιρροή στην $\dot{V}O_{2max}$ σε σύγκριση με την καρδιαγγειακή προπόνηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προσθήκη της προπόνησης εισπνευστικών μυών προκαλεί μείωση στην αντίληψη της προσπάθειας και της υποκειμενικής κόπωσης σε υψηλά ποσοστά αερισμού (Edwards et al., 2008).

Παράλληλα η σημαντικότερη απειλή στις περισσότερες μελέτες (Boutellier & Piwko, 1992; Boutellier et al., 1992; Spengler et al., 1999; Markov et al., 2001) που έχουν ασχοληθεί με την προπόνηση των αναπνευστικών μυών, ήταν ότι έχουν αξιολογήσει αποτελέσματα, σχεδόν χωρίς εξαίρεση, χρησιμοποιώντας ως χρόνο έως την κόπωση ένα σταθερό ποσοστό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($\dot{V}O_{2max}$). Φάνηκε όμως, ότι αρκετές από τις προηγούμενες μελέτες απέτυχαν να χρησιμοποιήσουν προσεκτικά ομάδες ελέγχου στο σχεδιασμό τους (Boutellier & Piwko, 1992; Boutellier et al., 1992; Spengler et al., 1999). Οι ομάδες ελέγχου που χρησιμοποίησαν, δεν ήταν στην πραγματικότητα ομάδες ελέγχου αλλά πειραματικές ομάδες με διαφορετικά στοιχεία άσκησης (ένταση-διάρκεια) και οι σχεδιασμοί δεν παρουσιάστηκαν στους συμμετέχοντες ως διπλή-τυφή διαδικασία (Inbar et al., 2000; Markov et al., 2001; Sonetti, Wetter, Pegelow, Dempsey 2001; Volianitis et al., 2001). Έτσι οι Romer και συν. (2002a), λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη προσπάθησαν να προσδιορίσουν τις επιδράσεις της ειδικής εισπνευστικής προπόνησης, στην απόδοση αντοχής σε προπονημένους ποδηλάτες χρησιμοποιώντας

διπλά-τυφλή και ελεγχόμενη διαδικασία. Προσπάθησαν να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα της προπόνησης των εισπνευστικών μυών σε δύο διαφορετικές εντάσεις άσκησης χρησιμοποιώντας σχετικά έγκυρες και αξιόπιστες μετρήσεις απόδοσης. Φάνηκε λοιπόν ότι μετά την προπόνηση το σημείο εμφάνισης της κόπωσης επεκτάθηκε σημαντικά στην πειραματική ομάδα και στην ομάδα ελέγχου, με την πειραματική ομάδα να βελτιώνεται περισσότερο. Συμπεράναν ότι, η πιο πιθανή εξήγηση για τη σταθερότητα στην κινητική της VO_2 και στην VO_{2max} μετά την προπόνηση εισπνευστικών μυών, είναι η ανεπαρκής καταπόνηση ολόκληρου του σώματος για να αποσπάσει κεντρικές και περιφερικές καρδιοπνευμονικές προσαρμογές. Η επέκταση του σημείου εμφάνισης της κόπωσης δείχνει ότι η προπόνηση εισπνευστικών μυών είναι χρήσιμη στην άσκηση αντοχής με υψηλά φορτία αναπνοής, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την καρδιοπνευμονική ικανότητα.

Είναι επομένως, αναμενόμενο ότι η εισπνευστική προπόνηση δεν παρέχει από μόνη της άμεσο καρδιοαναπνευστικό όφελος. Ωστόσο, η διαφραγματική κόπωση μπορεί να έχει κάποιο περιοριστικό ρόλο στη μέγιστη και με σταθερό φορτίο άσκηση. Κατά συνέπεια, η προπόνηση εισπνευστικών μυών θα μπορούσε να είναι ένα χρήσιμο τέχνασμα για την βελτίωση της αντοχής σε υψηλά αναπνευστικά φορτία, τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να βελτιώσουν την καρδιοπνευμονική λειτουργία. Μια άλλη, πιθανότητα είναι η μείωση του γαλακτικού που συσσωρεύεται στο αίμα κατά την άσκηση, η οποία παρατηρείται μετά την προπόνηση του αναπνευστικού συστήματος. Παρά το γεγονός ότι σημαντικός περιορισμός στην αύξηση της συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα παρατηρήθηκε σε απροπόνητα άτομα (Boutellier & Piwko 1992), σε προπονημένα όμως οι διαφορές δεν ήταν σημαντικές. Όταν, όμως η ένταση άσκησης (Romer et al., 2002b) και οι απαιτήσεις στην υπέρπνοια (Brown, Sharpe & Johnson, 2008) είναι καθορισμένες, το γαλακτικό μειώνεται μετά την προπόνηση. Ως εκ τούτου, δεν εκπλήσσει το ότι η αναπνευστική προπόνηση αντοχής παρατείνει την έντονη αλλά σταθερής έντασης άσκηση ποδηλασίας.

Οι Spengler και συν. (1999) υπέθεσαν ότι η μείωση της συγκέντρωσης γαλακτικού πιθανά προκαλείται από τη βελτιωμένη χρήση του γαλακτικού σε καλά προπονημένους αναπνευστικούς μύες. Ωστόσο, οι μειωμένες συγκεντρώσεις γαλακτικού κατά την άσκηση είναι απίθανο να εξηγούν τη βελτιωμένη απόδοση στην ποδηλασία μετά από αναπνευστική προπόνηση αντοχής. Για να εξηγήσουν τις μειωμένες συγκεντρώσεις

γαλακτικού μετά την προπόνηση του αναπνευστικού, προτείνουν δύο πιθανούς μηχανισμούς:

- Κατά την εργασία οι μύες παράγουν λιγότερο γαλακτικό λόγω μείωσης στη συνολική ζήτηση ενέργειας των προπονημένων αναπνευστικών μυών
- Οι προπονημένοι αναπνευστικοί μύες χρησιμοποιούν περισσότερο ως καύσιμο το γαλακτικό για τη δική τους δραστηριότητα.

Έτσι η προπόνηση αντοχής των αναπνευστικών μυών επιδρά σημαντικά στην παρατεταμένη σταθερής έντασης άσκησης μειώνοντας τη συγκέντρωση του γαλακτικού κατά την άσκηση. Οι μειωμένη συγκέντρωση γαλακτικού πιθανότατα προκαλείται από τη βελτίωση στην απορρόφηση του γαλακτικού από τους αναπνευστικούς μύες.

Προπόνηση αναπνευστικών μυών και επίδραση στο μεταβολικό αντανακλαστικό

Υπάρχουν επίσης ενδείξεις, ότι η ειδική εισπνευστική προπόνηση βελτιώνει την αντοχή σε υγιείς νέους, μέσω κατάργησης ή καθυστέρησης του μεταβολικού αντανακλαστικού των εισπνευστικών μυών (McConnell & Romer, 2004). Ενώ και άλλη έρευνα των McConnell, και Lomax, (2006) επιβεβαίωσε το γεγονός ότι μετά από 4 εβδομάδες εισπνευστικής προπόνησης, με την ίδια απόλυτη ένταση, με αυτήν της άσκησης πελματιαίας κάμψης, το χρονικό σημείο του τερματισμού, της άσκησης και εμφάνισης της κόπωσης ήταν αρκετά μεγαλύτερο. Είναι η πρώτη απόδειξη ότι το αντανακλαστικό εισπνευστικών μυών που επιταχύνει το ρυθμό της κόπωσης κατά την πελματιαία κάμψη, μειώνεται, μετά την προπόνηση εισπνευστικών μυών. Τα παραπάνω είναι σε συνάφεια, με προηγούμενες αναφορές που διατύπωσαν, ότι όταν αυξάνεται η εργασία των εισπνευστικών μυών κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης επιδεινώνεται η περιφερειακή κόπωσης (Romer et al., 2005).

Από την έρευνα των McConnell και Griffiths (2010), προέκυψε μια γραμμικά αντίστροφη σχέση μεταξύ του μεγέθους του εισπνευστικού φορτίου και του ορίου αντοχής στο κατώφλι της εισπνευστικής πίεσης, ενώ υπήρχε μεγάλη ατομική διακύμανση. Χρησιμοποιήθηκε φορτίο που αντιστοιχούσε στο 62,5% της P_Imax. Το πιο σημαντικό ήταν ότι η παραπάνω σχέση πίεσης-όγκου των εισπνευστικών μυών, άσκησε ισχυρή επιρροή στον αναπνεόμενο όγκο κατά τη διάρκεια προπόνησης των εισπνευστικών μυών, που αντίστοιχα επέδρασε στις προσαρμογές των εισπνευστικών μυών. Ωστόσο οι προσαρμογές ήταν, εντονότερες σε φορτία 60% της P_Imax και άνω, κάτι που επηρεάζει

την λειτουργικότητα των εισπνευστικών μυών σε υψηλές εντάσεις και πιθανά προκαλεί κόπωση (McConnell & Griffiths, 2010). Το metaboreflex προκαλείται από αυξήσεις στους δείκτες αρτηριακής πίεσης, ήταν εμφανές στα πρώτα 60s της άσκησης στο κατώφλι φόρτισης και στο 60% της P_Imax. Γεγονός που μπορεί επίσης να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα των εισπνευστικών μυών (McConnell & Griffiths, 2010).

Προπόνηση αναπνευστικών μυών σε κολυμβητές

Η κολυμβητική προπόνηση μόνο δεν αυξάνει τη δύναμη και την αντοχή των αναπνευστικών μυών και δεν βελτιώνει την πνευμονική λειτουργία και διάχυση σε ελίτ κολυμβητές μετά από μια περίοδο προπόνησης 12 εβδομάδων (Mickleborough et al. 2008). Ωστόσο, σημαντικές αυξήσεις παρατηρήθηκαν σε μεταβλητές αναπνευστικής και πνευμονικής λειτουργίας μετά από 12 εβδομάδες προπόνησης εισπνευστικών μυών. Μεταβλητές όπως η μέγιστη εισπνευστική και εκπνευστική πίεση, η εισπνευστική ισχύς, η βίαιη ζωτική χωρητικότητα, ο εκπνεόμενος και ο εισπνεόμενος όγκος σε 1s, η συνολική χωρητικότητα των πνευμόνων και η ικανότητα διάχυσης του πνεύμονα. Αποδείχθηκε, ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην αναπνευστική λειτουργία, σε ελίτ κολυμβητές που υποβάλλονται σε αγωνιστικό πρόγραμμα κολυμβητικής προπόνησης και εκείνων που υποβάλλονται επιπλέον σε αναπνευστική προπόνηση (Mickleborough et al. 2008). Ομοίως, οι Wells και συν. (2005) νωρίτερα, απέδειξαν ότι σε έφηβους κολυμβητές, 12 εβδομάδες κολυμβητικής προπόνησης ήταν εξίσου αποτελεσματικές με την συνδυασμένη κολυμβητική και αναπνευστική προπόνηση. Βελτίωσαν την αντοχή της αναπνοής τους, την εισπνευστική δύναμη κατά 70% οι γυναίκες και κατά 71% οι άνδρες και την εκπνευστική δύναμη κατά 66% οι γυναίκες και 68% οι άντρες. Ταυτόχρονη εισπνευστική και εκπνευστική προπόνηση, βελτίωσε σημαντικά την δυναμική πνευμονική λειτουργία στην πειραματική ομάδα. Σημαντικές βελτιώσεις στην πνευμονική λειτουργία, στην αναπνευστική δύναμη-ισχύ και σε άλλες μεταβλητές παρατηρήθηκαν επίσης, ενώ υπήρχε μια τάση προς βελτίωση της κολυμβητικής ταχύτητας μετά από 12 εβδομάδες προπόνησης. Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι παρά τα αποτελέσματα της κολυμβητικής προπόνησης, στην εξασθένηση της αναπνευστικής απόκρισης, την υπερκαπνία, τη βελτίωση στην πνευμονική λειτουργία και τη διατήρηση της ισχύος της αναπνοής, η συμπληρωματική αναπνευστική προπόνηση δεν επέδρασε επιπλέον εκτός από τις μεταβλητές της δυναμικής πνευμονικής λειτουργίας (Wells et al., 2005).

Μέγιστη εισπνευστική πίεση και εισπνευστική προπόνηση

Εισπνευστική προπόνηση στο 50-60% της P_Imax, βελτιώνει την εισπνευστική δύναμη, ισχύ και αντοχή (Romer & McConnell, 2003). Οι αλλαγές στην εισπνευστική δύναμη μετά την προπόνηση εισπνευστικών μυών αντιπροσωπεύουν το 64% και το 42% της διακύμανσης της αναπνευστικής προσπάθειας (Romer et al., 2002b). Από την άλλη η προπόνηση εισπνευστικών μυών με πίεση στο κατώφλι φόρτισης βελτιώνει την ικανότητα παραγωγής μέγιστης πίεσης των εισπνευστικών μυών κατά 25% (Inbar et al., 2000) και 45% (Volianitis et al., 2001). Οι αυξήσεις στη P_Imax συνοδεύονται από αυξήσεις στη μέγιστη ταχύτητα βράχυνσης των αναπνευστικών μυών (μέγιστη εισπνευστική ροή) κατά 20% (Romer et al., 2002a; Romer & McConnell, 2003). Οι Tzelepis και συν. (1994) συμπέραναν, ότι η προπόνηση πίεσης και ροής του εισπνευστικού συστήματος, που προσαρμόζεται ειδικά στη δύναμη και την ταχύτητα είναι παρόμοια με την προπόνηση των περιφερειακών μυών. Αυτή η ιδιαιτερότητα αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων για την αύξηση της εισπνευστικής μυϊκής δύναμης. Παρείχαν επίσης στοιχεία ότι η μέγιστη τιμή ανάπτυξης της πίεσης αυξάνεται, με υψηλής πίεσης και υψηλής ροής προπόνηση (Tzelepis et al., 1994).

Η P_Imax, ήταν 26% υψηλότερη, σε σύγκριση με την αρχική τιμή μετά από 4 εβδομάδες της εισπνευστικής προπόνησης και βελτιώθηκε περαιτέρω 3,3% μετά τη συνδυασμένη αναπνευστική προπόνηση (εισπνευστική και εκπνευστική) καταλήγοντας στο 30% σε σχέση με την αρχική τιμή (Griffiths & McConnell 2007). Ενώ, η βελτίωση της P_Imax, δείχνει ότι η προπόνηση εισπνευστικών μυών ενισχύει την δύναμη τους (Romer et al. 2002a). Ωστόσο, η μέση εισπνευστική πίεση αυξήθηκε σημαντικά στην πειραματική ομάδα 14,5± 6,8% μετά την προπόνηση, αλλά δεν σχετίστηκε σημαντικά με αλλαγές στην επίδοση (Edwards, Wells & Butterly, 2008). Η μελέτη των Ross και συν. (2007) έχει δείξει ότι μια περίοδος οξείας εισπνευστικής φόρτισης προκαλεί αύξηση της P_Imax. Επιπλέον, η οξεία περίοδος της εισπνευστικής φόρτισης των μυών μπορεί να λειτουργήσει ως «προϋπόθεση» για πληρέστερη ενεργοποίηση των μυών του διαφράγματος κατά τη μέγιστη εισπνευστική προσπάθεια.

Προθέρμανση

Με τον όρο προθέρμανση εννοείται η ελαφριά μυϊκή προσπάθεια που προετοιμάζει το νευρομυϊκό σύστημα για την εντονότερη μυϊκή άσκηση που ακολουθεί. Η επίδραση της, καθώς και η αναγκαιότητα αυτής πριν από μία αγωνιστική ή προπονητική δραστηριότητα, ήταν για χρόνια, αμφιλεγόμενη. Ωστόσο στις μέρες μας είναι πλέον γεγονός αποδεδειγμένο, από πληθώρα επιστημονικών ερευνών, (Bishop, 2003; Sale, 2004; Tomaras & MacIntosh, 2011; Arnett, 2002; Takizawa & Ishii, 2006) ότι οι ευεργετικές συνέπειες της προθέρμανσης σε όλα ανεξαιρέτως τα αθλήματα, είναι πάρα πολλές. Δεδομένο που καθιστά την εφαρμογή της πριν από οποιαδήποτε δραστηριότητα, κάτι παραπάνω από επιτακτική. Εκτελείται στην αρχή προπονητικών προγραμμάτων, ή πριν τον αγώνα και αποτελεί βασικό στοιχείο για το σχεδιασμό τους, ενώ χωρίζεται στη γενική και την ειδική προθέρμανση (Bishop, 2003).

Γενική και Ειδική προθέρμανση

Η γενική προθέρμανση, αυξάνει την κυκλοφορία του αίματος προς το μυϊκό σύστημα, αυξάνοντας συγχρόνως και τη θερμοκρασία του σώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με ασκήσεις που κινητοποιούν μεγάλες μυϊκές ομάδες και ασκήσεις χαμηλής έντασης. Προετοιμάζει το μυϊκό σύστημα για τη συγκεκριμένη επιβάρυνση που θα ακολουθήσει. Πρόκειται δηλαδή, για ήπιες κινήσεις που προθερμαίνουν γενικά όλους τους μύες, όμοιες με τις ασκήσεις που θα επιβαρύνουν στη συνέχεια το μυϊκό σύστημα. Κινητοποιούνται μεγάλες μυϊκές ομάδες, συγκεντρώνοντας μεγάλες ποσότητες αίματος σε αυτές. Η ειδική προθέρμανση περιλαμβάνει κινήσεις συναφείς με αυτές που θα γίνουν στο κυρίως πρόγραμμα, στοχεύοντας στην καλύτερη προετοιμασία της περιοχής εκείνης, που πρόκειται να επιβαρυνθεί περισσότερο μετά. Η πρακτική απέδειξε ότι η γενική προθέρμανση πρέπει να προηγείται της ειδικής. Αν και η προθέρμανση, είναι κοινή πρακτική, με αρκετά οφέλη, λίγα είναι γνωστά για τη βέλτιστη προετοιμασία για δεδομένη προπονητική ή αγωνιστική διαδικασία (Bishop, 2003).

Ποια είναι τα σημαντικότερα οφέλη

- Σωματική και ψυχολογική προετοιμασία για την επιβάρυνση που ακολουθεί.
- Αύξηση του μεταβολισμού και της θερμοκρασίας του σώματος.
- Αύξηση της κυκλοφορίας του αίματος, και κατ' επέκταση της καρδιακής παροχής.

- Αύξηση της συστολικής πίεσης, ωθώντας περισσότερο αίμα από την καρδιά, ενώ η διαστολική φυσιολογικά παραμένει η ίδια ή πέφτει.
- Μειώνονται οι πιθανότητες τραυματισμών των μυών και των μαλακών μοριών.
- Βελτιώνεται η ελαστικότητα των μυών, των συνδέσμων και των τενόντων.
- Αποφεύγονται οι αρρυθμίες και η καρδιά ανταπεξέρχεται καλύτερα και προοδευτικά.
- Αύξηση της αιμάτωσης των μυών.
- Σταδιακή αύξηση της καρδιακής συχνότητας, μεταφέροντας πιο γρήγορα οξυγόνο στους ιστούς.
- Αύξηση της ταχύτητας διάδοσης των νευρικών ώσεων μειώνοντας τη μυϊκή ένταση.
- Ηπιότερη έκκριση, καλύτερη χρησιμοποίηση και ελάττωση του συνολικά παραγόμενου γαλακτικού οξέος (Bishop, 2003).

Κατά συνέπεια, η προθέρμανση βελτιώνει την επίδοση ενώ η διάρκεια και η ένταση της επηρεάζει την αερόβια απόδοση. Προηγούμενες μελέτες ανέφεραν τη βελτίωση της απόδοσης και τη θετική επίδραση της προθέρμανσης (Bishop, 2003b). Οι κύριες βελτιώσεις στην απόδοση, περιλαμβάνουν μείωση της αντίστασης των ενεργών μυών, τη μεγαλύτερη απελευθέρωση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη στους ιστούς, τη ταχύτητα απόκρισης του μεταβολισμού και την αυξημένη νευρική αγωγιμότητα (Bishop, 2003a). Η ένταση της προθέρμανσης, επίσης, έχει διερευνηθεί αναφέροντας ότι υπήρξε μικρή διαφορά μεταξύ των επιδόσεων με χαμηλή ένταση προθέρμανσης και χωρίς προθέρμανση. Θεωρείται ότι η χαμηλή ένταση δεν προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος δεν θα βελτιώσει τις επιδόσεις, αφού η βελτίωση των επιδόσεων συσχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος (Takizawa & Ishii, 2006; Tomaras & MacIntosh, 2011). Ο Bishop και συν. (2001) διερεύνησαν την προθέρμανση στο αερόβιο κατώφλι, το αναερόβιο κατώφλι και το όριο μεταξύ αερόβιου και αναερόβιου κατωφλίου για 15 λεπτά, αντίστοιχα, πριν από τα τεστ επιδόσεων. Ανέφεραν ότι η προθέρμανση πολύ υψηλής έντασης μπορεί να προκαλέσει κόπωση λόγω του γαλακτικού και να μειώσει την απόδοση της άσκησης σε σύγκριση με τις επιδόσεις με μέσης έντασης προθέρμανση. Οι Takizawa και Ishii (2006), εξήγαγαν το συμπέρασμα ότι η προθέρμανση μπορεί να βελτιώσει την απόδοση, με ένταση στο 50% του γαλακτικού κατωφλίου, μέχρι την έναρξη της συσσώρευσης γαλακτικού οξέος στο αίμα, ίσο με το συνολικό φορτίο

άσκησης και με δεδομένη την άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος. Ενώ από τα αποτελέσματα των Tomaras και MacIntosh (2011) φάνηκε ότι η μικρότερη προθέρμανση και χαμηλότερης έντασης βελτιώνει την απόδοση, δεδομένης της σημαντικά καλύτερης απόδοσης στο Wingate τεστ. Η μεγάλης διάρκειας και έντασης προθέρμανση οδηγεί σε σημαντική κόπωση, η οποία αντίστοιχα μειώνει την μέγιστη ισχύ. Επίσης και η έρευνα των Mitchell και Huston (1993), διεξήχθη για να προσδιοριστεί η επίδραση της έντασης της προθέρμανσης στις φυσιολογικές προσαρμογές, στη συσσώρευση γαλακτικού και στην απόδοση στο κολύμπι αλλά και στην απόδοση στην προσδεμένη κολύμβηση.

Έτσι μεταβάλλοντας την ένταση της προθέρμανσης φάνηκε να αυξάνεται το γαλακτικό οξύ, αλλά όχι τόσο που να επηρεάζει την απόδοση. Επιπλέον, φαίνεται να μην υπάρχει καμία διαφορά αυξάνοντας την ένταση, της ειδικής προθέρμανσης, στην απόδοση σε σύγκριση με χαμηλής έντασης γενικής προθέρμανσης ή με την απόδοση χωρίς προθέρμανση. Εν κατακλείδι, πρέπει να σημειωθεί, ότι υπήρχαν κάποιες φυσιολογικές αλλαγές, που εμφανίζονται με την υψηλής έντασης προθέρμανση που δεν ήταν παρούσες κατά την άσκηση μετά από χαμηλής έντασης προθέρμανση ή κατά την άσκηση χωρίς να προηγηθεί προθέρμανση. Ωστόσο υπάρχει μικρή σχέση μεταξύ αυτών των μεταβολών και των επιδόσεων. Επίσης φαίνεται ότι όπως βελτιώνεται η μικρής διάρκειας και υψηλής έντασης απόδοση, δεν υπάρχει ανάγκη για ειδική προθέρμανση πριν την άσκηση. Καταλήγοντας ότι, παρόλο που δεν υπήρχε σχέση μεταξύ της απόδοσης και των επιπέδων γαλακτικού πριν την άσκηση, βάση προηγούμενων ερευνών και την έλλειψη βελτιωμένης απόδοσης μετά από προθέρμανση υψηλής έντασης, θα ήταν σκόπιμο να αποφευχθεί η προθέρμανση ρουτίνας με υψηλή ένταση, που οδηγεί σε μεγάλη συσσώρευση γαλακτικού (Mitchell & Huston, 1993). Τέλος σχετικά με τον όγκο της προθέρμανσης η έρευνα του Arnett (2002) καθόρισε ότι ο διπλασιασμός του όγκου των πρωινών προθερμάνσεων δεν εξάλειψαν τις διαφορές των πρωινών και απογευματινών αποδόσεων. Ωστόσο, εξάλειψε την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του σώματος. Τα αποτελέσματα από τις προπονήσεις το απόγευμα έδειξαν ότι μία μείωση 66% του όγκου προθέρμανσης, είχε ως αποτέλεσμα παρόμοια θερμοκρασία σώματος και απόδοση στο κολύμπι με την τυπική προθέρμανση. Επιπλέον, η υποκειμενική κόπωση των κολυμβητών ήταν ίδια στις δύο προθερμάνσεις και φαίνεται ότι το απόγευμα, η απόδοση μπορεί να διατηρηθεί ακόμη και μειώνοντας 66% τον όγκο προθέρμανσης.

Κολυμβητική προθέρμανση

Η προθέρμανση σχετίζεται στενά με την επίδοση, πριν από έναν αγώνα, μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της κολυμβητικής απόδοσης μέχρι και 3% (Maglischo, 1992; Maglischo, 1999). Στην αγωνιστική κολύμβηση, μπορεί να μην υπάρχει χρόνος για προθέρμανση αμέσως πριν το αγώνισμα, οι κολυμβητές εκτελούν μια σύντομη πριν τον αγώνα προθέρμανση. Οι φυσιολογικές επιπτώσεις μιας εκτεταμένης προθέρμανσης που διεξάγεται λίγο πριν τον αγώνα, που μπορεί να μην είναι ο τελευταίος, ή αμέσως πριν τον αγώνα, μπορεί να έχουν μεγάλη επίδραση στις μετέπειτα επιδόσεις (Maglischo 1992; Maglischo, 1999). Έτσι πολλοί αθλητές αμέσως πριν την αγωνιστική δραστηριότητα τους εκτελούν αναπνευστική προθέρμανση. Προηγούμενες μελέτες σχετικές με την προθέρμανση ανέφεραν βελτιώσεις της απόδοσης σε υψηλής έντασης άσκηση αποδίδοντας τις στην αναπνευστική προθέρμανση (Chiu, Fry, Schilling, Johnson & Weiss, 2004; Chiu, Fry, Weiss, Schilling, Brown & Smith, 2003; French, Kramer & Cooke 2003; Kilduff, Bevan, Kingsley, Owen, Bennett, Bunce, Hore, Maw & Cunningham, 2007).

Προθέρμανση εισπνευστικών μυών

Τα περισσότερα πρωτόκολλα γενικής προθέρμανσης είναι μέτριας έντασης και χαρακτηρίζονται από χαμηλές αναπνευστικές απαιτήσεις. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζεται και η ειδική προετοιμασία των αναπνευστικών μυών. Η υψηλή ένταση της ειδικής αναπνευστικής προθέρμανσης, προκαλείται αυξημένη αναπνευστική απόκριση που προετοιμάζει το αναπνευστικό σύστημα για πιο απαιτητικές αναπνευστικές προσπάθειες (Tong & Fu 2006). Ενώ η μελέτη των Volianitis και συν. (2001) επιβεβαιώνει τις προηγούμενες παρατηρήσεις ότι οι εισπνευστικοί μύες ακολουθούν και προσαρμόζονται στο φαινόμενο «προθέρμανση» που παρατηρείται μετά από προηγούμενη υπομέγιστη δραστηριότητα. Δεδομένα που ενισχύονται και από τους Volianitis και συν. (1999) οι οποίοι νωρίτερα ανέφεραν ότι η κωπηλατική προθέρμανση η οποία ήταν παρόμοια με τη ρουτίνα προετοιμασίας, κωπηλατικών αγώνων, δεν είχε σημαντική επίδραση στη δύναμη των εισπνευστικών μυών και η μόνη σημαντική βελτίωση ήταν αυτή στη μέγιστη ροπή των μυών του ποδιού. Έτσι 2 χρόνια μετά, διαπίστωσαν ότι η εισπνευστική δραστηριότητα βασισμένη σε μέτριας έντασης άσκηση, θα μπορούσε να αυξήσει την ικανότητα για παραγωγή δύναμης (Volianitis et al., 2001a). Αυτό ενισχύεται από την διαπίστωση ότι, η συγκεκριμένη δραστηριότητα εισπνευστικών μυών (προθέρμανση) εκτός από ένα

συγκεκριμένο πρωτόκολλο προθέρμανσης κωπηλατικής, έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει περαιτέρω την απόδοση σε κωπηλασία 6 λεπτών μέχρι εξάντλησης. Η βελτίωση εν μέρει οφείλεται στη μείωση της αίσθησης δύσπνοιας (Volianitis et al., 2001b).

Την ίδια περίοδο για τον προσδιορισμό της λειτουργικής σημασίας της αναπνευστικής προθέρμανσης, όσον αφορά την απόδοση στην κωπηλασία και την αντίληψη της δύσπνοιας, οι Volianitis και συν. (2001b) συγκρίνανε την επίδραση τριών διαφορετικών πρωτόκολλων προθέρμανσης. Τα πρωτόκολλα προθέρμανσης ήταν η υπομέγιστη κωπηλατική προθέρμανσης, η ειδική προθέρμανση κωπηλασίας και η ειδική κωπηλατική προθέρμανση με προσθήκη πρωτοκόλλου αναπνευστικής προθέρμανσης (2X30 αναπνοές χρησιμοποιώντας την συσκευή power breath, στο 40% της P_Imax). Επιβεβαίωσαν ότι ο συνδυασμός αναπνευστικής προθέρμανσης, με μία ειδική κωπηλατική προθέρμανση είναι πιο αποτελεσματική από μια ειδική κωπηλατική προθέρμανση ή μια υπομέγιστη γενική προθέρμανση, για προετοιμασία επιδόσεων κωπηλασίας (Volianitis et al., 2001b).

Παράλληλα και οι Romer και συν. (2002a; 2002b) αναφέρουν ότι η βελτίωση της μέγιστης δυναμικής λειτουργίας των εισπνευστικών μυών θα μπορούσε να μειώσει την ένταση της αίσθησης δύσπνοιας κατά τη διάρκεια υπομέγιστης και σταδιακή μέγιστης άσκησης σε παλίνδρομο τρέξιμο. Η υπόθεση της έρευνας όπως και στις προηγούμενες, ήταν ότι η προσθήκη της εισπνευστικής προθέρμανσης σε ένα πρωτόκολλο γενικής προθέρμανσης, μπορεί να ενισχύσει τη μέγιστη δυναμική λειτουργία των εισπνευστικών μυών. Έτσι μπορεί να βελτιωθεί η ικανότητα του αθλητή να διατηρήσει μεταγενέστερα την προσπάθεια σε έντονη διαλειμματική άσκηση μειώνοντας την αίσθηση δύσπνοιας που υπάρχει. Δεδομένα που είχαν διατυπωθεί αρκετά χρόνια νωρίτερα και σε άλλες έρευνες. Για παράδειγμα, οι Mador και Acevedo (1991) διαπίστωσαν, ότι πριν την κόπωση των εισπνευστικών μυών αν προηγηθεί προθέρμανση, μειώνεται ο χρόνος μέχρι την εξάντληση στην μετέπειτα βραχυπρόθεσμα υψηλής έντασης άσκηση, γεγονός το οποίο και οι Harms και συν. (2000) έχουν επιβεβαιώσει μαζί με βελτιώσεις στην ικανότητα για άσκηση με υποβοηθούμενο αερισμό.

Η μελέτη των Tong και Fu (2006) εξέτασε, αν η προσθήκη της προθέρμανσης των εισπνευστικών μυών, σε συνδυασμό με μια γενική προθέρμανση για όλο το σώμα, επιδρά στη μέγιστη δυναμική λειτουργία των εισπνευστικών μυών και την ένταση της αίσθησης δύσπνοιας κατά τη διάρκειας έντονης διαλειμματικής άσκησης σε επαναλήψεις 20 m παλίνδρομου τεστ. Διαπίστωσαν ότι η προθέρμανση εισπνευστικών μυών στο 40% της

PI_{max} μειώνει την αίσθηση δύσπνοιας, που εν μέρει αποδίδεται στην ενίσχυση της δυναμικής λειτουργίας των εισπνευστικών μυών, βελτιώνοντας την αντοχή τους (Tong & Fu, 2006). Η αναπνευστική προθέρμανση συμβάλει επίσης, στον περιορισμό της μείωσης της εισπνευστικής δύναμης (Tong et al., 2010). Η βελτίωση στην PI_{max} μετά από προθέρμανση εισπνευστικών μυών, αποδίδεται στην μείωση της αίσθησης δύσπνοιας και του μεταβολικού στρες (Tong et al., 2010).

Προθέρμανση εισπνευστικών μυών και εισπνευστική πίεση

Συγκεκριμένα ένα πρόγραμμα ειδικής προθέρμανσης εισπνευστικών μυών:

- Επιταχύνει το επίπεδο, μάθησης-εξοικείωσης της ενέργειας που σχετίζεται με τους επαναλαμβανόμενους ελιγμούς Mueller (Volianitis et al., 2001a).
- Αυξάνει την περιφερική διεγερσιμότητα (Ross et al., 2007).
- Αυξάνει την συνεργασία των ενεργών εισπνευστικών μυών (Lomax & McConnell, 2009).
- Επιδρά σε έναν συνδυασμό αυτών των παραγόντων και τη μέγιστη εισπνευστική πίεση (Lomax & McConnell, 2009).

Μέγιστη εισπνευστική πίεση (PI_{max}) είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης του μεγέθους της εισπνευστικής μυϊκής δύναμης. Αυτό γιατί αντανακλά την συνδυασμένη ικανότητα παραγωγής δύναμης των εισπνευστικών μυών στη διάρκεια μιας σύντομης εισπνοής-στατικής συστολής. Η αξιολόγηση της μπορεί σε γενικές γραμμές να χωριστεί, σε τεστ που εξαρτώνται από την προσπάθεια και σε ανεξάρτητες από την προσπάθεια δοκιμές. Αν και υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τόσο, στις μεθόδους προσπάθειας, αλλά και ειδικότερα στις μετρήσεις της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης από τους στόματος. Επομένως, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι η μέγιστη εισπνευστική πίεση ευνοείται σε καταστάσεις όπου μια πιο συνολική αξιολόγηση της εισπνευστικής λειτουργίας των μυών απαιτείται (Johnson et al., 1996). Όπως είναι λογικό και επόμενο, η αξιοπιστία της έχει αμφισβητηθεί, ιδίως στο πλαίσιο της μεταβλητότητας των ανταποκρίσεων στις επανειλημμένες μετρήσεις. Οι ημερήσιες διακυμάνσεις είναι παρόμοιες με εκείνες που παρατηρήθηκαν και σε άλλες μετρήσεις της δύναμης και έχει αναφερθεί σε ένα ποσοστό $\pm 10\%$ (Volianitis et al., 2001). Οι παραπάνω συμπεράναν ότι για την απόκτηση αξιόπιστων τιμών για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την μέγιστη εισπνευστική πίεση αρκούν μόλις 3 μετρήσεις. Ωστόσο, στο πλαίσιο των δοκιμών η

μέγιστη εισπνευστική πίεση και η καλύτερη ημερήσια μέτρηση της, επηρεάζονται από τον αριθμό των προσπαθειών που εκτελούνται (Lomax & McConnell, 2009), αυτό για κάποιους την έχει κάνει να μη λαμβάνεται υπόψη ως σημαντική εκτίμηση της λειτουργίας των εισπνευστικών μυών (Polkey & Moxham, 2004).

Αντίθετα όμως, οι Lomax και McConnell (2009) υποστηρίζουν ότι η παραπάνω διαπίστωση των Polkey και Moxham (2004) είναι ατυχής, γιατί η μέγιστη εισπνευστική πίεση όπως αναφέρουν, είναι μια από τις μόνες δύο σφαιρικές μετρήσεις της συνολικής εισπνευστικής λειτουργίας. Είναι επίσης η μόνη μέτρηση της λειτουργίας των αναπνευστικών μυών που αντανακλά τις κεντρικές και τις περιφερικές επιρροές στην αναπνευστική λειτουργία. Άλλη ομάδα ερευνητών επίσης, έχει προτείνει τη χρήση ειδικής «προθέρμανσης» εισπνευστικών μυών, ώστε να μειωθεί ο αριθμός των μετρήσεων που απαιτούνται, ώστε να μπορούν να αναπαραχθούν, αντιπροσωπευτικές εκτιμήσεις της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης (Volianitis et al., 2001a). Γεγονός που ενισχύουν οι Lomax και McConnell (2009), οι οποίοι ισχυρίζονται ότι όποια και αν είναι η/οι αιτία/ες αντανακλά την αποτυχία ελαχιστοποίησης της επίδρασης παραγόντων, τουλάχιστον σε μερικές από τις διακυμάνσεις στις μετρήσεις της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, μεταξύ των δοκιμών. Εάν αυτό συμβαίνει, είναι λογικό να υποτεθεί ότι μεταξύ της ημερήσιας αξιοπιστία της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης και του αριθμού των προσπαθειών που απαιτούνται για να αποσπαστεί (και όχι υπομέγιστη τιμή της), θα υπάρχει βελτίωση με τη χρήση ειδικής προθέρμανσης εισπνευστικών μυών. Βέβαια η ειδική προθέρμανση εισπνευστικών μυών, ενισχύει την ημερήσια αξιοπιστία της μέτρησης της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης κάτι που δεν επηρεάζει η αναπνευστική προπόνηση. Οι αποφάσεις, όμως, σχετικά με την αποδοχή της αξιοπιστίας της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης πρέπει να λαμβάνονται, ανάλογα με τους εκάστοτε στόχους (Lomax & McConnell, 2009).

Η ειδική προθέρμανση εισπνευστικών μυών, πράγματι όπως αναφέρουν και άλλες έρευνες αυξάνει την μέγιστη εισπνευστική πίεση, 11-17% (Baross et al., 2002; Tong & Fu, 2006). Μετά την προθέρμανση, 5-6 προσπάθειες απαιτούνται για να καθοριστεί η μέγιστη εισπνευστική πίεση. Η μέγιστη εισπνευστική πίεση ήταν παρόμοια μεταξύ των 2 μετρήσεων πριν την αναπνευστική προθέρμανση και τις 2 μετρήσεις μετά αναπνευστική προθέρμανση, αλλά ήταν και 21% υψηλότερη μετά την αναπνευστική ευρύτερη προθέρμανση (Lomax & McConnell, 2009). Παράλληλα σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει και η ένταση, στην έρευνα των Tong και Fu (2006) μετά από προθέρμανση με

ένταση 15% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, δεν ήταν στατιστικά σημαντικές οι διαφορές στην αντιληπτή δύσπνοια και στις δυναμικές λειτουργίες εισπνευστικών μυών μεταξύ της ομάδας ελέγχου και της πειραματικής. Αντίθετα στην ομάδα που έκανε προθέρμανση στο 40%, οι μέγιστες δυναμικές λειτουργίες εισπνευστικών μυών, συμπεριλαμβανομένων και της εισπνευστικής πίεσης με μηδενική ροή και το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης της εισπνευστικής πίεσης με μηδενική ροή, ήταν σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τις αρχικές τιμές (Tong & Fu, 2006). Σχετικά με τις διαφορές στις παραμέτρους στις 2 συνθήκες 15% και 40%, αρνητικές συσχετίσεις, βρέθηκαν μεταξύ των διαφορών στην αντιληπτή δύσπνοια και των διαφορών στις επιδόσεις παλίνδρομου τεστ 20 μέτρων. Επίσης αρνητικές συσχετίσεις βρέθηκαν στην διαφορά της εισπνευστικής πίεσης με μηδενική ροή και την αντιληπτή δύσπνοια κάθε 4^η προσπάθεια, αλλά και μεταξύ της διαφοράς του μεγαλύτερου ποσοστού αύξησης της εισπνευστικής πίεσης με μηδενική ροή και της αντιληπτής δύσπνοιας κάθε 4^η προσπάθεια των (Tong & Fu, 2006). Σε άλλη έρευνα, η μέγιστη εισπνευστική πίεση αυξήθηκε κατά 20±6,1% μετά την αναπνευστική προπόνηση και 26,7± 6,3% όταν η αναπνευστική προπόνηση και η προθέρμανση συνδυάστηκαν. Η απόσταση που καλύφθηκε μετά την αναπνευστική προπόνηση αυξήθηκε κατά 12±4.9 % και κατά 14.9±4.5 % όταν η αναπνευστική προπόνηση και η αναπνευστική προθέρμανση συνδυάστηκαν. Η προπόνηση εισπνευστικών μυών και η προθέρμανση τους, μεμονωμένα μπορούν να αυξήσουν την απόσταση που καλύπτεται τρέχοντας, αλλά η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται όταν συνδυάζονται (Lomax, Grant, & Corbett 2011). Ταυτόχρονα ο συνδυασμός της χρόνιας προπόνησης (2X30 αναπνοές στο 50% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, την ημέρα, 6 μέρες την εβδομάδα) και της οξείας προθέρμανσης εισπνευστικών μυών (2X30 αναπνοές, στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης), σε ένα υψηλής έντασης διαλειμματικό πρόγραμμα, φαίνεται να είναι μια επωφελής προπονητική στρατηγική για την βελτίωση της αντοχής σε υψηλής έντασης διαλειμματικό πρόγραμμα (Tong et al., 2010).

Εν κατακλείδι, η προπόνηση αναπνευστικών μυών και η προθέρμανσης των ίδιων μυών μπορεί να αυξήσει την απόσταση που καλύπτεται τρέχοντας, αλλά η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται όταν συνδυάζονται (Lomax et al., 2011; Tong et al., 2010). Αυτό γιατί η προθέρμανση και η προπόνηση εισπνευστικών μυών αυξάνει την απόσταση που καλύπτεται κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής επαναλαμβανόμενων προσπαθειών, σύντομης διάρκειας, μέχρι εξάντλησης. Αν και η επίδραση της προπόνησης των εισπνευστικών

μυών, μόνο, ήταν μεγαλύτερη από εκείνη της ανεξάρτητης εισπνευστικής προθέρμανσης, ο συνδυασμός και των δύο προκάλεσε τη μεγαλύτερη βελτίωση στην απόσταση. Ωστόσο, οι συνδυασμένες παρεμβάσεις δεν οδήγησαν σε αθροιστική αύξηση της εισπνευστικής μυϊκής δύναμης. Μέρος της αύξησης της μετά από προθέρμανση εισπνευστικών μυών και προπόνηση εισπνευστικών μυών μπορεί επομένως να αποδοθεί στην νευρικό μηχανισμό (Lomax et al., 2011).

Προθέρμανση εισπνευστικών μυών στην κολύμβηση

Για χρόνια υπήρχε η θεωρία ότι το κολύμπι αποτελεί μορφή αναπνευστικής προθέρμανσης, από μόνο του. Σκοπός της μελέτης των Baross και συν. (2002), ήταν να συγκρίνει τα αποτελέσματα της γενικής κολυμβητικής προθέρμανσης και μιας ειδικής αναπνευστικής προθέρμανσης, στην εισπνευστική μυϊκή δύναμη και την κολυμβητική απόδοση. Φάνηκε ότι η κολύμβηση αποτελεί μια μορφή αναπνευστικής προθέρμανσης ενώ οι βελτιώσεις στην κολυμβητική απόδοση σχετίστηκαν με την αναπνευστική προθέρμανση. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε (2X30 εισπνοές στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης) ήταν πιο εργογενές από την ειδική κολυμβητική προθέρμανση μετά από προσπάθεια 200 m κολύμβηση στο στυλ εξειδίκευσης του κάθε κολυμβητή (Baross et al., 2002). Η κολυμβητική προθέρμανση είχε σημαντική επίδραση στην δύναμη των εισπνευστικών μυών, αλλά δεν είχε επίδραση στις παραμέτρους λειτουργίας των πνευμόνων, προκάλεσε επίσης σημαντική αύξηση στην μυϊκή δύναμη του αναπνευστικού συστήματος, αλλά και πάλι δεν είχε επίδραση στη λειτουργία των πνευμόνων. Οι χρόνοι απόδοσης μετά την αναπνευστική προθέρμανση ήταν σημαντικά ταχύτεροι από αυτούς που καταγράφηκαν μετά την κολυμβητική προθέρμανση. Σύμφωνα με τα στοιχεία των Baross και συν. (2002), η εισπνευστική μυϊκή δύναμη μπορεί να ενισχυθεί τόσο με την κολυμβητική προθέρμανση όσο και με την αναπνευστική προθέρμανση. Ωστόσο, οι βελτιώσεις στην κολυμβητική απόδοση σχετίζονται με την ειδική αναπνευστική προθέρμανση και δείχνουν ότι ένα πρωτόκολλο που συνδυάζει την γενική κολυμβητική προθέρμανση με την ειδική αναπνευστική, είναι περισσότερο εργογενές από την κολυμβητική προθέρμανσης, μόνο.



III ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δείγμα

Στην έρευνα συμμετείχαν κολυμβητές (n=8, ηλικία: 15.6 ± 0.8 έτη, σωματική μάζα: 69.6 ± 7.4 kg, ύψος: 174.7 ± 7.0 cm) και κολυμβήτριες (n=10, ηλικία: 15.5 ± 0.4 έτη, σωματική μάζα: 64.6 ± 3.6 kg, ύψος: 169.3 ± 5.2 cm), με αγωνιστική εμπειρία 6.9 ± 1.2 έτη. Οι κολυμβητές που συμμετείχαν στην έρευνα, ήταν όλοι ανήλικοι και κατά συνέπεια, οι κηδεμόνες τους, ενημερώθηκαν λεπτομερώς για τις διαδικασίες που θα ακολουθούσαν κατά την περίοδο των μετρήσεων και αφού συμφώνησαν για τη συμμετοχή των παιδιών υπέγραψαν μια δήλωση συμμετοχής για όλες τις πειραματικές διαδικασίες. Κριτήριο επιλογής των κολυμβητών στην έρευνα ήταν η συστηματική προπόνηση με συχνότητα τουλάχιστον 5 φορές την εβδομάδα, τα τελευταία 2 έτη (προπονητική ηλικία άνω των 4-5 ετών) και η απουσία αναπνευστικών προβλημάτων. Τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων εμφανίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων στη μελέτη

Φύλο	Ηλικία (yrs)	Βάρος (kg)	Ύψος (cm)	Προπονητική ηλικία (έτη)
Κορίτσια (n=10)	15.5 ± 0.4	$64,6 \pm 3,6$	$169,3 \pm 5,2$	$7,0 \pm 1,1$
Αγόρια (n=8)	15.6 ± 0.8	$68,8 \pm 7,4$	$174,3 \pm 7,0$	$6,7 \pm 1,4$

Όργανα μέτρησης

Όλες οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την έρευνα πληρούν όλα τα κριτήρια αξιοπιστίας και βαθμονομήθηκαν όταν χρειαζόταν, σύμφωνα με τις υποδείξεις των κατασκευαστών. Αναλυτικά στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα:

- Αναστημόμετρο SECA-220
- Ηλεκτρονική ζυγαριά δαπέδου με ακρίβεια μέτρησης 100 gr (SECA)
- Δερματοπτυχόμετρο (Harpenden Skinfold Caliper με διαβάθμιση 0,2 mm)
- Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης γαλακτικού έγινε λήψη τριχοειδικού αίματος (Roche Accutrend Plus Compass, GCTL, Germany)
- Στην προπόνηση των αναπνευστικών μυών χρησιμοποιήθηκε όργανο εισπνευστικής εξάσκησης (POWERbreathe, IMT Technologies Ltd, Birmingham, UK)
- Για την καταγραφή των επιδόσεων χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό χρονόμετρο χειρός (Casio HS-30W) με ακρίβεια καταγραφής ανά εκατοστό του δευτερολέπτου.
- Για την αξιολόγηση της δύναμης των εισπνευστικών μυών χρησιμοποιήθηκε φορητή συσκευή τύπου MicroRPM (Micro Medical Ltd, Kent, UK).

Πειραματική διαδικασία

Οι κολυμβητές συμμετείχαν σε δύο πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν μετά το τέλος των χειμερινών αγώνων στην έναρξη της περιόδου προετοιμασίας για το θερινό πρωτάθλημα. Οι δύο μετρήσεις, απείχαν μεταξύ τους μία εβδομάδα. Η σειρά εκτέλεσης των δοκιμασιών ήταν ισοσταθμισμένη και όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν πάντα την ίδια ώρα της ημέρας. Από τους συμμετέχοντες και τους προπονητές ζητήθηκε, να μην πραγματοποιήσουν έντονη άσκηση την προηγούμενη ημέρα των μετρήσεων και να μην έχουν πραγματοποιήσει προπόνηση μέχρι και 12 ώρες πριν από κάθε μέτρηση. Επιπλέον, ζητήθηκε να μην καταναλώσουν τροφή 2 ώρες πριν από κάθε μέτρηση. Οι κολυμβητές ήταν μέλη δύο αγωνιστικών ομάδων και ακολουθούσαν περίπου την ίδια προπόνηση κατά την περίοδο προετοιμασίας. Οι επιδόσεις των συμμετεχόντων στα 100 m ελεύθερο και η βαθμολογία των κολυμβητών με βάση το διεθνές σύστημα βαθμολογίας της FINA αναφέρεται στον Πίνακα 2. Την ημέρα της κάθε δοκιμασίας οι εξεταζόμενοι παρουσιάζονταν στο χώρο διεξαγωγής των δοκιμασιών δεκαπέντε λεπτά πριν την έναρξη τους. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κλειστό κολυμβητήριο 25 m με θερμοκρασία νερού 24-26 °C.

Πίνακας 2. Οι χρόνοι στα 100 μέτρα ελεύθερο και η αντίστοιχη διεθνής βαθμολογία της FINA, (n = 18, μέση τιμή ± τυπική απόκλιση)

ΑΤΟΜΙΚΟ PEKOP	Βαθμολογία ΑΤΟΜΙΚΟΥ PEKOP	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑ ΤΟ 15%	Βαθμολογία ΜΕΤΑ ΤΟ 15%	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑ ΤΟ 40%	Βαθμολογία ΜΕΤΑ ΤΟ 40%
64,8± 5,1	617±83,7	66,14±3,8	585± 54,3	66,5±4	578,7± 57,9

FINA: Διεθνής ομοσπονδία κολύμβησης

Προκαταρκτικές μετρήσεις

Οι εξεταζόμενοι αρχικά εξοικειώθηκαν με τις συσκευές μέτρησης της εισπνευστικής πίεσης και με τη διαδικασία αναπνευστικής προθέρμανσης. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε η μέγιστη εισπνευστική πίεση στην ηρεμία. Επίσης την ίδια μέρα διεξήχθησαν και οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις και οι μετρήσεις επιλεγμένων δερματοπτυχών.

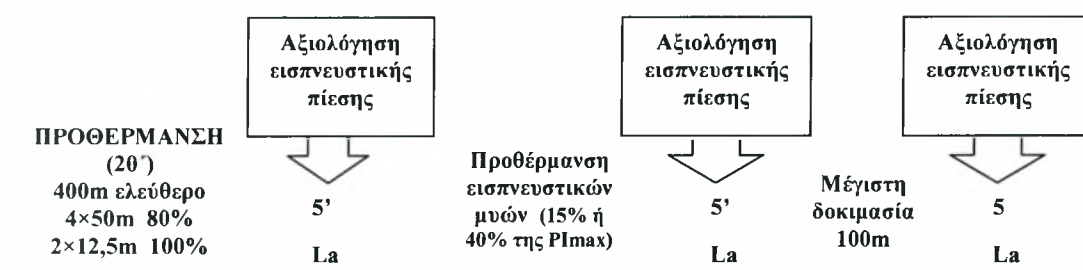
Κύριες μετρήσεις

Για τις κύριες δοκιμασίες οι κολυμβητές πραγματοποίησαν κολυμβητική προθέρμανση (400 μ. ελεύθερο, 4 × 50 m στο 80% της μέγιστης έντασης, 2 × 12,5 m. με ένταση 100%). Πέντε λεπτά αργότερα, εκτελέστηκε η προθέρμανση εισπνευστικών μυών (2 X 30 εισπνοές). σε δύο διαφορετικές πειραματικές συνθήκες, οι οποίες απείχαν μεταξύ τους μία εβδομάδα. Η αναπνευστική προθέρμανση πραγματοποιήθηκε με ένταση που αντιστοιχεί στο 15% (T15) και στο 40% (T40) της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης. Η ένταση της εισπνευστικής προθέρμανσης υπολογίστηκε με βάση τη μέγιστη εισπνευστική πίεση που κατεγράφη στις προκαταρκτικές δοκιμασίες. Πέντε λεπτά μετά την ολοκλήρωση της αναπνευστικής προθέρμανσης οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν προσπάθεια 100 m ελεύθερο με μέγιστη ένταση ξεκινώντας με κανονική εκκίνηση όπως σε επίσημους αγώνες.

Μετά από την ολοκλήρωση της αναπνευστικής προθέρμανσης καθώς και πριν την έναρξη και μετά το τέλος της προσπάθειας των 100 μέτρων αξιολογήθηκε η μέγιστη εισπνευστική πίεση και δείγμα αίματος ελήφθη από το δάχτυλο για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης γαλακτικού. Επιπλέον, στις ίδιες χρονικές στιγμές κατεγράφη η υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης με την κλίμακα Borg (Borg, 1982). Η εφαρμογή προθέρμανσης στο 15% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης θεωρείται ότι δεν επηρεάζει

την αναπνευστική λειτουργία και έχει χρησιμοποιηθεί ως συνθήκη placebo (ελέγχου) σε προηγούμενες μελέτες (Tong & Fu, 2006). Ένταση που αντιστοιχεί στο 15% της μέγιστης εισπνευστικής δύναμης δεν είναι ικανή να προκαλέσει κόπωση των εισπνευστικών μυών αλλά ούτε είναι αρκετή υψηλή ώστε να λειτουργήσει ως προθέρμανση (Volianitis et al., 2001b; Tong & Fu, 2006; Lomax & McConnell, 2009). Η ένταση προθέρμανσης, στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης έχει χρησιμοποιηθεί από τον Volianitis και συν. (2001b) με στόχο να μην προκληθεί κόπωση τους αναπνευστικούς μύες. Επίσης οι Baross και συν. (2002) αλλά και οι Tong και Fu (2006), χρησιμοποίησαν την ίδια ένταση, για να αποφύγουν την κόπωση που θα προκαλούσε μια προθέρμανση μεγαλύτερης έντασης, αλλά και για να έχουν την μέγιστη επίδραση, αφού προθέρμανση μικρότερης έντασης, δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Οι συμμετέχοντες δεν γνώριζαν σε καμία από τις δύο συνθήκες την ένταση αλλά ούτε και τον σκοπό της μελέτης για την αποφυγή, τυχόν αλλοίωσης των αποτελεσμάτων. Η μέγιστη εισπνευστική πίεση αξιολογήθηκε και τις δύο μέρες με τον ίδιο τρόπο και ακολουθώντας την ίδια διαδικασία. Η σειρά εκτέλεσης των μετρήσεων φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Η πειραματική διαδικασία της έρευνας. P_{Imax}: μέγιστη εισπνευστική πίεση.

Μετρήσεις

Οι μετρήσεις στις οποίες υποβλήθηκαν οι αθλητές που συμμετείχαν στη μελέτη ήταν ανθρωπομετρικές μετρήσεις, μετρήσεις δερματοπτυχών, αξιολόγηση μέγιστης εισπνευστικής πίεσης και προσδιορισμός υποκειμενικής κόπωσης και συγκέντρωσης γαλακτικού.

Καταγραφή των ανθρωπομετρικών χαρακτηριστικών: Οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις που έγιναν είναι οι παρακάτω. Ύψος από όρθια και καθιστή θέση, έκταση χεριών, βάρος, μέτρηση δερματοπτυχών. Το σύνολο των ανθρωπομετρικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Ύψος από όρθια θέση : Για τη μέτρηση του ύψους από όρθια θέση χρησιμοποιήθηκε αναστημόμετρο (seca) με ακρίβεια 1 mm. Τα πέλματα σχημάτιζαν γωνία, οι φτέρνες τοποθετούνταν ενωμένες και εφάπτονταν με τον τοίχο, τα ανατομικά όρια του ανοίγματος των πελμάτων προσδιορίστηκαν σε μια γωνία περίπου 60°. Η πλάτη ήταν ίσια, ακουμπούσε στον τοίχο, το κεφάλι ψηλά με μέτωπο μπροστά και τα χέρια σε στάση προσοχής. Στην συνέχεια το αναστημόμετρο, τοποθετούνταν, χωρίς να πιέζει το τριχωτό της κεφαλής, οριακά πάνω από το κεφάλι και καταγράφονταν η τιμή που ανέγραφε.

Ύψος από καθιστή θέση: Το ύψος από καθιστή θέση χρησιμεύει στον υπολογισμό του μήκους του άνω τμήματος του σώματος. Για τη μέτρηση του χρησιμοποιήθηκε ένα τραπέζι και μια κάθετη ράβδος στην οποία εφαρμόστηκε ένας ειδικός μετακινούμενος οριζόντιος χάρακας, που ερχόταν σε επαφή με το ανώτερο σημείο της κεφαλής του δοκιμαζόμενου. Η ράβδος είναι διαβαθμισμένη με ακρίβεια 1mm και επάνω της προσαρμόστηκε ο μετακινούμενος χάρακας. Το τραπέζι είχε τέτοιο ύψος ώστε τα πόδια του ατόμου που μετρούνταν να αιωρούνται (κρέμονται) ελεύθερα.

Άνοιγμα χεριών στο πλάι: Το άνοιγμα των χεριών στο πλάι, στο ύψος των ώμων, χρησιμοποιείται σαν μέτρηση για να υπολογιστεί η απόσταση ανάμεσα στις ακραίες θέσεις των μεσαίων δακτύλων της παλάμης κάθε χεριού. Για να μετρηθεί το άνοιγμα χεριών στο πλάι χρησιμοποιήθηκε μετροταινία 2 m, με διαβάθμιση χιλιοστού η οποία τοποθετήθηκε στον τοίχο και χρησιμοποιώντας δύο χάρακες για να σταθεροποιηθούν τα δάχτυλα του

εξεταζόμενου και να οριοθετηθεί η αρχή και το τέλος της απόστασης, έτσι μετρήθηκε η απόσταση μεταξύ των δύο χαρακων

Δερματοπτυχές: Ο υπολογισμός της σύστασης του σωματικού βάρους, γίνεται σε επιλεγμένες θέσεις του ανθρώπινου σώματος με την μέτρηση των δερματοπτυχών. Για την λιπώδη σωματική μάζα, ενδύκνεται, η χρήση των μετρήσεων πάχους δερματοπτυχών, αφού αποτελεί έναν από τους πλέον διαδεδομένους τρόπους αξιολόγησης της σύστασης σωματικού λίπους. Στην συνέχεια από τα δεδομένα και με τη χρήση συγκεκριμένων εξισώσεων υπολογίστηκε το ποσοστό σωματικού λίπους (Αγόρια: % Σωματικό Λίπος = $0.735 * \Sigma SF + 1.0$, all ages ; Κορίτσια: % Σωματικό Λίπος = $0.610 * \Sigma SF + 5.1$, all ages) όπου, ΣSF = το άθροισμα δερματοπτυχών του τρικέφαλου και του γαστροκνημίου (Slaughter et al., 1988). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν και μετρήθηκαν, οι δερματοπτυχές, του τρικέφαλου βραχιόνιου, του υποπλατιαίου, αλλά και του γαστροκνήμιου μυός. Οι θέσεις στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις, ορίστηκαν με ιδιαίτερη προσοχή, ενώ τα σημεία μέτρησης καθορίστηκαν με τον ίδιο τρόπο για κάθε δοκιμαζόμενο για την αποφυγή σφαλμάτων. Ως βασική προϋπόθεση, οριοθετήθηκε οι μετρήσεις να γίνονται από τον ίδιο εξεταστή και με το ίδιο δερματοπτυχόμετρο, όπως και σε όλες τις έρευνες. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε δερματοπτυχόμετρο (Harpenden Skinfold Caliper με διαβάθμιση 0,2 mm). Οι δερματοπτυχές που μετρήθηκαν, είναι αυτές του τρικέφαλου βραχιόνιου, του υποπλάτιου και του γαστροκνήμιου.

Μετρήσεις Αναπνευστικών μεταβλητών

Όλες οι μετρήσεις των αναπνευστικών μεταβλητών πραγματοποιήθηκαν με αποκλεισμό της ρινικής οδού (χρησιμοποιώντας ειδικό ρινοπίεστρο). Οι συμμετέχοντες ενθαρρύνονταν λεκτικά για τη μεγιστοποίηση της προσπάθειας ενώ δίνονταν ανατροφοδότηση μετά από κάθε μέτρηση.

Μετρήσεις αναπνευστικών πιέσεων: Οι μετρήσεις των αναπνευστικών πιέσεων πραγματοποιήθηκαν με φορητή συσκευή τύπου MicroRPM (Micro Medical Ltd, Kent, UK), ακριβώς πριν και μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία. Κάθε κολυμβητής εκτέλεσε 3 μετρήσεις αξιολόγησης της εισπνευστικής δύναμης στην ηρεμία και η υψηλότερη τιμή, καταγράφηκε και χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων. Οι

Volianitis και συν.(2001) διατύπωσαν το συμπέρασμα ότι για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την PI_{max} αρκούν μόλις 3 μετρήσεις. Ωστόσο, στο πλαίσιο των δοκιμών η μέγιστη PI_{max} και η καλύτερη μέτρηση PI_{max} της μέρας, επηρεάζονται από τον αριθμό των προσπαθειών που εκτελούνται για τον λόγο αυτό και δεν εκτελέστηκαν περισσότερες (Lomax & McConnell, 2009). Στη διάρκεια κάθε δοκιμασίας για την αξιολόγηση της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης ζητήθηκε από τους εξεταζόμενους να «αδειάσουν αργά» τους πνεύμονες τους ως τα επίπεδα του υπολειπόμενου όγκου και μετά να εκτελέσουν την προσπάθεια. Όλες οι μετρήσεις έγιναν σε όρθια θέση έξω από το νερό.

Προσδιορισμός συγκέντρωσης γαλακτικού: Η μέτρηση της συγκέντρωσης του γαλακτικού στο αίμα πραγματοποιήθηκε ακριβώς μετά την γενική προθέρμανση, αλλά και πριν και πέντε λεπτά μετά από την κολυμβητική δοκιμασία των 100 μέτρων ελευθέρου, με τη λήψη τριχοειδικού αίματος και τη χρήση φορητού μετρητή (Roche Accutrend Plus Compass, GCTL, Germany).

Καταγραφή καρδιακής συχνότητας, χρόνου κολύμβησης συχνότητας και μήκους χεριάς: Η καταγραφή της καρδιακής συχνότητας έγινε πριν και μετά την προθέρμανση καθώς και πριν και μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία με τη χρήση καρδιοσυχνόμετρου τύπου POLAR 610 (Polar Electro, Kempele, Finland). Η χρονομέτρηση των δοκιμασιών και των μέγιστων προσπαθειών πραγματοποιήθηκε με ψηφιακό χρονόμετρο τύπου Casio HS-30W, στις, ενώ το ίδιο χρονόμετρο χρησίμευσε και στην χρονομέτρηση όλης της διαδικασίας και των διαλειμμάτων. Παράλληλα, στις κολυμβητικές δοκιμασίες έγινε καταγραφή της συχνότητας χεριάς με χρονομέτρηση 3 κύκλων χεριάς, στη μέση κάθε κολυμβητικής διαδρομής 25 m. και το μήκος χεριάς, υπολογίστηκε από τον τύπο $V = \Sigma X * MX$, (V, ταχύτητα ανά 25 m; ΣX , συχνότητα χεριάς; MX μήκος χεριάς) (Vorontsov & Binevsky 2002).

Αντίληψη δύσπνοιας: Η κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης κατά Borg (Borg, 1982), χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της δύσπνοιας και την συνολική σωματική κόπωση κατά την άσκηση, χρησιμοποιώντας δύο κλίμακες, αμέσως μετά από κάθε κολυμβητική δοκιμασία (Volianitis et al., 2001a; 2001b).

Σχεδιασμός της μελέτης

Ο σχεδιασμός περιλάμβανε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε δύο παράγοντες (2 μορφές προθέρμανσης x επαναλαμβανόμενες μετρήσεις). Σύμφωνα με το σχεδιασμό, το είδος της προθέρμανσης είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή και οι εξαρτημένες μεταβλητές είναι, το γαλακτικό στο αίμα (3 μετρήσεις), η εισπνευστική δύναμη (3 μετρήσεις), η συχνότητα χεριάς (4 μετρήσεις), η καρδιακή συχνότητα (4 μετρήσεις) και η επίδοση ανά 25 m και στα 100 m.

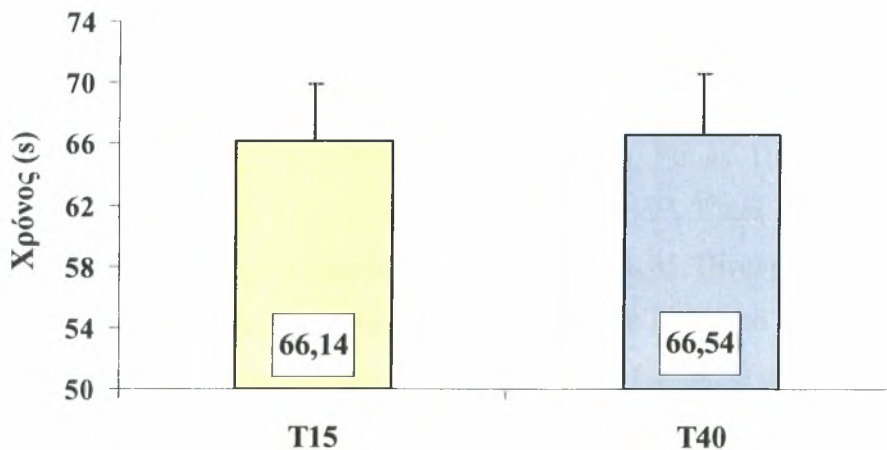
Στατιστική Ανάλυση

Έγινε έλεγχος της κανονικότητας της κατανομής σε όλες τις εξαρτημένες μεταβλητές. Οι διαφορές μεταξύ των μετρήσεων (πριν και μετά) και η σύγκριση μεταξύ των κολυμβητικών δοκιμασιών, πραγματοποιήθηκε με ανάλυση διακύμανσης για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (2-way ANOVA repeated measures). Το T-test για εξαρτημένα δείγματα χρησιμοποιήθηκε για να ελεγχθούν οι διαφορές της επίδοσης στις δύο συνθήκες. Οι συσχετίσεις μεταξύ των διαφορετικών μεταβλητών υπολογίστηκαν μέσω του συντελεστή συσχέτισης Pearson. Τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται ως μέση τιμή ± τυπική απόκλιση. Το επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε ως $p < 0,05$.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μεταβολές στις παραμέτρους απόδοσης

Μεταβολές στην επίδοση των 100 m ελευθέρου και στην επίδοση ανά 25 m στα 100 m ελευθέρου: Η επίδοση στα 100 m δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της $P_{I\max}$ ($t_{17}=1,57$, $p>0,05$, Σχήμα 2). Η επίδοση για κάθε τμήμα 25 m μειώθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($F_{3,51}=94,67$, $p<0,05$, Πίνακας 3). Ωστόσο, η μεταβολή της επίδοσης στα 25 m δεν διέφερε μεταξύ των συνθηκών και δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και επίδοσης στα τμήματα των 25 m ($F_{3,51}=0,93$, $p>0,05$, Πίνακας 1).



Σχήμα 2. Διαφορές μεταξύ της μέσης τιμής της επίδοσης στα 100 m, $p>0.05$ συγκριτικά με την εισπνευστική προθέρμανση στο T15 και στο T40.

Πίνακας 3. Μεταβολές στην επίδοση ανά 25m, στην προσπάθεια των 100 m ελεύθερου.

ΕΠΙΔΟΣΗ ΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ 25 μ. (s)				
	1	2	3	4
T15	15,4±0,2	16,5±0,2*	17,1±0,2*	17,1±0,3*
T40	15,5±0,2	16,6±0,2*	17,1±0,3*	17,4±0,3*

T15: εισπνευστική προθέρμανση στο 15% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης; T40: εισπνευστική προθέρμανση στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, *: $p < 0,05$ συγκριτικά με το πρώτο τμήμα 25m.

Επίδραση στη συχνότητα χεριάς και το μήκος χεριάς και τον αριθμό αναπνοών

Η συχνότητα χεριάς στα 100 m δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της P_{Imax} . Η συχνότητα για κάθε τμήμα 25 m μειώθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($F_{3,51}=43,19$, $p < 0,05$, Πίνακας 4). Ωστόσο, η μεταβολή της συχνότητας στα 25 m δεν διέφερε μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και επίδοσης στα τμήματα των 25 m ($F_{3,51}=1,08$, $p > 0,05$, Πίνακας 4).

Παρόμοια το μήκος χεριάς στα 100 m δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της P_{Imax} . Πάρα ταύτα, το μήκος χεριάς για κάθε τμήμα 25 m, δεν μειώθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($F_{3,51}= 1,30$, $p > 0,05$, Πίνακας 4).

Επίσης ο αριθμός αναπνοών στα 100 m δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της P_{Imax} . Ο αριθμός αναπνοών για κάθε τμήμα 25 m αυξήθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($F_{3,51}=90,05$, $p=0,00$, Πίνακας 4). Αν και, η μεταβολή του αριθμού αναπνοών στα 25 m δεν διέφερε μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και επίδοσης στα τμήματα των 25 m ($F_{3,51}=0,74$, $p > 0,05$, Πίνακας 4).

Επίδραση στην καρδιακή συχνότητα

Η καρδιακή συχνότητα, δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της P_{Imax} . Βέβαια παρουσίασε σημαντική αύξηση μετά τα 100 m σε σύγκριση με τη μέτρηση πριν τα 100 m ελεύθερο, ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($F_{1,14}=2433,53$, $p=0,00$, Πίνακας 5). Η μεταβολή της καρδιακής συχνότητας δεν διέφερε μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και μετρήσεων ($F_{1,14}=0,04$, $p>0,05$, Πίνακας 5).

Πίνακας 4. Μεταβολές ανά 25 m, στην συχνότητα χεριάς στην προσπάθεια 100 m ελεύθερου.

ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΝ 25μ				
	ΣΧ1	ΣΧ2	ΣΧ3	ΣΧ4
	(cycles/min)			
T15	51,6±1,1	47,0±1,1	45,6±1,2	45,4±1,2
T40	50,5±1,5	46,7±1,1	46,4±1,8	44,5±1,2
	ΜΧ1	ΜΧ2	ΜΧ3	ΜΧ4
	(m/cycle)			
T15	1,90±0,04	1,95±0,04	1,94±0,05	1,95±0,04
T40	1,94±0,05	1,96±0,04	1,93±0,06	1,96±0,04
	ΑΑ1	ΑΑ2	ΑΑ3	ΑΑ4
T15	6,1±0,5	8,2±0,4	8,9±0,3	9,6±0,4
T40	6,6±0,5	8,4±0,5	9,1±0,4	9,6±0,4

T15: εισπνευστική προθέρμανση στο 15% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης; T40: εισπνευστική προθέρμανση στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης; ΣΧ: συχνότητα χεριάς; ΜΧ: μήκος χεριάς; ΑΑ: αριθμός αναπνοών.

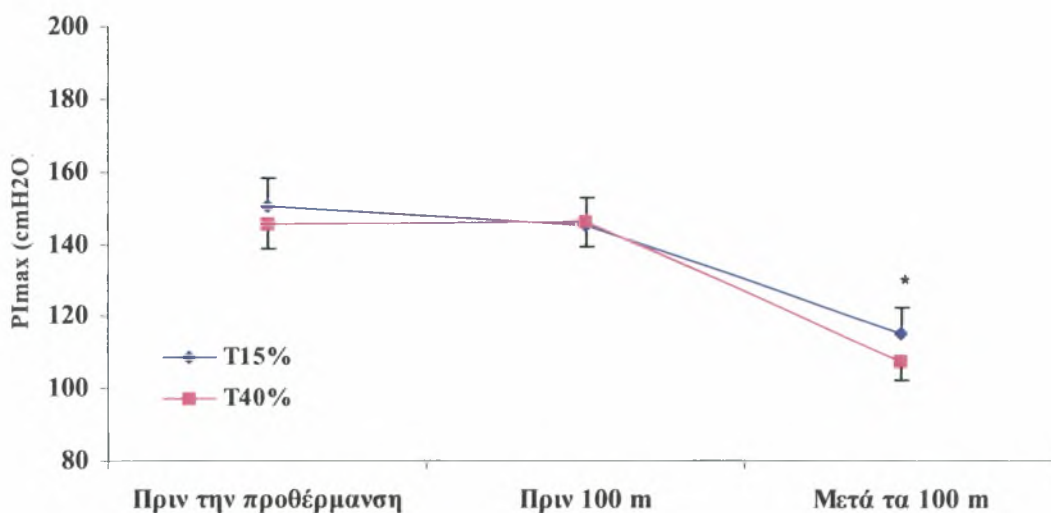
Πίνακας 5. Μεταβολές στην καρδιακή συχνότητα πριν και μετά την προσπάθεια των 100 m ελεύθερου.

ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (b/min)		
	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
T15	108,40±2,52	175,60±2,67
T40	109,80±3,89	177,87±1,96

T15: εισπνευστική προθέρμανση στο 15% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης; T40: εισπνευστική προθέρμανση στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης; ΠΡΙΝ: τιμή πριν τα 100 m ελεύθερο; ΜΕΤΑ: τιμή μετά τα 100 m ελεύθερο.

Μεταβολές στη μέγιστη εισπνευστική πίεση

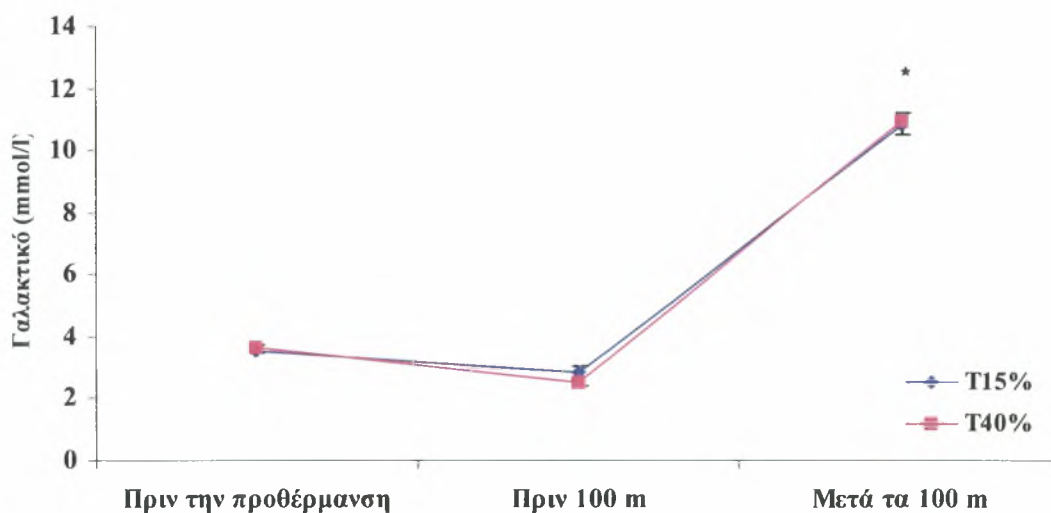
Η μέγιστη εισπνευστική πίεση επίσης, δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της P_Imax ($p>0,05$, Σχήμα 3). Η μέση τιμή της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, μειώθηκε σημαντικά στην μέτρηση μετά τα 100 m ελεύθερο ανεξάρτητα από τη συνθήκη (T15: $21\pm 13\%$, T40: $26\pm 13\%$; $F_{3,51}=56,54$, $p<0,05$ Σχήμα 3). Επιπλέον, η μεταβολή της P_Imax, δεν διέφερε μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και μετρήσεων, πριν την εισπνευστική προθέρμανση, πριν τα 100 m και μετά τα 100 m μέγιστης κολύμβησης ελευθέρου. ($F_{2,34}=1,17$, $p>0,05$, Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Μεταβολές της P_Imax, στις τρεις μετρήσεις για κάθε μία από τις πειραματικές συνθήκες T15 και T40. *: $p<0,05$ σε σύγκριση με τις προηγούμενες μετρήσεις.

Μεταβολές στη συγκέντρωση γαλακτικού

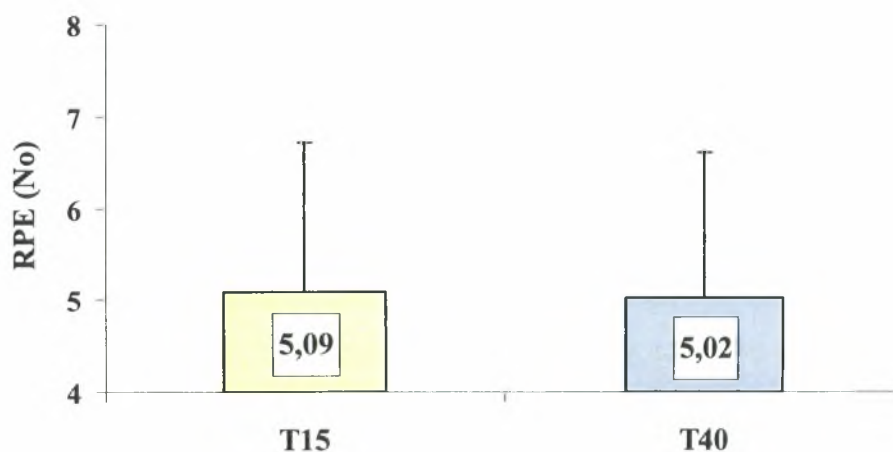
Η συγκέντρωση γαλακτικού, δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της $P_{I\max}$ ($p > 0,05$, Σχήμα 4). Η μέση τιμή της συγκέντρωσης γαλακτικού, αυξήθηκε σημαντικά στην μέτρηση μετά τα 100 m ελεύθερο ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($F_{2,34}=440,46$, $p < 0,05$). Επιπλέον, η μεταβολή της συγκέντρωσης γαλακτικού ανά τις μετρήσεις, δεν διέφερε μεταξύ των δύο συνθηκών και δεν παρατηρήθηκε αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και μετρήσεων, πριν την εισπνευστική προθέρμανση, πριν τα 100 m και μετά τα 100 m μέγιστης κολύμβησης ελευθέρου ($F_{2,34}=1,23$, $p > 0,05$, Σχήμα 4).



Σχήμα 4. Η συγκέντρωση γαλακτικού, στις τρεις μετρήσεις για κάθε μία από τις πειραματικές T15 και T40. *: $p < 0,05$ σε σύγκριση με τις προηγούμενες μετρήσεις.

Μεταβολές στην υποκειμενική αντίληψη κόπωσης

Η υποκειμενική αντίληψη κόπωσης, δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της $P_{I_{max}}$ ($p > 0,05$, Σχήμα 5). Η μέση τιμή της υποκειμενική αντίληψη κόπωσης, δεν αυξήθηκε σημαντικά στην μέτρηση μετά τα 100 m ελεύθερο ανεξάρτητα από τη συνθήκη ($t_{17} = 0,16$, $p = 0,86$).



Σχήμα 5. Υποκειμενική αντίληψη κόπωσης, μετά τα 100 μέτρα ελεύθερο στις δύο πειραματικές συνθήκες T15 και T40.

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάστηκαν οι μεταβολές της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης και της αγωνιστικής απόδοσης στην κολύμβηση. Τα κύρια ευρήματα της μελέτης, έδειξαν ότι η μέγιστη εισπνευστική πίεση και η απόδοση στα 100 m ελεύθερο παρέμειναν αμετάβλητες μετά από εισπνευστική προθέρμανση έντασης 15 και 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης σε έφηβους κολυμβητές. Επίσης αμετάβλητη έμεινε και η συγκέντρωση γαλακτικού μετά από την εισπνευστική προθέρμανση έντασης 15 και 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, όπως και η υποκειμενική αντίληψη κόπωσης.

Επίδοση στα 100 μέτρα ελεύθερο

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η επίδοση στα 100 m δεν διέφερε μετά από την εισπνευστική προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης. Αντίθετα, με την παρούσα, σε προηγούμενες έρευνες φάνηκε ότι η εισπνευστική προθέρμανση βελτιώνει την απόδοση στην κωπηλασία 6 λεπτών μέχρι εξάντλησης (Volianitis et al., 2001), την αντοχή σε παλίνδρομο τρέξιμο (Tong & Fu, 2006) και την απόδοση στα 200 m ελεύθερο διάρκειας 135s (Baross et al., 2002). Η βελτίωση της απόδοσης μπορεί να οφείλεται σε μείωση της έντασης της αίσθησης δύσπνοιας και της εκτίμησης του μεγέθους των εισπνευστικών φορτίων (Volianitis et al., 2001), σε βελτίωση της μέγιστης δυναμικής λειτουργίας των εισπνευστικών μυών (Romer et al., 2002a; Romer et al., 2002b), σε αύξηση της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, (11-17% ή 21%) (Baross et al., 2002; Lomax & McConnell, 2009), σε επίδραση της προενεργοποίησης (Ross et al., 2007) ή και το χαμηλότερο γαλακτικό στο αίμα (Lin et al., 2007) .

Στην παρούσα έρευνα ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε η ίδια εικόνα σε κανένα από τους παραπάνω παράγοντες και πιο συγκεκριμένα, η αίσθηση δύσπνοιας ήταν ίδια αφού η υποκειμενική κόπωση ήταν επίσης ίδια, η μέγιστη εισπνευστική πίεση το ίδιο, αλλά και το γαλακτικό στο αίμα, κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα και στις δύο συνθήκες. Ωστόσο σε όλες τις παραπάνω έρευνες, οι διαδικασίες αξιολόγησης της απόδοσης, διέφεραν σημαντικά σε σχέση με την παρούσα, στην διάρκεια της προσπάθειας, στις αναπνευστικές και μεταβολικές απαιτήσεις. Φάνηκε ότι σε διαδικασίες αξιολόγησης της απόδοσης

μεγαλύτερης διάρκειας, από την παρούσα έρευνα η εισπνευστική προθέρμανση βελτίωσε την απόδοση, όπως στην κωπηλασία 6 λεπτών μέχρι εξάντλησης (Volianitis et al., 2001), αλλά και σε μέγιστη κολύμβηση 200 m (Baross et al., 2002) η οποία διαρκεί 135 δευτερά αρκετά παραπάνω από 66 δευτερά της παρούσας έρευνας, αλλά και σε παλίνδρομο τρέξιμο διαλειμματικής μορφής (Tong & Fu, 2006). Επίσης, σε προηγούμενες μελέτες φαίνεται ότι οι μεταβολικές ανταποκρίσεις στη διάρκεια της προσπάθειας είναι διαφορετικές. Οι μεταβολικές απαιτήσεις στην διάρκεια της προσπάθειας, είναι σημαντικές για τον έλεγχο της έντασης μιας προσπάθειας. Κατά συνέπεια διαφορετικής έντασης προσπάθειες φαίνεται να εμφανίζουν διαφορετική επιρροή από την αναπνευστική προθέρμανση και μπορεί να αιτιολογήσουν τις διαφορές της παρούσας από τις προαναφερθείσες έρευνες.

Πέρα όμως από τους παραπάνω παράγοντες που αναφέρθηκαν, είναι πιθανό η απόδοση σε τέτοιας διάρκειας αγωνίσματα να καθορίζεται και από παράγοντες, όπως η ιδιαιτερότητα του νερού, η τεχνική και η δύναμη που εφαρμόζεται καθώς και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά. Η έρευνα των Lomax και McConnell (2003) ανέφερε ότι, η βύθιση αυξάνει την υδροστατική συμπίεση γύρω από το στήθος, η οποία ωθεί το τοίχος του θώρακα προς τα μέσα, όταν είναι πιο χαλαροί οι εισπνευστικοί μύες. Όπως η υδροστατική πίεση εξουδετερώνει την εισπνευστική μυϊκή δύναμη και παραμορφώνει το θωρακικό τοίχωμα, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι το έργο που επιτελείται από τους εισπνευστικούς μυς πρέπει να αυξηθεί σε μια προσπάθεια για την αντιμετώπιση αυτών των παραγόντων (Lomax & McConnell, 2003). Κάτι τέτοιο, είναι ιδιαίτερα έντονο σε μια προσπάθεια 100 m, και είναι πιθανό να συμβάλλει στην εμφάνιση της κόπωσης. Τέτοιοι περιορισμοί του αναπνευστικού συστήματος μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση κατά την άσκηση ακόμη και σε καλά προπονημένα άτομα (Boutellier et al., 1992), ιδιαίτερα σε υψηλές εντάσεις όπως σε μία προσπάθεια 100 m και μπορεί να δικαιολογήσουν τη μείωση της δύναμης των εισπνευστικών μυών. Είναι γνωστό ότι υπάρχουν μειώσεις της πνευμονικής λειτουργίας μετά από μέγιστη ή σχεδόν μέγιστη άσκηση (Coast et al., 1990; Johnson et al., 1993). Συμπεριλαμβάνονται σε αυτές τις μειώσεις και μειώσεις στη δυναμική ζωτική χωρητικότητα αλλά και τη μέγιστη εισπνευστική πίεση. Στην παρούσα έρευνα όμως, η μέγιστη εισπνευστική πίεση παρέμεινε αμετάβλητη και στις δύο συνθήκες, γεγονός που σε συνδυασμό με τα παραπάνω δικαιολογεί εν μέρει και την έλλειψη βελτίωσης της απόδοσης.

Επιπλέον η βύθιση αναγκάζει τον κολυμβητή να συντονίσει την αναπνοή με τις κινήσεις των χεριών, ενώ κατά τη διάρκεια της κολύμβησης, η αναπνευστική συχνότητα τείνει να είναι χαμηλότερη και ο αναπνεόμενος όγκος υψηλότερος σε σύγκριση με την αναπνοή κατά την άσκηση με ποδήλατο ή με τρέξιμο. Είναι φανερό λοιπόν ότι ο αέρας παραμένει στους πνεύμονες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, έτσι, μια ανώτερη θέση στο νερό επιτυγχάνεται και η πλευστότητα αυξάνεται. Αυτό βελτιώνει την μηχανική στο κολύμπι και μειώνει την αντίσταση (Lomax & McConnell, 2003). Ωστόσο, ο υψηλότερος αναπνεόμενος όγκος προκαλεί αύξηση στον υπολειπόμενο όγκο και η εισπνοή, καθώς το πρόσωπο αφήνει το νερό, γίνεται συντομότερη με τους μύες να λειτουργούν σε υψηλή ταχύτητα, σε μέγιστη προσπάθεια 100 m. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι απαιτήσεις που τίθενται από τους εισπνευστικούς μύες να είναι υψηλότερες. Γεγονός που μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την απόδοση. Είναι πιθανό δηλαδή η μείωση της απόδοσης και η μείωση της εισπνευστικής δύναμης να είναι αναπόφευκτη παρά τις διαφορετικές μορφές αναπνευστικής προθέρμανσης εξ' αιτίας της εξαιρετικά έντονης προσπάθειας που καταβάλουν οι κολυμβητές από τα πρώτα 25 m στην απόσταση των 100 m. Αυτό μπορεί να μην συμβαίνει σε μία προσπάθεια 200 m όπου οι κολυμβητές δεν ξεκινούν με μέγιστη ένταση από την αρχή αλλά επιμερίζουν τις δυνάμεις τους. Στην παρούσα μελέτη αυτό είναι φανερό και από την πορεία της επίδοσης για κάθε τμήμα 25 m, η οποία μειώθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη.

Η χειραγώγηση του έργου της αναπνοής κατά τη διάρκεια μέγιστης άσκησης, όμως στα 100 m ελεύθερο, οδηγεί σε μεγάλες αλλαγές στην ροή του αίματος στους κινητικούς μύες, την καρδιακή παροχή τόσο σε ολόκληρο το σώμα όσο και στην ενεργή πρόσληψη οξυγόνου των άκρων, τα οποία αποτελούν πιθανές αιτίες για τα παρόμοια επίπεδα απόδοσης (Harms et al., 1997; Harms et al., 1998). Σύμφωνα με προηγούμενες αναφορές, η εισπνευστική κόπωση, μπορεί να επέλθει σε ένα διάστημα μέχρι 6 λεπτά κατά τη διάρκεια της άσκησης υψηλής έντασης και αυθόρμητης αναπνοής (Volianitis et al., 2001). Σχετικά με το κολύμπι όμως που δεν είναι δραστηριότητα αυθόρμητης αναπνοής προηγούμενες έρευνες ανέφεραν, ότι η εισπνευστική μυϊκή κόπωση μεγέθους 11-27% εμφανίστηκε μετά από μόλις 2,7 έως 4,9 λεπτά υψηλής έντασης κολύμβησης ελεύθερου στυλ (Lomax & McConnell, 2003; Thomaidis et al., 2009), δηλαδή ταχύτερα από εκείνη που αναφέρεται στην βιβλιογραφία, σε άλλα αθλήματα ή δοκιμασίες απόδοσης. Έτσι σε

μία προσπάθεια 200 m, ελεύθερο που αντιστοιχεί στο 90-95% του ρυθμού αγώνα η αναπνευστική μυϊκή κόπωση επήλθε σε λιγότερο από 2,7 λεπτά (Lomax & McConnell, 2003), γεγονός που επιβεβαίωσε τον μικρότερο χρόνο εμφάνισης της στο κολύμπι. Ενώ η μείωση στην δύναμη των εισπνευστικών μυών και την εισπνευστική πίεση παρατηρείται μετά τα 300 m στο ελεύθερο (Thomaidis et al. 2009).

Ωστόσο όπως είναι φανερό όλες οι παραπάνω περιπτώσεις, διαφέρουν με την προσπάθεια των 100 m μέγιστης έντασης. Η επίδοση για κάθε τμήμα 25 m, έδειξε ότι είναι πολύ πιθανή στα 100 m η πρόωρη εμφάνιση της αναπνευστικής κόπωσης, ή μια πιθανά μεγαλύτερη επίδραση της στην απόδοση σε μια τόσο έντονη προσπάθεια. Τα παραπάνω δείγματα επιβεβαιώνει και η βιβλιογραφία αφού οι Brown και Kilding (2010) ανέφεραν ότι στη διάρκεια μιας προσπάθειας 100 m εμφανίζεται σημαντική κόπωση των αναπνευστικών μυών η οποία επηρεάζει άμεσα και την απόδοση. Βέβαια η επίδραση της κόπωσης στα 100 m είναι πιο εμφανής δεδομένου της συντομότερη αναπνοή αυξάνοντας τον αριθμό των αναπνοών, με τους εισπνευστικούς μύες να λειτουργούν σε υψηλή ταχύτητα. Η προθέρμανση των εισπνευστικών μυών θεωρήθηκε πιθανό να φανεί χρήσιμη και ωφέλιμη και σε αποστάσεις όπως τα 100, σε σχέση με τα 200 m και αυτό γιατί αποδείχθηκε ότι η κόπωση μπορεί να επέλθει πολύ νωρίτερα από τα μέχρι τώρα δεδομένα (Brown & Kilding, 2010).

Εξάλλου το έργο της αναπνοής που αναφέρθηκε νωρίτερα, το οποίο συνήθως εμφανίζεται κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης άσκησης φάνηκε να συμβάλλει σημαντικά στην περιφερειακή κόπωση και αντιστρόφως, η κόπωση των αναπνευστικών μυών επιδεινώνεται με την περιφερική κόπωση. Καθώς αυξάνεται η ένταση της άσκησης, η οποία στα 100 m ήταν μέγιστη, το έργο της αναπνοής είναι πιθανό να αυξάνεται (Harms et al., 1998). Η επίδραση στην αναπνευστική και περιφερική κόπωση, φάνηκε όμως ότι και στις δύο συνθήκες, ήταν ίδια. Δεδομένου βέβαια ότι η αναπνοή που υιοθετούν οι κολυμβητές τους θέτει σε λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες, με τις καμπύλες δύναμης-ταχύτητας και μήκους-τάσης να είναι με την αναπνοή αυτή, πιο ευαίσθητες στην κόπωση η οποία μπορεί όντως να επέλθει νωρίτερα από τις αναφορές και να αναγκάσει τους εισπνευστικούς μύες, να δουλεύουν σε άλλη συχνότητα ακόμα και σε καλά προπονημένους κολυμβητές (Lomax & McConnell, 2003). Δεδομένης λοιπόν της εμφάνισης της κόπωσης νωρίτερα, όπως εικάζεται από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας και αποδεικνύεται από προηγούμενες, η κόπωση, πέρα από την φυσιολογική

απόδοση σίγουρα επηρεάζει και την τεχνική και τη δύναμη που εφαρμόζεται. Μια εξήγηση για την επίδραση της αναπνευστικής απόδοσης και της κόπωσης, στην τεχνική και τις τεχνικές παραμέτρους, όπως το μήκος και η συχνότητα χεριών της κολύμβησης δόθηκε, από την παραπάνω έρευνα των Lomax και Castle (2011). Ανέφεραν ότι, κατά την ενεργοποίηση συγκεκριμένων μυών στην ελεύθερη κολύμβηση υπό υψηλή ένταση και με βαθιές εισπνοές, η λειτουργία και η απόδοση της κάθε χεριάς μειώνονταν. Έτσι αντισταθμιστικά μειώνονταν και η ικανότητα δημιουργίας-παραγωγής δύναμης ανά χεριά, ένα καλό αναπνευστικό μυϊκό σύστημα και καλή εισπνοή και εκπνοή όμως είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση της αποτελεσματικής μηχανικής κίνησης στο κολύμπι (Wells et al., 2005). Είναι εμφανές λοιπόν ότι η έλλειψη βελτίωσης της απόδοσης μετά από αναπνευστική προθέρμανση έχει μια πολυπαραγοντική διάσταση και είναι πιθανό να οφείλεται στην υψηλή ένταση της προσπάθειας και τις ειδικές συνθήκες στη διάρκεια κολύμβησης. Η αυξημένη ένταση και οι συνθήκες στο υδάτινο περιβάλλον είναι πιθανό να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην πρόκληση κόπωσης από ότι μία αναπνευστική προθέρμανση για να αντιστρέψει αυτό το γεγονός.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί η κολυμβητική προθέρμανση που προηγήθηκε, να προκάλεσε αυξημένη επιβάρυνση, άρα πιθανά και κόπωση μετά και την αναπνευστική προθέρμανση. Έτσι τα επίπεδα της έντασης των αναπνευστικών μυών θα ήταν ήδη αυξημένα και σε συνδυασμό με εκείνα της αναπνοής που υιοθετείται κατά την διάρκεια της προσπάθειας των 100 m επηρέασαν σημαντικά και την πορεία της απόδοσης. Οι μεταβολικές ανταποκρίσεις σε μέγιστες προσπάθειες αξιολόγησης, θα πρέπει να προσαρμόζονται με τις αναπνευστικές και να μην διαφέρουν, ώστε η μεταβολική επιβάρυνση και η αναπνευστική να είναι ίδια και τα αποτελέσματα να έχουν μικρότερη διακύμανση και να παρουσιάζουν ομοιομορφία. Δεδομένα τα οποία σαφώς και επηρεάζονται άμεσα από την γενική προθέρμανση που προηγείται. Έτσι ενδεχομένως να απαιτείται εφαρμογή διαφορετικού πρωτοκόλλου προθέρμανσης στην κολύμβηση, με διαφορετικά στοιχεία επιβάρυνσης σχετικά με τους αναπνευστικούς μύες, όμοια με εκείνα της απόστασης που χρησιμοποιείται για αξιολόγηση της μέγιστης απόδοσης.

Επίδραση στη συχνότητα χεριάς και το μήκος χεριάς

Η συχνότητα χεριάς στα 100 m δεν διέφερε μετά την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης. Η συχνότητα για κάθε τμήμα 25 m μειώθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη. Οι παραπάνω διαφορές στην συχνότητα χεριάς, πολύ πιθανά, οφείλονται σε μεταβολές της δύναμης χεριάς. Οι αυξήσεις στη μυϊκή δύναμη, καθιστούν ικανούς τους κολυμβητές να εφαρμόσουν περισσότερη δύναμη κατά τη διάρκεια κάθε χεριάς (Maglisco, 1992; Αυλωνίτου, 2000). Η εφαρμογή μεγαλύτερης δύναμης, επηρεάζει άμεσα το μήκος αλλά και την συχνότητα χεριάς, αφού επιδρά άμεσα και στην κολυμβητική ταχύτητα (Barbosa, Fernandes, Keskinen & Vilas-Boas, 2008). Βέβαια, αντίθετα με ότι αναμενόταν σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το μήκος χεριάς στα 100 m δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης. Επιπλέον, για κάθε τμήμα 25 m, σε αντίθεση με την συχνότητα, το μήκος χεριάς δεν μειώθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη. Το παραπάνω γεγονός αιτιολογείται από παράγοντες που επιδρούν στην ικανότητα τεχνικής, στο μήκος και στην συχνότητα χεριάς, τέτοιοι είναι οι σημαντικές αλλαγές στα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, μηχανικές αλλαγές, αλλά και αλλαγές στις μηχανικές ικανότητες (Vorontsov & Binevsky, 2002). Έτσι διαφορές στη συχνότητα και το μήκος χεριάς πρέπει να αναφερθεί ότι επηρεάζουν και επηρεάζονται από την ταχύτητα (Vorontsov & Binevsky, 2002). Η ταχύτητα ωστόσο δεν διέφερε μεταξύ των συνθηκών και για τον λόγο αυτό πιθανά δεν διέφεραν και παράγοντες, όπως οι παραπάνω που επηρεάζονται από αυτή.

Οι Lomax και Castle (2011) αξιολόγησαν τον αντίκτυπο της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης στις ληφθείσες συνολικά αναπνοές, τις αναπνοές ανά λεπτό, τον συνολικό αριθμό χεριών, την συχνότητα χεριάς, αλλά και το μήκος χεριάς, κατά τη διάρκεια σταθερής ταχύτητας κολύμβησης ελεύθερου στιλ. Από τα δεδομένα αποδεικνύεται ότι η αύξηση στις συνολικά ληφθείσες αναπνοές και τις αναπνοές ανά λεπτό με την παρουσία της εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης, εν μέρει, οφείλονται σε μια προσπάθεια να μειωθεί η δύσπνοια. Έτσι μειώθηκαν και το μήκος χεριάς και η συχνότητα χεριάς αλλά και αυξήθηκε ο αριθμός χεριών. Σε συμφωνία με τα παραπάνω, στην παρούσα έρευνα, στην διάρκεια των 100 m, μειώθηκε σημαντικά μόνο η συχνότητα χεριάς, το μήκος χεριάς μειώθηκε μεν αλλά όχι σημαντικά, ενώ ο αριθμός των χεριών αυξήθηκε. Ωστόσο, όσο

ένας αριθμός συγκεκριμένων και των ίδιων μυών στρατολογούνται κατά τη διάρκεια βαθείας εισπνοής στην ελεύθερη κολύμβηση, η πιθανότητα συντονισμού χεριάς αναπνοής άλλαζε. Έτσι αντισταθμιστικά η μειωμένη ικανότητα δημιουργίας-παραγωγής δύναμης πρέπει να ληφθεί υπόψη για αλλαγές στη συχνότητα χεριάς, στο μήκος, αλλά και στον αριθμός χεριών.

Μεταβολές στον αριθμός αναπνοών

Δεν εμφανίστηκαν διαφορές μεταξύ των πειραματικών συνθηκών στον αριθμό αναπνοών στην προσπάθεια των 100 m. Τα δεδομένα του αριθμού των αναπνοών είναι σε συμφωνία με την έλλειψη στατιστικά σημαντικών διαφορών στην απόδοση, καθώς είναι από τις μεταβλητές που την επηρεάζουν άμεσα. Ο αριθμός αναπνοών αυξήθηκε σημαντικά στο 2^ο, 3^ο και 4^ο σε σύγκριση με το πρώτο 25άρι ανεξάρτητα από τη συνθήκη. Αύξηση του αριθμού αναπνοών μπορεί να αποδοθεί στην κόπωση των αναπνευστικών μυών στη διάρκεια κολύμβησης (Lomax & Castle, 2011). Η κόπωση των αναπνευστικών μυών μπορεί να προκαλέσει αύξηση της συχνότητας αναπνοής με στόχο να περιοριστεί η δύσπνοια που αναπτύσσεται στη διάρκεια της προσπάθειας (Lomax & Castle, 2011). Ωστόσο, η αύξηση της συχνότητας αναπνοής δεν μπορεί να αποδοθεί μόνο στην αναπνευστική κόπωση αφού είναι απίθανο να εμφανίστηκε αυτή η μορφή κόπωσης από το πρώτο τμήμα 25 m. Αυτό είναι πιθανό να συνέβη στο τελευταίο τμήμα των 25 m και επιβεβαιώνεται από τη μείωση της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης μετά το τέλος της προσπάθειας των 100 m. Ο αυξημένος αριθμός αναπνοών στο δεύτερο και τρίτο τμήμα 25 m μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη ανάγκη για πρόσληψη οξυγόνου καθώς εξελίσσεται η μέγιστη προσπάθεια. Μπορεί λοιπόν εύκολα να γίνει συνδυασμός των μεταβολών και των προσαρμογών, στις δύο έρευνες, λέγοντας ότι ο αριθμός των αναπνοών αυξήθηκε υπό την παρουσία εισπνευστικής μυϊκής κόπωσης η λόγω της ανάγκης για αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ T15 και T40 και αυτό πιθανά οφείλεται στην αδυναμία της προθέρμανσης T40 να επιδράσει σημαντικά στη λειτουργία των αναπνευστικών μυών.

Επίδραση στην μέγιστη εισπνευστική πίεση

Η μέγιστη εισπνευστική πίεση επίσης, δεν διέφερε μετά από την προθέρμανση με ένταση 15% σε σχέση με την προθέρμανση στο 40% της P_Imax. Η εικόνα της P_Imax,

έρχεται σε αντίθεση, με την προηγούμενη βιβλιογραφία, η οποία αναφέρει ότι η εισπνευστική δραστηριότητα βασισμένη σε μέτριας έντασης προθέρμανση, αυξάνει την ικανότητα παραγωγής δύναμης κατά $7.0 (\pm 1.0) \%$ (Volianitis et al., 2001a), μειώνοντας την αίσθηση δύσπνοιας (Volianitis et al., 2001b). Γεγονός το οποίο επιβεβαίωσαν και οι Romer και συν. (2002a; 2002b) που αναφέρουν ότι η βελτίωση της μέγιστης δυναμικής λειτουργίας των εισπνευστικών μυών, θα μπορούσε να μειώσει την ένταση της αίσθησης δύσπνοιας κατά τη διάρκεια υπομέγιστης και σταδιακή μέγιστης άσκησης σε παλίνδρομο τρέξιμο. Οι Volianitis και συν. (1999) επίσης ανέφεραν ότι η ειδική αναπνευστική προθέρμανση αυξάνει την $P_{I_{max}}$ κατά $8.5 \pm 1.8\%$ ($P < 0.0001$), σε σχέση με την προθέρμανση για όλο το σώμα.

Η αντίθεση με τις παραπάνω έρευνες είναι φανερή, αφού δεν αυξήθηκε η ικανότητα παραγωγής δύναμης, δεν μειώθηκε η αίσθηση δύσπνοιας, ούτε αυξήσεις της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης παρατηρήθηκαν. Μετά από προσπάθεια 100 m έχει παρατηρηθεί μείωση της $P_{I_{max}}$ κατά 8-29% (Brown & Kilding, 2010; Lomax & Mc Connell, 2011). Στην παρούσα ωστόσο έρευνα η μέση τιμή της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης, μειώθηκε σημαντικά μετά τα 100 m ελεύθερο ανεξάρτητα από τη συνθήκη (T15: $21 \pm 13\%$, T40: $26 \pm 13\%$; $F_{3,51} = 56,54$, $p < 0,05$ Σχήμα 3). Ένα καλό αναπνευστικό μυϊκό σύστημα με καλή εισπνοή και εκπνοή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη διατήρηση της αποτελεσματικής μηχανικής κίνησης στο κολύμπι (Wells et al., 2005). Στην περίπτωση των κολυμβητών που συμμετείχαν στην έρευνα αυτή, μπορεί να ήταν καλά προπονημένοι αλλά δεν είχαν υποστεί ποτέ αναπνευστική προπόνηση ή προθέρμανση και ίσως αυτή να είναι μία αιτία για την έλλειψη προσαρμογών μετά την προθέρμανση που εφαρμόστηκε. Γεγονός που αποδεικνύεται από αναφορές άλλων ερευνητών (Dempsey et al., 1996; Dempsey et al., 1990) που υποστηρίζουν ότι μόνο παρατεταμένα προγράμματα προπόνησης και κυρίως αερόβια, προκαλούν μερικές μορφολογικές ή και λειτουργικές αλλαγές σε πνεύμονες ενηλίκων ατόμων. Έτσι πιθανά η προθέρμανση να μην επέδρασε γιατί δεν είχε εφαρμοστεί με παρατεταμένο και συστηματικό χαρακτήρα, πεποίθηση που ενισχύεται από τις αναφορές των Volianitis και συν. (1999), οι οποίοι ανέφεραν ότι η εισπνευστική δύναμη προσαρμόζεται και αυξάνεται μετά τη συστηματική άσκηση-προθέρμανση, φαινόμενο παρόμοιο με αυτό των σκελετικών μυών. Βέβαια στην έρευνα των Baross και συν. (2002) η αναπνευστική προθέρμανση αύξησε σημαντικά την εισπνευστική δύναμη (πρίν την προθέρμανση: 112 ± 14.0 cm H₂O; μετά την προθέρμανση: 135 ± 16.1 cm H₂O; $p <$

0.007) αλλά χωρίς σημαντική επίδραση στην αναπνευστική λειτουργία, ενώ η προθέρμανση εφαρμόστηκε με όμοιο τρόπο με την παρούσα έρευνα και όχι παρατεταμένα.

Επίσης οι προπονημένοι αθλητές, όπως έχει δείξει και η βιβλιογραφία, ανταποκρίνονται, διαφορετικά στην κόπωση των αναπνευστικών μυών σε σχέση με τους απροπόνητους. Το ίδιο πιθανά να συμβαίνει και με την προθέρμανση, η οποία εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα, σε καλά προπονημένους κολυμβητές. Στο παρελθόν αποδείχθηκε ότι κατά τη διάρκεια αερόβιας άσκησης, όπως συμβαίνει στην αναπνευστική προπόνηση και στην ανταγωνιστική κολύμβηση, παρατηρούνται σημαντικές προσαρμογές των αναπνευστικών μυών, αυξάνοντας έτσι την αντοχή και τη δύναμή τους (O'Kroy et al., 1992). Παράγοντες όμως ήδη αυξημένοι στα άτομα που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα, αφού με την κολυμβητική προπόνηση βελτιώνονται τα ποσοστά των αναπνευστικών παραμέτρων (Dempsey, 1990; Wells et al., 2005; Sampanis, 2006; Sampanis, 2011). Λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές που προκαλεί η κολυμβητική προπόνηση, στους αναπνευστικούς παράγοντες, καθίσταται σαφές ότι η αναπνευστική προθέρμανση που εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα, ήταν ίσως ένα πολύ μικρό ερέθισμα στο ήδη προπονημένο αναπνευστικό μυϊκό σύστημα των συμμετεχόντων. Δεδομένο το οποίο δικαιολογεί ίσως και την έλλειψη βελτιώσεων στην κολυμβητική απόδοση. Έτσι ενδεχομένως οι συγκεκριμένοι αθλητές να χρειαζόταν ένα διαφορετικό πρωτόκολλο με διαφορετικά στοιχεία επιβάρυνσης, ως προς τις εντάσεις, τις επαναλήψεις και τα διαλείμματα, το οποίο να επέφερε καλύτερα αποτελέσματα στην μέγιστη εισπνευστική πίεση η οποία ήταν σε επίπεδα προπονημένων αθλητών.

Βέβαια σε μια μέγιστη προσπάθεια 100 m όπως αυτή που εκτέλεσαν οι κολυμβητές που συμμετείχαν στην έρευνα, οι περιορισμοί του αναπνευστικού συστήματος που επέρχονται είναι πολλοί και μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση κατά την άσκηση σε καλά προπονημένα άτομα (Boutellier et al, 1992), ιδιαίτερα σε υψηλές εντάσεις, όπου το αυξημένο έργο της αναπνοής αλλοιώνει τις επιδόσεις (Harms et al., 2000; Coast et al., 1990; Johnson et al., 1993). Τέτοιοι περιορισμοί είναι οι μειώσεις στη δυναμική ζωτική χωρητικότητα αλλά και τη μέγιστη εισπνευστική πίεση, η οποία ήταν εμφανώς μειωμένη μετά την προσπάθεια των 100 m (T15: $21 \pm 13\%$, T40: $26 \pm 13\%$; $F_{3,51}=56,54$, $p < 0,05$ Σχήμα 3). Είναι γεγονός, ότι λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη η παρουσία αναπνευστικής κόπωσης μετά από μια τέτοια προσπάθεια η οποία είναι πιθανόν μη αναστρέψιμη από την εφαρμογή της προθέρμανσης με ένταση 40% της PImax στην

παρούσα μελέτη. Άλλη έρευνα όμως ανέφερε βελτιώσεις στην $P_{I\max}$ κατά $20+6.1\%$ ($p<0.01$) μετά την αναπνευστική προπόνηση και $26.7+6.3\%$ ($p<0.01$) όταν η αναπνευστική προπόνηση συνδυάστηκε με αναπνευστική προθέρμανση, με αυτό τον συνδυασμό, είναι πιθανή η παράταση ή η εμφάνιση μικρότερου βαθμού κόπωσης (Lomax et al., 2011).

Τέλος η άσκηση από μόνη της σε τόσο υψηλή ένταση αιτιολογεί την κινητική της εισπνευστικής πίεσης αφού επηρεάζει την πνευμονική λειτουργία ανεξάρτητα από την αναπνευστική μυϊκή εργασία που διεξάγεται (Coast et al., 1999). Κατά την έντονη άσκηση, όταν το επίπεδο των αναπνευστικών απαιτήσεων είναι τέτοιο περιορίζεται σοβαρά η εκπνευστική ροή, αφού το κόστος της αναπνοής σε οξυγόνο μπορεί να προσεγγίσει το 15% της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου. Πόσο μάλλον στην περίπτωση των 100 m ελευθέρου που είναι έντονη προσπάθεια και σε υδάτινο περιβάλλον. Το μεταβολικό κόστος της αναπνοής στα 100 m αποτελείται από το κύριο αναπνευστικό σύστημα και από τη ρύθμιση-σταθεροποίηση των μυών του θωρακικού τοιχώματος, καθώς και από τη ζήτηση για αιμάτωση των εμπλεκόμενων μυών για την επίτευξη του παραπάνω κόστους (Harms et al., 1998). Κόστος που θα μπορούσε επίσης, να περιορίσει τη ροή αίματος στους κινητικούς μύες και έτσι να περιορίσει και το παραγόμενο έργο τους (Harms et al., 1997). Δεδομένα που αποτελούν επίσης, σε συνδυασμό με τα παραπάνω, πιθανές εξηγήσεις για την έλλειψη βελτιώσεων στην μέγιστη εισπνευστική πίεση και την επίδοση. Τέλος σε προηγούμενη έρευνα σημειώθηκε ότι, η ένταση της αίσθησης δύσπνοιας κατά τη διάρκεια της άσκησης ήταν ανάλογη με το μέγεθος της παραγωγής δύναμης των εισπνευστικών μυών σε σχέση με τη μέγιστη δυναμική που αναγκάζει τους αναπνευστικούς μύες να παράγουν και να χρησιμοποιούν τη δύναμη αυτή (Tong et al., 2004). Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψη την διαπίστωση αυτή είναι εύκολο να συμπεράνουμε τον λόγο που δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των δύο συνθηκών στην μέγιστη εισπνευστική πίεση. Από την εικόνα της αίσθησης δύσπνοιας και της υποκειμενικής κόπωσης η οποία ήταν ίδια και στις δύο συνθήκες, φάνηκε ότι τα αποτελέσματα στην αναπνευστική δύναμη δεν θα διαφοροποιηθούν αφού η συγκεκριμένη προθέρμανση δεν κατέστη ικανή να επιδράσει στην αίσθηση δύσπνοιας.

Επίδραση στη συγκέντρωση γαλακτικού

Δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των συνθηκών T15 και T40 στις τιμές του γαλακτικού στο αίμα πριν και μετά την αναπνευστική προθέρμανση αλλά και

στο τέλος της προσπάθειας των 100 m. Εξάλλου οι συσταλτικές ιδιότητες και οι προσαρμογές των αναπνευστικών μυών, άρα και το γαλακτικό επηρεάζονται από το ιστορικό προενεργοποίησης (Ross et al., 2007). Μια σύντομη διάρκειας και υπομέγιστης έντασης προενεργοποίηση των μυών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ανταπόκριση μεταβολική και συσταλτική (Ross et al., 2007). Συνεπώς μια πιθανή εξήγηση της παρόμοιας εικόνας στο γαλακτικό πριν και μετά την προθέρμανση, είναι το γεγονός ότι η προθέρμανση εφαρμόστηκε μια φορά και όχι για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συνεπώς οι πιθανότητες οι αναπνευστικοί μύες των συμμετεχόντων, να παράγουν λιγότερο γαλακτικό, ή να το χρησιμοποιούν περισσότερο ως καύσιμο για τη δική τους δραστηριότητα στην T40, είναι περιορισμένες. Μπορεί το καλό αναπνευστικό επίπεδο τους σαν κολυμβητές να τους επέτρεπε να παράγουν λιγότερο γαλακτικό, λόγω της μείωσης στη συνολική ζήτηση ενέργειας των μερικώς προπονημένων αναπνευστικών μυών, εξαιτίας της κολυμβητικής προπόνησης στην οποία συστηματικά συμμετείχαν, όχι όμως τόσο όσο θα αναμενόταν μετά από μια περίοδο συστηματικής αναπνευστικής προπόνησης. Συνεπώς είναι φανερό ότι η αναπνευστική προθέρμανση που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη, δεν επηρεάζει τη συγκέντρωση γαλακτικού.

Αρκετές έρευνες αναφέρουν μειώσεις γαλακτικού μετά από αναπνευστική προπόνηση (Spengler et al., 1999; Volianitis et al., 2001a; 2001b; Griffiths & McConnell, 2006) ενώ οι Romer και συν. (2002) μετά την αναπνευστική προπόνηση σε ποδηλάτες ανέφεραν μια τάση για μείωση της συγκέντρωσης γαλακτικού στο αίμα ($-8 \pm 2\%$ από τις αρχικές τιμές), αν και αυτό απέτυχε να φθάσει το επίπεδο σημαντικότητας και οι Romer και συν. (2002b), ανέφεραν ίδια κινητική στο γαλακτικό. Υπήρχαν βέβαια και έρευνες οι οποίες βρήκαν ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις γαλακτικού στο αίμα μετά από τις δοκιμές ήταν επίσης ανεπηρέαστες από την αναπνευστική προπόνηση (Edwards & Cooke, 2004). Επίσης και οι Edwards και συν. (2008) ανέφεραν ότι δεν υπήρχαν διαφορές στο γαλακτικό μετά την αναπνευστική και την καρδιοαναπνευστική προπόνηση. Παρόμοια οι Wells και συν. (2005) ανέφεραν ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ ανδρών και γυναικών στις μέγιστες τιμές γαλακτικού. Δεν υπήρχαν βελτιώσεις στην ταχύτητα στο γαλακτικό κατώφλι ή στις μέγιστες τιμές γαλακτικού μετά την ταυτόχρονη εισπνευστική και εκπνευστική προπόνηση.

Ωστόσο σε αντίθεση με την παρούσα υπήρχε έρευνα στην οποία το γαλακτικό ήταν χαμηλότερο μετά από αναπνευστική προθέρμανση (Lin et al., 2007). Συμπεραίνεται

λοιπόν ότι η αναπνευστική προθέρμανση ίσως αν ήταν συνδυασμένη με αναπνευστική προπόνηση πέρα από άλλες βελτιώσεις, θα επέφερε θετικές προσαρμογές στο μεταβολισμό του γαλακτικού.

Μεταβολές στην υποκειμενική αντίληψη κόπωσης

Η αίσθηση δύσπνοιας που προκαλείται κατά τη διάρκεια έντονης διαλειμματικής άσκησης μέχρι εξάντλησης, σε προπονημένα άτομα φάνηκε να παίζει ρόλο στον περιορισμό της διατήρησης της άσκησης (Tong et al., 2001a; Tong et al., 2003a; Tong et al., 2004). Επίσης σε έρευνα των παραπάνω ερευνητών σημειώθηκε ότι, η ένταση της αίσθησης δύσπνοιας κατά τη διάρκεια της άσκησης ήταν ανάλογη του μεγέθους παραγωγής δύναμης των εισπνευστικών μυών σε σχέση με τη μέγιστη δυναμική που οι εισπνευστικοί μύες αναγκάζονται να χρησιμοποιούν τη δύναμη αυτή (Tong et al., 2004). Όσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή δύναμης των εισπνευστικών μυών, τόσο αυξάνεται η αίσθηση δύσπνοιας, αφού τόσο οι εισπνευστικοί μύες αναγκάζονται να χρησιμοποιούν τη δύναμη αυτή. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η σημαντική αναπνευστική κόπωση που προκαλείται από τις αναπνευστικές απαιτήσεις που επιβάλλονται μετά, από υψηλής έντασης άσκηση, σε άτομα με ποικιλία επιπέδων φυσικής κατάστασης, επηρεάζει την απόδοση.

Κάτι τέτοιο ενδεχομένως να μπορεί να εξηγήσει την έλλειψη σημαντικών διαφορών μεταξύ των δύο συνθηκών. Κατά συνέπεια, αφού η παραγωγή δύναμης και μέγιστη εισπνευστική πίεση κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα (Σχήμα 3), ήταν λογικό και αναμενόμενο και η αίσθηση δύσπνοιας να κυμανθεί στα ίδια επίπεδα. Επιπλέον ο χρόνος που σημειώθηκε στα 100 m ελεύθερο, ήταν παρόμοιος, κάτι που αποδεικνύει ότι το μέγεθος της προσπάθειας δεν διέφερε σημαντικά και κατ' επέκταση, η αίσθηση κόπωσης και η δύσπνοια δικαιολογούνται να είναι παρόμοιες.

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα, φάνηκε ότι ο συνδυασμός της κολυμβητικής και της αναπνευστικής προθέρμανσης με ένταση 40% της PI_{max} , δεν έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση στα 100 m ελεύθερο και στην PI_{max} σε σχέση με μια τυπική κολυμβητική προθέρμανση. Η διάρκεια της προσπάθειας των 100 m (66 s) είναι πιθανόν ικανή να προκαλέσει καταλυτική κόπωση στους αναπνευστικούς μύες σε τέτοιο βαθμό που δεν είναι αναστρέψιμη με την αναπνευστική προθέρμανση που εφαρμόστηκε. Παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της PI_{max} ανεξάρτητα από τον τύπο προθέρμανσης και ανεξάρτητα από την συνθήκη. Είναι πιθανό να απαιτείται μια προθέρμανση σχεδιασμένη με βάση τα χαρακτηριστικά της μέγιστης προσπάθειας. Επίσης μπορεί να χρειάζεται και η εφαρμογή διαφορετικού πρωτοκόλλου κολυμβητικής προθέρμανσης, η οποία να προκαλέσει διαφορετική επιβάρυνση στους αναπνευστικούς μύες όμοια με εκείνη της έντασης της αναπνοής που υιοθετείται κατά την διάρκεια της προσπάθειας αξιολόγησης της απόδοσης. Οι μεταβολικές ανταποκρίσεις σε μέγιστες προσπάθειες, θα πρέπει να προσαρμόζονται με τις αναπνευστικές και να μην διαφέρουν, ώστε η μεταβολική επιβάρυνση και η αναπνευστική να είναι ίδια και τα αποτελέσματα να έχουν μικρότερη διακύμανση και να παρουσιάζουν ομοιομορφία.

VII. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Γενικά, για την πλήρη κάλυψη του θέματος, με το οποίο ασχολήθηκε η παρούσα μελέτη προτείνεται να πραγματοποιηθεί με σειρά επιπλέον ερευνών με σκοπό:

- Το ρυθμό μεταβολής της απόδοσης και της μέγιστης εισπνευστικής πίεσης στη διάρκεια της μέγιστης προσπάθειας.
- Να ερευνηθεί μεγαλύτερο εύρος ηλικιών και να συγκριθούν με τις τιμές ενηλίκων κολυμβητών.
- Να μελετηθεί η απόδοση και η μέγιστη εισπνευστική πίεση, μετά από εκτέλεση διαφορετικού πρωτοκόλλου κολυμβητικής και αναπνευστικής προθέρμανσης στα 100 m ελεύθερο.
- Να μελετηθεί η απόδοση και η μέγιστη εισπνευστική πίεση, μετά από την εκτέλεση του ίδιου πρωτοκόλλου κολυμβητικής και αναπνευστικής προθέρμανσης σε μεγαλύτερη κολυμβητική απόσταση πχ 200-400 m.
- Να γίνουν συγκρίσεις σε όλες τις παραμέτρους μεταξύ αγοριών και κοριτσιών.

VIII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aaron, E.A., Seow, K.C., Johnson, B.D. & Dempse, J.A. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1818-1825.
- 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.
- American Thoracic Society/European Thoracic Society (2005). Series "Task Force: Standardisation of lung function testing". *European Respiratory Journal*, 26, 153-968.
- Arnett, M.G. (2002). Effects of prolonged and reduced warm-ups on diurnal variation in body temperature and swim performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16,2, 256-261.
- Avlonitou, E. (1994). Somatometric variables for preadolescent swimmers. *The journal of sports medicine and physical fitness*, 34,2, 183-191.
- Babcock, M.A., Pegelow, D.F., Johnson, B.D. & Dempsey, J.A. (1996). Aerobic fitness effects on exercise-induced low-frequency diaphragm fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 81,5, 2156-2164.
- Barbosa, T.M., Fernandes, R.J., Keskinen, K.L. & Vilas-Boas, J.P. (2008). The influence of stroke mechanics into energy cost of elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 139-149.
- Baross, A.W., Howorth, M., Talbot, C. & Doherty, M. (2002). The effect of two respiratory warm-ups on inspiratory muscle strength and performance in age-group swimmers: a comparison (abstract). *Journal of Sports Sciences*, 20, 45.

- Bishop, D. (2003). Warm Up II, Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33,7, 483-498.
- Blimkie, C. (1992). Resistance training during pre- and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms and persistence. *Canadian Journal of Sports Science*, 17, 264-279.
- Borg, G.A.V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 377-381.
- Boussana, A., Galy, O., Hue, O., Matecki, S., Varray, A., Ramonatxo, M. & Le Gallais, D. (2003). The effects of prior cycling and a successive run on respiratory muscle performance in triathletes. *International Journal Sports Medicine*, 24, 63-70.
- Boutellier, U. & Piwko, P. (1992). The respiratory system as an exercise limiting factor in normal sedentary subjects. *Journal of Applied Physiology*, 64, 145-152.
- Boutellier, U., Buchel, R., Kundert, A. & Spengler, C. (1992). The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 65:347-353.
- Brown, S., & Kilding, A.E. (2010). Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: The effect of race distance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Published on-line ahead of print.
- Brown, P. A., Sharpe, G. R. & Johnson, M. A. (2008). Inspiratory muscle training reduces blood lactate concentration during volitional hyperpnoea. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 111-117.
- Chiu, L.Z., Fry, A.C., Schilling, B.K., Johnson, E.J. & Weiss, L.W. (2004). Neuromuscular fatigue and potentiation following two successive high intensity resistance exercise sessions. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 385-392.

- Chiu, L.Z., Fry, A.C., Weiss, L.W., Schilling, B.K., Brown, L. & Smith, S.L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 671-677.
- Coast, J.R., Clifford, P.S., Henrich, T.W., Stray-Gundersen, J. & Johnson, R.L. (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 Sports Medicine*, 20, 470-475.
- Cruickshank, A., Peyrebrune, M.C., & Caine, M.P. (2007). Inspiratory muscle warm-up improves performance in elite swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 211.
- Dempsey, J.A., Harms, C.A. & Ainsworth, D.M. (1996). Respiratory muscle perfusion and energetic during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(9), 1123-1128.
- Dempsey, J.A., Johnson, B.D., & Kurt, W. (1990). Adaptation and limitations in the pulmonary system during exercise. *Chest*, 97,3, 81-87.
- Di Prampero, P.E. & Ferretti, G. (1990). Factors limiting maximal oxygen consumption in humans. *Respiratory Physiology*, 80,2-3,113-27.
- DiPrampero, P.E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal Sports Medicine*, 7, 55-72.
- Edwards, A.M. & Cooke, C.B. (2004). Oxygen uptake kinetics and maximal aerobic power are unaffected by inspiratory muscle training in healthy subjects where time to exhaustion is extended. *European Journal of Applied Physiology*, 93,139-144.

- 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.
- Gething, A.D., Passfield, L. & Davies, B. (2004a). The effects of different inspiratory muscle training intensities on exercising heart rate and perceived exertion. *European Journal of Applied Physiology*, 92,50-55.
- Gething, A.D., Williams, M. & Davies, B. (2004b). Inspiratory resistive loading improves cycling capacity: a placebo controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 38,730-736.
- Gonzales, J.U., Williams, J.S., Scheuermann, B.W. & James, C.R. (2003). Gender differences in respiratory muscle function following exhaustive exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35, 835 [Abstract].
- 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.
- Harms, A.C., Wetter, J.T., ST. Croix, M.C., Pegelow, F.D., & Dempsey, A.J., (2000). Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 89,131-138.
- Harms, C. A., Wetter, T. J., McClaren, S. R., Pegelow, D. F., Nickele, 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.
- Harms, C.A., Babcock, A.M., McClaran, R.S., Pegelow, F.D., Nickele, A.G., Nelson, B.W., & Dempsey, A.J. (1997). Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 82, 1573-1583.

- 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.
- Inbar, O., Weiner, P., Azgad, Y., Rotstein, A. & Weinstein, Y. (2000). Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32,7, 1233-1237.
- Johnson, B.D., Aaron, E.A., Babcock, M.A. & Dempsey, J.A. (1996). Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28,9,1129-1137.
- Johnson, D.B., Babcock, A.M., Suman, E.O., & Dempsey, A.J. (1993). Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *Journal of Physiology*, 460, 385-405.
- Johnson, M.A., Sharpe, G.R. & Brown, P.I., (2007). Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 101,761-770.
- Kilduff, L.P., Bevan, H.R., Kingsley, M.I., Owen, N.J., Bennett, M.A., Bunce, P.J., Hore, A.M., Maw, J.R. & Cunningham, D.J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: optimal recovery. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 4, 1134-1138.
- Κλεισούρας Β. (2004). Εργοφυσιολογία. Αθήνα: Πασχαλίδης,.
- Koulouris, N.G. & Dimitroulis, I. (2001). Structure and function of the respiratory muscles. *Pneumon*, 2, 14.
- Lin, H., Tong, T.K., Huang, C., Nie, J., Lu, K. & Quach, B. (2007). Specific inspiratory muscle warm-up enhances badminton footwork performance. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 32,6,1082-8.

- Lomax, M. & Castle, S. (2011). Inspiratory muscle fatigue significantly affects breathing frequency, stroke rate, and stroke length during 200-m front-crawl swimming. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25,(10), 2691-5.
- Lomax, M., Grant, I. & Corbett, J. (2011). Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: Separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *Journal of Sports Sciences*, 29,6,563-569.
- 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.
- Lomax, M., & McConnell, A. K. (2009). Influence of prior activity (warm-up) and inspiratory muscle training upon between- and within-day reliability of maximal inspiratory pressure measurement. *Respiration*, 78, 121-140.
- Mador, M.J. & Acevedo, A.F. (1991a). Effect of respiratory muscle fatigue on breathing pattern during incremental exercise. *American Review of Respiratory Disease*, 143, 3, 462-8.
- Mador, J.M. & Acevedo, A.F. (1991b). Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 70,5, 2059-2065.
- Mador, M. J., Magalang, U. J., Rodis, A. & Kufel, T. J. (1993). Diaphragmatic fatigue after exercise in healthy human subjects. *American Review of Respiratory Disease*, 148,1571-1575.
- Maglischo, E.W. (1992). *Swimming Faster: A Comprehensive Guide to the Science of Swimming*. Palo Alto, CA: Mayfield Publishing.
- Maglischo, E.W. (1999). *Swimming Even Faster*. Sao Paulo: Manole.
- Markov, G., Spengler, C.M., Knöpfli-Lenzin, C., Stuessi, C. & Boutellier, U. (2001). Respiratory muscle training increases cycling endurance without affecting

- cardiovascular responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 85, 233-239.
- Martin, B., Heintzelman, M. & Chen, H.I. (1982) Exercise performance after ventilatory work. *Journal of Applied Physiology*, 52, 1581-1585.
- Ματζιάρη, Χ. (1999). Σημειώσεις φυσιολογίας του ανθρώπου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Υπηρεσία Δημοσιευμάτων.
- 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. & Romer, L.M. (2004). Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *International Journal of Sports Medicine*, 25,284-293.
- McConnell, A. K. & Griffiths, L. A. (2010). Acute Cardiorespiratory Responses to Inspiratory Pressure Threshold Loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 9, 1696-1703.
- 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.
- McMahon, M.E., Boutellier, U., Smith, R.M. & Spengler, C.M. (2002). Hyperpnea training attenuates peripheral chemosensitivity and improves cycling endurance. *Journal of Experimental Biology*, 205,3937-3943.
- 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.

- Mitchell & Huston. (1993). The effect of high- and low-intensity warm-up on the physiological responses to a standardized swim and tethered swimming performance. *Journal of Sports Sciences*, 11, 159-165.
- O'Kroy, J., Loy, R., & Coast, R. (1992). Pulmonary function changes following exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 1359-1364.
- 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. (1992). Εφαρμοσμένη φυσιολογία αναπνευστικού συστήματος. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Polkey, M.I. & Moxham, J. (2004) Improvement in volitional tests of muscle function alone may not be adequate evidence that inspiratory muscle training is effective. *European Respiratory Journal*, 23.
- Polla, B., D'Antona, G., Bottinelli, R. & Reggiani, C. (2004). Respiratory muscle fibres: specialisation and plasticity. *Thorax*, 59,808-817.
- Romer, L.M. & McConnell, A.K. (2003). Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Medicine & Science in Sports & 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). Effects of inspiratory muscle training upon recovery time during high intensity, repetitive sprint activity. *International Journal of Sports Medicine*, 23,353-360.
- Romer, L. M., McConnell, A. K. & Jones, D. A.. (2002c). Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, (5), 785-792.

- 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., Miller, J. D., Haverkamp, H.C., Pegelow, D.F. & Dempsey, J.A., (2006). Inspiratory muscles do not limit maximal incremental exercise performance in healthy subjects. *Respiration Physiology and Neurobiology*.
- Ross, E. Z., Nowicky, A. V., & McConnell, A. K. (2007). Influence of acute inspiratory loading upon diaphragm motorevoked potential in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*, 102, 1883-1890.
- Ross, E., Middleton, N., Shave, R., George, K., & McConnell, A. K. (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.
- Sale, D. (2004). Postactivation potentiation: role in performance. *British Journal of Sports Medicine*, 38,386-387
- Sambanis, M. (2006). Effects of detraining on pulmonary function and performance in young male swimmers. *Minerva Pneumologica*, 45, 121-128.
- Sambanis, M. (2011). Gender Differences in Pulmonary Function Measured In and Out of the Water in Trained Swimmers. *Physical Training*.
- Seals, R.D. (2001). Robin Hood for the lungs? A respiratory metaboreflex that 'steals' blood flow from locomotor muscles. *Journal of Physiology*, 15, 537, 1,2.
- Sheel, A. W., Derchak, P. A., Morgan, B. J., Pegelow, D. F., Jacques, A. J., & Dempsey, J. A. (2001). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *Journal of Physiology*, 537, 277-289.

- Sheel, A.W., Derchak, P.A., Pegelow, D.F. & Dempsey, J.A. (2002). Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance. *American Journal of Physiology*, 282, 1732-1738.
- Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A, Horswill, C.A., Stillman, R.J., Van Loan, M.D. & Bemben, D.A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60, 709-723.
- 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, M. C., Roos, M. S., Laube, M. & Boutellier, U. (1999). Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training in humans. *European Journal Applied Physiology*, 79,299-305.
- St Croix, C., Morgan, B., Wetter, T. & Dempsey, J. (2000). *Journal of Physiology* 529, 493-504.
- Takizawa, K. & Ishii, K. (2006). The effects of different warm-up loads [routines] at equal total workload for high intensity exercise performance. *International Journal of Sport and Health Science*, .4, 1-9.
- Thomaidis, S.P., Toubekis, A.G., Mpousmoukilia, S.S., Douda, H.T., Antoniou, P.D. & Tokmakidis, S.P. (2009). Alterations in maximal inspiratory mouth pressure during a 400-m maximum effort front-crawl swimming trial. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*, 49,(2),194-200.
- Tomaras, E.K. & MacIntosh, B.R. (2011) Less is more: standard warm-up causes fatigue and less warm-up permits greater cycling power output. *Journal of Applied Physiology*, 111, 228-235.
- Tong, T.K. & Fu, F.H. (2006). Effect of specific inspiratory muscle warm-up on intense intermittent run to exhaustion. *European Journal Applied Physiology*, 97, 673-680.