



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΣΚΗΣΗ, ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φυσιολογικές αποκρίσεις σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης στην τεχνική κολύμβηση

Ονοματεπώνυμο Μεταπτυχιακού Φοιτητή
Καλαϊτζογλίδης Γρηγόριος

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Γεροδήμος Βασίλειος, Καθηγητής, ΤΕΦΑΑ-ΠΘ
2. Τουμπέκης Ανάργυρος, Αναπληρωτής Καθηγητής, ΤΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ
3. Καρατράντου Κωνσταντίνα, Επίκουρη Καθηγήτρια, ΤΕΦΑΑ-ΠΘ

Λάρισα, 2023



Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	7
Περίληψη.....	8
Abstract.....	10
Κεφάλαιο I Εισαγωγή.....	12
1.1. Περιγραφή της Τεχνικής Κολύμβησης.....	12
1.2. Η άπνοια στην αθλητική πρακτική.....	12
1.3. Σημασία της μελέτης.....	13
1.4. Οριοθετήσεις και περιορισμοί.....	14
1.5. Σκοπός της μελέτης.....	14
Γενικό Μέρος	
Κεφάλαιο II Ανασκόπηση της Βιβλιογραφίας.....	15
2.1. Ιστορική Αναδρομή του Αθλήματος και της υποβρύχιας δραστηριότητας.....	15
2.2. Η Τεχνική Κολύμβηση τον 20 ^ο αιώνα.....	15
2.3. Σημασία της δυναμικής άπνοιας στην τεχνική κολύμβηση.....	17
2.4. Προπόνηση Άπνοιας στην τεχνική κολύμβηση.....	19
2.5. Φυσιολογικές αποκρίσεις επαναλαμβανόμενων προσπάθειών μέγιστης έντασης σε κατάσταση εύπνοιας.....	21
2.6. Η απόκριση του καρδιαγγειακού συστήματος σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης κολύμβησης.....	21
2.7. Η απόκριση του αναπνευστικού συστήματος σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης κολύμβησης.....	23
2.8. Μεταβολικές αποκρίσεις σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης.....	24
2.9. Έλεγχος της Δυναμικής και Στατικής Άπνοιας.....	26
2.10. Καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις της άπνοιας μέγιστης έντασης.....	28
2.10.1. Καρδιαγγειακή λειτουργία και Αντανακλαστικό Κατάδυσης.....	28
2.10.2. Μεταβολικές και καρδιαγγειακές επιπτώσεις της άπνοιας.....	29
2.10.3. Αιματολογικές αποκρίσεις κατά την άπνοια.....	29
2.11. Αναπνευστικές αποκρίσεις της άπνοιας μέγιστης έντασης.....	29

2.11.1. Κυψελιδική Ανταλλαγή αερίων κατά την άπνοια.....	29
2.11.2. Πνευμονικοί Όγκοι και Άπνοια.....	30
2.11.3. Σχέση Υπεραερισμού και άπνοιας.....	30
2.11.4. Υπερκαπνία και Υποξαιμία κατά την άπνοια.....	31
Ειδικό Μέρος	
Κεφάλαιο III Μεθοδολογία.....	32
3.1. Συμμετέχοντες.....	32
3.2. Εξοπλισμός.....	32
3.3. Πειραματική διαδικασία.....	33
3.4. Πριν τις κύριες μετρήσεις.....	33
3.5. Στατιστική επεξεργασία.....	34
Κεφάλαιο IV Αποτελέσματα.....	34
4.1. Μεταβολές στην απόδοση.....	34
4.1.1. Χρόνος Κολύμβησης.....	34
4.1.2. Δελφινισμοί.....	34
4.1.3. Συχνότητα Δελφινισμών.....	35
4.1.4. Αντίληψη της κόπωσης.....	35
4.2. Φυσιολογικές Μεταβολές.....	36
4.2.1. Συγκέντρωση γαλακτικού.....	37
4.2.2. Καρδιακή συχνότητα.....	37
4.3. Μεταβολές στη σπιρομέτρηση.....	38
4.4. Μεταβολές στις αναπνευστικές μεταβλητές.....	39
Κεφάλαιο V Συζήτηση.....	40
5.1. Επιδόσεις.....	41
5.2. Δελφινισμοί.....	41
5.3. Συχνότητα Δελφινισμών.....	41
5.4. Αντίληψη της κόπωσης (RPE).....	42
5.5. Συγκέντρωση γαλακτικού.....	42
5.6. Καρδιακή συχνότητα.....	43
5.7. Μεταβολές στη σπιρομέτρηση.....	45
5.8. Μεταβολές στις αναπνευστικές μεταβλητές.....	45
Κεφάλαιο VI Βιβλιογραφία.....	46

Ορισμοί

Αντανακλαστικό Κατάδυσης: Παρατηρείται κατά τη δραστηριότητα με κράτημα της αναπνοής. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η προοδευτική μείωση της καρδιακής συχνότητας, αύξηση της αρτηριακής πίεσης και έντονη περιφερική αγγειοσυστολή. Οι παραπάνω μηχανισμοί ενεργοποιούνται προκειμένου να προφυλάξουν τους ευαίσθητους ιστούς του οργανισμού, την καρδιά και τον εγκέφαλο. Αναπτύσσονται πλήρως από την έναρξη της άπνοιας μέσα σε 30 με 35 sec.

Δυναμική Άπνοια: Άπνοια η οποία πραγματοποιείται σε συνδυασμό με οποιαδήποτε μορφή άσκησης.
ΕΚ: Ελεύθερη κατάδυση.

Κολύμβηση Επιφανείας: Κολύμβηση στην επιφάνεια του νερού στην οποία ο αθλητής χρησιμοποιεί αναπνευστήρα και μονοπτερύγιο.

ΚΣ: Καρδιακή Συχνότητα.

Στατική Άπνοια: Άπνοια η οποία πραγματοποιείται σε κατάσταση ηρεμίας.

ΤΚ: Τεχνική Κολύμβηση.

Υποξαιμία (Υποξική υποξία): Ονομάζεται η μείωση της αρτηριακής πίεσης σε οξυγόνο και αποτελεί αίτιο υποξίας.

Υποξία: Η ανεπάρκεια οξυγόνου σε κυτταρικό επίπεδο.

50 μ. Άπνοιας: Κολύμβηση 50 μ. με κράτημα της αναπνοής. Σε αυτό το αγώνισμα οι αθλητές κολυμπάνε κάτω από την επιφάνεια του νερού και χρησιμοποιούν μονοπτερύγιο.

ΑΡ: Δοκιμασία Άπνοιας.

ΑΤΡ: Τριφωσφορική αδενοσίνη.

Central Excitatory State (CES): Ερεθίσματα που παράγονται κατά την άπνοια από τους κεντρικούς νευρώνες.

CMAS: Παγκόσμια Ομοσπονδία Υποβρύχιων Δραστηριοτήτων.

CO: Μονοξείδιο του άνθρακα.

CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα.

ΕΡ: Δοκιμασία Επιφανείας.

FEV₁: Βιαίως εκπνεόμενος όγκος αέρα σε 1 s.

FVC: Βιαίως εκπνεόμενη ζωτική χωρητικότητα.

Hct: Αιματοκρίτης (%).

Hb: Συγκέντρωση αιμοσφαιρίνης.

IVA: Μη εθελούσια αναπνευστική δραστηριότητα.

K: Αριθμός ποδιών στην τεχνική κολύμβηση με μονοπτερύγιο.

La: Γαλακτικό.

MVV: Το μέγιστο ποσό των λίτρων αέρα που το άτομο μπορεί να εισπνεύσει ανά λεπτό κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης αναπνευστικής προσπάθειας.

O₂: Οξυγόνο.

PaCO₂: Μερική πίεση του διοξειδίου του άνθρακα στο αρτηριακό αίμα.

PaO₂: Μερική πίεση του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα.

Physiological Breaking Point (PBP): Το φυσιολογικό σημείο τερματισμού της άπνοιας.

PC_r: Φωσφοκρεατίνη.

PEF: Η μέγιστη ροή του εκπνεόμενου αέρα που επιτυγχάνεται κατά τη δοκιμασία FVC.

SaO₂: Κορεσμός του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο.

SpO₂: Κορεσμός αρτηριακού οξυγόνου έτσι όπως αναγράφεται στο παλμικό οξύμετρο.

SV: Όγκος παλμού.

VE: Πνευμονικός αερισμός.

VCO₂: Όγκος διοξειδίου του άνθρακα.

VO₂: Πρόσληψη οξυγόνου.

VO_{2max}: Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.	Παράμετροι απόδοσης, στα 50 m κολύμβησης με μονοπτερύγιο, υποβρύχια και επιφάνεια (επάνω στην επιφάνεια του νερού).	Σελ: 35
Πίνακας 2.	Παράμετροι του αναπνευστικού συστήματος κατά τις προσπάθειες 50 m κολύμβησης, με μονοπτερύγιο, υποβρύχια και επάνω στην επιφάνεια του νερού.	Σελ: 39
Πίνακας 3.	Παράμετροι της καρδιοαναπνευστικής απόκρισης πριν και μετά από τις προσπάθειες 50 m κολύμβησης, με μονοπτερύγιο, υποβρύχια και επάνω στην επιφάνεια του νερού.	Σελ: 40

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1.	Επίπεδα γαλακτικού πριν από το 1 ^ο 50άρι, μετά το 2 ^ο 50άρι, μετά το 4 ^ο 50άρι και στο 5 ^ο λεπτό μετά το 4 ^ο 50άρι από τις προσπάθειες των κολυμβητών με υποβρύχια και κολύμβηση επιφανείας 50 m, με μονοπτερύγιο.	Σελ: 36
Γράφημα 2.	Καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια των κολυμβητικών προσπαθειών υποβρύχια και επιφάνεια με μονοπτερύγιο.	Σελ: 38



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ, ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
Δ.Π.Μ.Σ. «ΑΣΚΗΣΗ, ΕΡΓΟΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εργασία με τίτλο «Φυσιολογικές αποκρίσεις σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης στην τεχνική κολύμβηση» για το ΔΠΜΣ «Άσκηση Εργοσπιρομετρία και Αποκατάσταση» θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πολύπλευρη βοήθεια που μου παρείχαν. Τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Γεροδήμο Βασίλειο Καθηγητή ΤΕΦΑΑ-ΠΘ καθώς και τον κ. Τουμπέκη Αργύρη Αναπληρωτή Καθηγητή ΤΕΦΑΑ-ΕΚΠΑ για τη διαρκή καθοδήγηση και υποστήριξη. Τον κ. Κωστούλα Ιωάννη για τον καθοριστικό συντονισμό και την οργάνωση της διπλωματικής. Τον κ. Τσαλή Γεώργιο για τις ουσιώδεις παρεμβάσεις του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους προπονητές για την διάθεση των αθλητών τους, Φραγκίσκο Σιάμο, Βασιλόπουλο Αργύρη, Λιάπη Άκη αλλά και τους αθλητές για την συνεργασία τους στο ερευνητικό μέρος της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ τον κ Γεωργιά Βαγγέλη και τον κ Αναστασόπουλο Νίκο για τη διάθεση και τον χειρισμό του αναγκαίου εξοπλισμού για το ερευνητικό σκέλος.



Φυσιολογικές αποκρίσεις σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης στην τεχνική κολύμβηση

Περίληψη

Οι αθλητές τεχνικής κολύμβησης (TK) συχνά προπονούνται διανύοντας μικρές αποστάσεις σε συνθήκες άπνοιας με αποτέλεσμα την προοδευτική ανάπτυξη αρτηριακής υποξαιμίας και υπερκαπνίας αλλά και την εκδήλωση του αντανakλαστικού κατάδυσης. Σκοπός της έρευνας, είναι να συγκρίνει τις φυσιολογικές αποκρίσεις σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης σε δύο διαφορετικές συνθήκες τεχνικής κολύμβησης, μια επιφανείας και μια άπνοιας. Στην έρευνα συμμετείχαν αθλητές τεχνικής κολύμβησης υψηλού επιπέδου ($n=13$, ηλικία: $17,3 \pm 2,7$ έτη, σωματική μάζα: $70,6 \pm 16,4$ kg, ανάστημα: 176 ± 7 cm). Εκτέλεσαν τέσσερις προσπάθειες κολύμβησης με μονοπτερύγιο καταβάλλοντας μέγιστη ένταση (4×50 μ.) σε δύο διαφορετικές συνθήκες, i) στην επιφάνεια με αναπνευστήρα και ii) υποβρύχια (πλήρης άπνοια). Ο χρόνος αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων ήταν 2 λεπτά. Καταγράφηκε ο χρόνος κολύμβησης και ο αριθμός δελφινισμών σε όλες τις προσπάθειες. Η καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) κατεγράφη διαρκώς σε κάθε συνθήκη. Η συγκέντρωση γαλακτικού (La) προσδιορίστηκε στην ηρεμία, μετά από τη δεύτερη και τέταρτη προσπάθεια καθώς και στο πέμπτο λεπτό αποκατάστασης. Επιπλέον, πριν και μετά από κάθε συνθήκη μέτρησης έγινε συλλογή εκπνεόμενου αέρα για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2), αποβολής διοξειδίου του άνθρακα (VCO_2) και πνευμονικού αερισμού (VE). Οι αθλητές υποβλήθηκαν σε σπιρομέτρηση πριν και στο πέμπτο λεπτό αποκατάστασης μετά από την τελευταία προσπάθεια 50 μέτρων. Με την ολοκλήρωση κάθε προσπάθειας κατεγράφη η αντίληψη υποκειμενικής κόπωσης (RPE). Από την ανάλυση αποτελεσμάτων φάνηκε ότι η επίδοση στην υποβρύχια συνθήκη ήταν γρηγορότερη συγκριτικά με τη συνθήκη επιφανείας ($p < 0,01$). Σε ό,τι αφορά τα επίπεδα γαλακτικού, δεν φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των συνθηκών άπνοιας και επιφανείας ($p > 0,05$), παρόλα αυτά φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων ($p < 0,01$). Στη διακύμανση της καρδιακής συχνότητας παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών και των επαναλήψεων ($p < 0,001$). Επίσης, υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των 50 μέτρων ($p < 0,001$) και των συνθηκών κολύμβησης ($p < 0,001$). Η ΚΣ στη συνθήκη επιφανείας ήταν υψηλότερη. Από τη σύγκριση των παραμέτρων της αναπνευστικής

απόκρισης φάνηκε ότι υπήρξε διαφορά των τιμών VO_2 , VCO_2 και VE πριν και μετά την άσκηση ($p<0,001$). Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων σπυρομέτρησης δεν φάνηκε σημαντική αλληλεπίδραση των συνθηκών με τις προσπάθειες ($p>0,05$). Παρόλα αυτά, φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών FVC , PEF και MVV ($p<0,05$), ενώ δεν φάνηκε διαφορά της τιμής FEV_1 ($p>0,05$). Με τη σύγκριση των δυο συνθηκών συμπεραίνουμε ότι οι αθλητές ΤΚ κινούνται γρηγορότερα κάτω από την επιφάνεια του νερού. Επιπλέον η καρδιακή συχνότητα μεταβάλλεται σημαντικά από τη συνθήκη άπνοιας σε σχέση με την συνθήκη επιφανείας. Παράλληλα, οι παράγοντες αναπνευστικής απόκρισης επηρεάζονται καθώς οι απαιτήσεις παραγωγής έργου και για τις δυο συνθήκες αυξάνουν τους δείκτες των τιμών VO_2 , VCO_2 και VE καθώς επίσης και FVC , PEF και MVV . Οι αθλητές κινούνται με χαμηλότερη υδροδυναμική αντίσταση κάτω από την επιφάνεια του νερού με αποτέλεσμα να αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες. Επίσης, ο ανθρώπινος οργανισμός έχει την τάση να προσαρμόζεται στην έλλειψη οξυγόνου με την ενεργοποίηση του αντανακλαστικού κατάδυσης επηρεάζοντας την καρδιακή συχνότητα.

Λέξεις κλειδιά: αρτηριακή υποξία, υπερκαπνία, αντανακλαστικό κατάδυσης, άπνοια, δελφινισμοί,



Physiological responses to repeated maximum-intensity efforts in finswimming

Abstract

Finswimming (FS) athletes often train by swimming short distances under apnoea conditions, which results in the gradual development of arterial hypoxaemia and hypercapnia, but also in the manifestation of the diving reflex. The purpose of this study was to compare normal responses to repeated maximum-intensity efforts under two different finswimming conditions: surface finswimming and apnoea finswimming. The participants were elite finswimming athletes ($n=13$, age: 17.3 ± 2.7 years, body mass: 70.6 ± 16.4 kg, height: 176 ± 7 cm). They executed four swimming maximum-intensity efforts with monofin (4 x 50 m) under two different conditions: i) on the surface, with a snorkel, and ii) underwater (total apnoea). Recovery time between each effort was 2 minutes. The swimming time and the number of dolphin porpoises were recorded for each effort. Heart rate (HR) was being recorded at all times for both conditions. The concentration of lactate (La) was determined in resting phase, after the second and fourth effort, as well as in the fifth minute of recovery. Moreover, before and after measurement, exhaled air was collected for the determination of oxygen consumption (VO_2), carbon dioxide emission (VCO_2) and lung ventilation (VE). The athletes underwent spirometry beforehand and in the fifth minute of recovery in the final 50-meter effort. Upon completion of each effort, the rating of perceived exhaustion (RPE) was also recorded. Outcome analysis showed that performance in the underwater condition was better than in the surface condition ($p < 0.01$). Regarding lactate levels, no difference was observed between the apnoea and surface condition ($p > 0.05$); nonetheless, some difference was observed among the various efforts ($p < 0.01$). Heart rate variability showed significant interaction between the different conditions and effort number ($p < 0.001$). Also, there was significant difference related to the 50-meter distance ($p < 0.001$) and the swimming conditions ($p < 0.001$). In the surface condition, heart rate was higher. The comparison of respiratory response parameters showed a difference among the levels of VO_2 , VCO_2 and VE values before and after exercise ($p < 0.001$). The comparison of spirometry outcomes revealed no interaction between the conditions and the efforts ($p > 0.05$). Nevertheless, a divergence in the FVC, PEF and MVV levels was recorded ($p < 0.05$) and there was no difference in the FEV_1 levels

($p > 0.05$). Upon comparison of the two conditions, we conclude that FS athletes moved with a higher velocity underwater. This observation can be explained by the fact that underwater swimming involves less friction. Moreover, heart rate changed significantly from the apnoea to the surface condition. This could be interpreted by the human body's tendency to adapt to oxygen deficiency, which in this case could have led to the activation of the diving reflex, thus affecting heart rate. At the same time, respiratory response factors were affected, as the requirements of work performance in both conditions increase the level indicators for the VO_2 , VCO_2 and VE values, as well as the FVC, PEF and MVV values.

Keywords: arterial hypoxia, hypercapnia, diving reflex, apnoea, dolphin porpoising

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή της Τεχνικής Κολύμβησης

Η τεχνική κολύμβηση (ΤΚ) είναι ένα τεχνικό άθλημα του υγρού στίβου. Ανάλογα με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιεί ο αθλητής, διαχωρίζεται σε δυο κατηγορίες: στην κολύμβηση με μονοπτερύγιο και με διπλά πτερύγια. Στην πρώτη κατηγορία, στην κολύμβηση με μονοπτερύγιο, οι αθλητές κολυμπάνε αγωνίσματα επιφανείας και υποβρύχια αγωνίσματα. Τα υποβρύχια αγωνίσματα με τη σειρά τους διακρίνονται στο αγώνισμα με κράτημα της αναπνοής (50μ άπνοιας) και σε αγωνίσματα μεγαλύτερων αποστάσεων με τη χρήση αναπνευστικής συσκευής [1]. Η κολυμβητική τεχνική των αγωνισμάτων με μονοπτερύγιο χαρακτηρίζεται ως δελφινοειδής κίνηση. Ειδικότερα, περιγράφεται από τον πλήρη συντονισμό και την αλληλουχία κινήσεων του σώματος μεταξύ θώρακα, ισχίου, κορμού και μηρών, ενώ το άνω μέρος του σώματος διατηρείται σε απολυτά υδροδυναμική θέση [1,2]. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η κατηγορία αγωνισμάτων με διπλά πτερύγια εντάχθηκε στο αγωνιστικό πρόγραμμα της CMAS από το 2007. Η βασική τεχνική είναι το κολυμβητικό στυλ «crawl» μέσω της χρήσης εγκεκριμένων διπλών πτερυγίων από ομοιογενές ελαστικό και αναπνευστήρα [1].

1.2 Η άπνοια στην αθλητική πρακτική

Οι αθλητές ΤΚ προπονούνται σε συνθήκες υποξίας και έχουν αποκτήσει κάποιες φυσιολογικές προσαρμογές σε καρδιαγγειακό, σε αιματολογικό-μεταβολικό και σε αναπνευστικό σύστημα. Με την έναρξη οποιασδήποτε υποξικής δραστηριότητας εμφανίζεται το αντανάκλαστικό κατάδυσης. Το μέγεθος του αντανάκλαστικού κατάδυσης έχει άμεση σχέση με την αύξηση του αναερόβιου μεταβολισμού καθώς εμφανίζεται περισσότερο ενεργοποιημένο στα προπονημένα άτομα [3]. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αργή κατανάλωση οξυγόνου και την παράταση του χρόνου δυναμικής άπνοιας [4]. Οι αθλητές που φέρουν εξοικείωση και εμπειρία στις δραστηριότητες της άπνοιας παρουσιάζουν βελτιωμένη αιματολογική απόκριση. Αυτή η βελτίωση πηγάζει από την συστολή της σπλήνας η οποία είναι υπεύθυνη για την αύξηση των επιπέδων του αιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης [5, 6, 7]. Πιο συγκεκριμένα, με τη συστολή της σπλήνας εισάγονται ερυθρά αιμοσφαίρια στην κυκλοφορία και αυξάνεται η συγκέντρωση του αιματοκρίτη (Hct) και της αιμοσφαιρίνης (Hb) με αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση της μεταφοράς οξυγόνου παρατείνοντας τον χρόνο άπνοιας [6, 8, 9, 10, 11]. Στο άθλημα της ΤΚ οι αθλητές πραγματοποιώντας άπνοιες έπειτα από κάθε στροφή αλλά και με την έναρξη οποιασδήποτε κολυμβητικής απόστασης, βελτιώνουν την απόδοση της συστολής της σπλήνας αυξάνοντας έτσι τα επίπεδα των αιματολογικών παραμέτρων. Σύμφωνα με αρκετές έρευνες οι επιστήμονες έχουν καταλήξει ότι η προπόνηση άπνοιας μπορεί να επηρεάσει τις αιματολογικές αποκρίσεις με διαφορετικό τρόπο από την προπόνηση αντοχής. Σύμφωνα με τους Schagatay et al. (2001a) [8] υποστηρίζουν πως αν οι παράγοντες που αφορούν τη διάρκεια της άπνοιας παραμείνουν σταθεροί τότε η αποβολή των ερυθροκυττάρων από τη σπλήνα προς την κυκλοφορία παρατείνει τον χρόνο της άπνοιας αυξάνοντας την αποθήκευση οξυγόνου στο αίμα και βελτιώνοντας την

αποκατάσταση μεταξύ των απνοιών. Επομένως, τα άτομα που έχουν καθημερινή ενασχόληση στην αθλητική πρακτική της άπνοιας φέρουν υψηλότερα επίπεδα του αιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης με αποτέλεσμα η διάρκεια της άπνοιας των ατόμων αυτών να είναι αυξημένη σε σχέση με τον προβλεπόμενο χρόνο της. Γενικότερα στον αθλητισμό, αλλά και ειδικότερα στο άθλημα της TK αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η στατική [12] όσο και η δυναμική άπνοια [3, 13], συντελούν στην αύξηση των επιπέδων γαλακτικού στο αίμα, λόγω της μειωμένης περιφερικής μεταφοράς οξυγόνου που προκαλείται από την έντονη αγγειοσυστολή στην περιφέρεια. Η διαφορά των προπονημένων αθλητών σε σχέση με τον γενικό πληθυσμό εντοπίζεται στην ανταλλαγή αερίων που συμβαίνει στις κυψελίδες. Οι προπονημένοι αθλητές εμφανίζουν μια επιβράδυνση στην διαχείριση του οξυγόνου από το αίμα συμβάλλοντας στην διατήρηση των αποθεμάτων οξυγόνου και στην παράταση του χρόνου άπνοιας σε σχέση με τον πληθυσμό που δεν προπονείται σε συνθήκες άπνοιας [13]. Επιπλέον, σύμφωνα με έρευνες έχει παρατηρηθεί βελτίωση των χημικών ερεθισμάτων σε προπονημένα άτομα (υποξία ή υπερκαπνία) [14] καθώς επίσης και βελτίωση στα μηχανικά ερεθίσματα τα οποία προκύπτουν από την δραστηριότητα των αναπνευστικών μυών [15]. Σε μελέτες στον υγρό στίβο παρατηρείται ότι οι αθλητές που υποβάλλονται συχνά σε συνθήκες άπνοιας εμφανίζουν μικρότερη ευαισθητοποίηση στην εμφάνιση υπερκαπνίας. Το φαινόμενο της υπερκαπνίας αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα επιρροής του χρόνου άπνοιας στους αθλητές. Για τον λόγο αυτό η επιστημονική κοινότητα για να το εξετάσει αναλύει την ευαισθησία του CO₂ [16]. Η βελτίωση της άπνοιας αποδίδεται και από τον βαθμό βραδυκαρδίας καθώς επίσης και από τα χαμηλά επίπεδα οξειδωτικού στρες. Τέλος, με την αθλητική πρακτική της άπνοιας μικρής διάρκειας προκαλούνται αρκετές φυσιολογικές προσαρμογές στο αντανακλαστικό κατάδυσης με αποτέλεσμα να επιμηκύνεται η διάρκεια της άπνοιας.

1.3 Σημασία της μελέτης

Στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής διατριβής είναι να διερευνήσει την επίδραση της άπνοιας σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης στο άθλημα της TK και να συγκρίνει τις φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού που προκύπτουν σε σχέση με τις προσαρμογές του με φυσιολογική συχνότητα αναπνοής (κολύμβηση επιφανείας με αναπνευστήρα). Συγκρίνοντας τις δυο συνθήκες θα δημιουργηθεί εικόνα για τις διαφορές που προκύπτουν σε συνθήκες επιφανείας και άπνοιας αντίστοιχα και πως αυτές επηρεάζουν την απόδοση των κολυμβητών TK. Έτσι, πρόκειται να προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες στον σχεδιασμό, την εφαρμογή και την καθοδήγηση αποτελεσματικότερων προγραμμάτων προπόνησης στο άθλημα της τεχνικής κολύμβησης και γενικότερα στον υγρό στίβο. Παράλληλα παρέχεται πληροφορία προς διερεύνηση σε συνθήκες άπνοιας και εύπνοιας κολύμβησης με προωθητικό εξοπλισμό και συγκεκριμένα με μονοπτερύγιο.

1.4 Οριοθετήσεις και περιορισμοί

Η πειραματική ομάδα ήταν εν ενεργεία άρρενες αθλητές TK με υψηλές επιδόσεις από τα τελευταία εθνικά πρωταθλήματα με προπονητικό υπόβαθρο 4-10 χρόνια, με παρόμοιο προπονητικό πρόγραμμα συχνότητας προπόνησης 6 φορές την εβδομάδα για την περίοδο προετοιμασίας τους (πριν το πανελλήνιο πρωτάθλημα). Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα 2 εβδομάδες πριν την αγωνιστική τους υποχρέωση, όταν οι αθλητές βρίσκονταν σε αρκετά καλή φόρμα. Οι αθλητές προέρχονταν από 3 διαφορετικούς συλλόγους και ήταν υψηλού επιπέδου.

1.5 Σκοπός της μελέτης

Σκοπός, της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να εξετάσει τις φυσιολογικές αποκρίσεις, σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης στην τεχνική κολύμβηση σε δύο διαφορετικές συνθήκες, μια επιφανείας σε κατάσταση εύπνοιας και μια υποβρυχίως σε κατάσταση άπνοιας με κράτημα της αναπνοής.

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Ιστορική Αναδρομή του Αθλήματος και της υποβρύχιας δραστηριότητας

Η ΤΚ ως άθλημα του υποβρύχιου ναυταθλητισμού συνδέεται άρρηκτα με την προσπάθεια του ανθρώπου από την αρχαιότητα να ανακαλύψει το υποθαλάσσιο περιβάλλον. Οι πρώτες αναφορές υποβρύχιων δραστηριοτήτων εμφανίζονται σε τοιχογραφίες τόσο σε βασιλικούς τάφους των Αιγυπτίων όσο και σε ναούς των Θηβών το 3200 π.Χ. [2]. Κατά την αρχαιότητα η υποθαλάσσια δραστηριότητα συνιστούσε μέσο για την συλλογή σφουγγαριών και μαργαριταριών. Παράλληλα, χρησιμοποιούνταν για αλιευτικούς σκοπούς αλλά και για υποβρύχιες δολιοφθορές σε ναυμαχίες [2]. Οι Έλληνες, κατά τον Απολλωνίδη, έπειτα από υποβρύχια κολύμβηση κατάφεραν κόβοντας τα σκοινιά αγκυροβολημένων πλοίων του Ξέρξη κοντά στο όρος Πελίων να προκαλέσουν τεράστια καταστροφή στο στόλο, με συνέπεια τη σύγκρουση των πλοίων σε βραχώδης ακτές λόγω της θαλασσοταραχής [17]. Η ανάγκη του ανθρώπου να εξερευνήσει το υδάτινο περιβάλλον τον ώθησε να ανακαλύψει την πρώτη καταδυτική συσκευή παρατήρησης. Σύμφωνα με την αναφορά Άραβα ιστορικού τον έβδομο αιώνα μ.Χ., η πρώτη υποβρύχια συσκευή παρατήρησης ήταν ένα βαρέλι, το οποίο ονομαζόταν Κολύμφα και ανακαλύφθηκε την εποχή του Μ. Αλεξάνδρου [2]. Οι επόμενες αναφορές που εμφανίζονται στην ιστορία, είναι τα ναυτικά σώματα των πρώτων βατραχανθρώπων από τους Φοίνικες, οι οποίοι ονομάζονταν «urinatores» και εισέπνεαν τον αέρα κατά τη διάρκεια της κατάδυσης από ένα δοχείο [18]. Από το 1400 μέχρι και το 1800 πραγματοποιήθηκαν πολλές προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση της κατάδυσης με προωθητικό εξοπλισμό. Πρωτοπορώντας ο Λεονάρντο ντα Βίντσι σχεδίασε προωθητικά πτερύγια από φυλλωσιά φοίνικα στα άκρα του καταδυόμενου, καθώς και σωλήνα για την αναπνοή του (ο σημερινός αναπνευστήρας) [2]. Μετέπειτα, συμβάλλοντας στην εξέλιξη των προωθητικών πτερυγίων, ο Τζιοβάνι Μπορέλλι (1680) τα προσδιόρισε με νέες τεχνικές προδιαγραφές, προωθητικών πτερυγίων από δέρμα ζώων [2, 18, 19].

2.2 Η Τεχνική Κολύμβηση τον 20^ο αιώνα

Σημείο αναφοράς για το άθλημα της ΤΚ αποτελεί η ανακάλυψη των πρώτων πτερυγίων από καουτσούκ του Γάλλου υποπλοίαρχου Λουί ντε Κορλύ, το 1924 [20, 21]. Έπειτα, το 1930 ο Γκάυ Γκιλαπatriκ κατασκεύασε τη μάσκα κολύμβησης από καουτσούκ και γυάλινη επιφάνεια [22]. Την ίδια χρονιά, ο Υβ λε Πριούρ δημιουργεί μια αναπνευστική συσκευή οδηγώντας την ανθρωπότητα όλο και πιο κοντά στην σύγχρονη καταδυτική της μορφή [20, 22]. Επίσημα, στις 6 Απριλίου του 1933 κατοχυρώνεται η πατέντα των διπλών πτερυγίων από τον Λουί ντε Κορλύ. Τον Ιούνιο του ίδιου έτους πραγματοποιεί επίδειξη των πτερυγίων στο Εθνικό Γαλλικό Ναυτικό, στην περιοχή Saint-jean-of-Luz στον παραπόταμο Μάρνη. Ο κατασκευαστής των διπλών πτερυγίων για να αποδείξει την χρησιμότητά τους κατάφερε να κολυμπήσει για 6 ώρες σε νερό 12°C την απόσταση των 8 χιλιομέτρων. Παρόλα αυτά,

το Εθνικό Γαλλικό Ναυτικό απέρριψε την εφεύρεση του Λουί ντε Κόρλυ. Εξαιτίας της προαναφερθείσας αποτυχίας αναγκάστηκε, το 1935, να τελειοποιήσει την κατασκευή των πτερυγίων [19]. Μετέπειτα, προώθησε την ιδέα του και στην Αμερική [2].

Ένα χρόνο αργότερα το 1936 ο Αμερικάνος Όουεν Π. Τσώρτσιλ μετονομάζει τα διπλά πτερύγια σε «swimfins», ενώ παράλληλα πραγματοποιούνται οι πρώτοι αγώνες τεχνικής κολύμβησης στο Παντουίζ της Γαλλίας [2, 23]. Τον Ιανουάριο του 1959 στο Μονακό ιδρύεται η Παγκόσμια Ομοσπονδία Υποβρύχιας Δραστηριότητας (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques, CMAS), με ιδρυτικό μέλος και πρώτο πρόεδρο αυτής τον εξερευνητή των καταδύσεων Ζακ-Υβ Κουστό. Το άθλημα της TK συγκαταλέγεται στα αγωνίσματα της παγκόσμιας ομοσπονδίας CMAS.

Τη δεκαετία του 60 το άθλημα εξελίσσεται και αναδιαμορφώνεται τόσο σε επίπεδο κανονισμών όσο και σε αγωνιστικό επίπεδο. Το 1964 πραγματοποιείται το πρώτο Πανελλήνιο πρωτάθλημα TK. Τρία χρόνια αργότερα δημιουργούνται από Ρώσους κατασκευαστές (Zhdanov, Titov, Shumkov) τα πρώτα αγωνιστικά διπλά πέδιλα με εποξειδική πλακέτα (υλικό κατασκευής κατόπιν επεξεργασίας) [23, 24]. Ακολούθως, το 1969 εντάσσονται οι κολυμβητικές αποστάσεις από 50 έως και 1500μ. στο αγωνιστικό πρόγραμμα της TK [23]. Το κολυμβητικό στυλ που επικρατεί είναι το «crawl» με τη χρήση πτερυγίων και αναπνευστήρα [23]. Την ίδια χρονιά, κατασκευάζεται το πρώτο μονοπτερύγιο από τον Φράνκο Παβόνε στην Μπολόνια της Ιταλίας [25]. Το 1970 το νέο μονοπτερύγιο εμφανίζεται για πρώτη φορά από τον Nadejda Turukalo [26, 27]. Ένα χρόνο αργότερα κατάφερε να κολυπήσει γρηγορότερα από 4 λεπτά την απόσταση των 400 μέτρων υποβρυχίως [26]. Το 1972 διαμορφώνεται η κολυμβητική τεχνική με την χρήση του μονοπτερυγίου και ολοκληρώνεται ο διαχωρισμός κατηγοριών του αθλήματος σε αγωνίσματα στην επιφάνεια του νερού, αλλά και υποβρυχίως [28].

Το 1976 πραγματοποιείται το πρώτο παγκόσμιο πρωτάθλημα στο Ανόβερο της Γερμανίας και το 1981 η TK συμπεριλαμβάνεται στο επίσημο πρόγραμμα των World Games στην Σάντα Κλάρα της Καλιφόρνια [29]. Οι συγκεκριμένοι αγώνες διοργανώνονται από τη Διεθνή Ένωση Παγκόσμιων Αγώνων υπό την αιγίδα της Διεθνούς Ολυμπιακής Επιτροπής (Δ.Ο.Ε) και αποτελούν προπομπό ένταξης νέων αγωνισμάτων στο επίσημο πρόγραμμα των Ολυμπιακών αγώνων [29]. Το 1986 η TK αναγνωρίζεται από τη (Δ.Ο.Ε) ως επίσημο αγώνισμα. Ένα χρόνο αργότερα πραγματοποιείται το πρώτο Ευρωπαϊκό πρωτάθλημα μεγάλων αποστάσεων TK στην Ολλανδία [29]. Το 1989 διοργανώνεται το πρώτο Παγκόσμιο πρωτάθλημα μικρών ηλικιών στην Ουγγαρία [29].

Τον Ιούλιο του 2013 το άθλημα της TK συγκαταλέγεται για πρώτη φορά σε αγώνες της 27^{ης} πανεπιστημιάδας στο Καζάν της Ρωσίας υπό την αιγίδα της FISU (Fédération Internationale du Sport Universitaire) [30]. Το 2015 παρουσιάζεται ως άθλημα επίδειξης στους 1^{ους} Ευρωπαϊκούς αγώνες αθλητισμού στο Μπακού της Ρωσίας και τον Αύγουστο της ίδιας χρονιάς συμπεριλαμβάνεται στο πρόγραμμα των 1^{ων} Mediterranean Beach Games υπό την αιγίδα της C.I.J.M. (Committee International Jeux Méditerranéens) [31].

Η εξέλιξη του αθλήματος της TK σε αγωνιστικό επίπεδο τα τελευταία χρόνια ήταν πάντοτε συνυφασμένη με τις εφαρμοσμένες μεθόδους προπόνησης και επιστημονικής υποστήριξης των αθλητών, την εξέλιξη των κανονισμών, καθώς και την εργονομική αναβάθμιση του τεχνολογικού εξοπλισμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η επίδοση του Παγκόσμιου πρωταθλητή ταχύτητας Kabanov Pavel όπου κολύπησε στο Πανευρωπαϊκό πρωτάθλημα του 2019 την απόσταση των 50μ άπνοιας σε χρόνο επίδοσης 0:13:70 s, ταχύτητα που μεταφράζεται σε 13,2 km/h ή 3,6 m/sec [32].

2.3 Σημασία της δυναμικής άπνοιας στην τεχνική κολύμβηση

Με τον όρο «δυναμική άπνοια», εννοούμε την άπνοια που πραγματοποιείται σε συνδυασμό με οποιαδήποτε μορφή άσκησης [16]. Στη σύγχρονη προπονητική πρακτική των περισσότερων αθλημάτων του υγρού στίβου (κολύμβηση, τεχνική κολύμβηση, καλλιτεχνική κολύμβηση κ.α.), χρησιμοποιούνται ασκήσεις και μέθοδοι προπόνησης δυναμικής άπνοιας προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αγωνιστική απόδοση.

Το 1988 ο ολυμπιονίκης και παγκόσμιος πρωταθλητής κολύμβησης, Daichi Suzuki ανέτρεψε τα δεδομένα σχετικά με τη χρήση της δυναμικής άπνοιας στα αγωνίσματα της κολύμβησης, καθώς κολύπησε ταχύτερα από όλους τους κολυμβητές της σειράς του, διανύοντας τη μεγαλύτερη απόσταση υποβρυχίως. Έκτοτε, η Παγκόσμια Ομοσπονδία FINA υποχρεώθηκε να διαμορφώσει τους κανονισμούς, προσθέτοντας τον περιορισμό των 15 μέτρων άπνοιας [33]. Αναλυτικότερα, σημειώνεται ότι στο άθλημα της κολύμβησης, ο αθλητής προκειμένου να μεγιστοποιήσει την απόδοσή του κατά τη διάρκεια του αγώνα, ενδείκνυται να εφαρμόζει δυναμικές άπνοιας κατά το ξεκίνημα του αγωνίσματος και μετά από κάθε κολυμβητική στροφή [34]. Ανάλογος κανονισμός ισχύει και στο άθλημα της τεχνικής κολύμβησης για τα αγωνίσματα που διεξάγονται στην επιφάνεια του νερού [1]. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε αγωνίσματα κολύμβησης και TK επιφανείας, παρέχεται η δυνατότητα στους αθλητές να διανύουν το 1/3 της συνολικής κολυμβητικής απόστασης υποβρυχίως, με ταυτόχρονο κράτημα της αναπνοής (άπνοια), καθιστώντας κρίσιμη τη φάση της δυναμικής άπνοιας σε συνθήκες αγώνα.

Τα τελευταία χρόνια η ερευνητική κοινότητα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της στη μελέτη κολυμβητών κάτω από την επιφάνεια του νερού, προκειμένου να υπάρξει περεταίρω βελτίωση στις αγωνιστικές επιδόσεις των αθλητών του υγρού στίβου. Για το άθλημα της TK λίγες είναι οι μελέτες σχετικά με τη συγκεκριμένη θεματολογία. Μια χαρακτηριστική έρευνα που επισημαίνει την σημαντικότητα της δυναμικής άπνοιας στην TK είναι των Nicolas et al., (2009) [35]. Στη συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση καθώς και σύγκριση της τεχνικής κολύμβησης στην επιφάνεια του νερού (επιφανείας) με αυτή της δυναμικής άπνοιας. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι οι κολυμβητικές ταχύτητες κάτω από την επιφάνεια του νερού είναι κατά 6-10% γρηγορότερες συγκρινόμενες με τις ταχύτητες επιφανείας, λόγω μειωμένων αντιστάσεων [35]. Σημειώνεται ότι οι κολυμβητικές ταχύτητες των αθλητών συχνά ξεπερνούν τα 12 χλμ/ώρα [21, 35]. Επακόλουθο των παραπάνω είναι η ανάπτυξη επιφανειακού κυματισμού τόσο σε εγκάρσια κατεύθυνση (κατά μήκος του

σώματος του κολυμβητή), όσο και σε αποκλίνουσα κατεύθυνση (πλευρικά του σώματος του κολυμβητή). Με αποτέλεσμα οι κολυμβητές να δέχονται ανεπιθύμητες επιπρόσθετες αντιστάσεις λόγω των αναπτυσσόμενων κυμάτων [36]. Συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η ταχύτητα ενός σώματος μέσα στο νερό, τόσο αυξάνει και το πλάτος κυματισμού από το εμπρός προς το πίσω μέρος του σώματος [36, 37]. Η φάση κατά την οποία μπορούν να αποφύγουν τον αυξημένο κυματισμό είναι έπειτα από κάθε στροφή διανύοντας την απόσταση των 15 μέτρων με τη μορφή της δυναμικής άπνοιας.

Στο αγωνιστικό πρόγραμμα του αθλήματος συμπεριλαμβάνεται και το αγώνισμα των 50 μέτρων άπνοιας [1]. Σε αυτό το αγώνισμα, βασική προϋπόθεση επίτευξης υψηλών επιδόσεων είναι η απόλυτη εξειδίκευση σε συνθήκες άπνοιας προκειμένου να υπάρξει ανάπτυξη φυσικών προσαρμογών και τεχνικής της υποβρύχιας κολύμβησης. Η ένταση της άσκησης σε συνθήκες άπνοιας καθορίζει τον ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου και συνεπώς τον χρόνο άπνοιας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος άπνοιας [38]. Μια χαρακτηριστική έρευνα που διερεύνησε το συγκεκριμένο θέμα είναι των Guimard et al., (2018) [39] στο οποίο, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν 9 υγιείς άνδρες και εξέτασαν την επίδραση της έντασης σε συνθήκες δυναμικής άπνοιας. Από τη μελέτη του συγκεκριμένου δειγματοληπτικού πλαισίου διαπιστώθηκε η ύπαρξη αποκορεσμού, δηλαδή η μείωση αρτηριακού αίματος από O_2 (SpO_2), τόσο σε μέγιστη όσο και σε υπομέγιστη προσπάθεια κολύμβησης [39].

Ο αποκορεσμός συσχετίζεται με την βραδυκαρδία και την υπέρταση και επηρεάζει την απόδοση. Αντίστοιχα συμπεράσματα απέδειξαν προηγούμενες έρευνες [40, 41] και επιπροσθέτως τεκμηρίωσαν τη βελτίωση της απόδοσης των κολυμβητών με την εφαρμογή της δυναμικής άπνοιας, είτε με χρήση τεχνικού εξοπλισμού (περύνια), είτε χωρίς.

Επίσης, ένας ακόμη παράγοντας που μεταβάλλεται κατά τη δυναμική άπνοια είναι τα επίπεδα του γαλακτικού στο αίμα [3, 13], λόγω της μειωμένης περιφερικής μεταφοράς οξυγόνου που προκαλείται από την έντονη αγγειοσυστολή στην περιφέρεια. Αρκετές έρευνες φαίνεται να συμφωνούν με την αύξηση του γαλακτικού σε κολύμβηση μέγιστης έντασης [42, 43]. Παρόλα αυτά με βάση την έρευνα αθλητών τριάθλου [39] παρατηρηθήκαν μειωμένα επίπεδα γαλακτικού κατά την κολύμβηση δυναμικής άπνοιας. Τα μειωμένα επίπεδα γαλακτικού στο αίμα αιτιολογούνται από την καθυστέρηση σύνθεσης και απελευθέρωσής του, λόγω της μικρότερης χρονικής διάρκειας υποβρύχιας κολύμβησης, καθώς επίσης και την δράση της βραδυκαρδίας.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα στοιχεία, συμπεραίνουμε ότι, η δυναμική άπνοια καθίσταται ως ένας από τους θεμελιώδεις συντελεστές απόδοσης και κρίνεται αναγκαίο να συμπεριληφθεί στη διαδικασία των προπονητικών προγραμμάτων, τηρώντας τους κανόνες ασφαλείας διότι μέσω των φυσιολογικών προσαρμογών ενισχύεται η αναερόβια και αερόβια ικανότητα [44].

2.4 Προπόνηση Άπνοιας στην τεχνική κολύμβηση

Οι αθλητές, ανεξάρτητα από το άθλημα, στο οποίο προπονούνται, σε συνθήκες άπνοιας, αναπτύσσουν κάποιες φυσιολογικές προσαρμογές. Η προσαρμοστικότητα του ανθρώπινου οργανισμού κατά την άπνοια σχετίζεται τόσο με το καρδιαγγειακό και αιματολογικό-μεταβολικό σύστημα, όσο και με το αναπνευστικό. Οι καρδιαγγειακές προσαρμογές αφορούν κυρίως το επονομαζόμενο καταδυτικό αντανακλαστικό. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τη μείωση της καρδιακής συχνότητας (ΚΣ) [3, 45-48] και της καρδιακής παροχής [49], ενώ παράλληλα παρατηρείται συνεχής αύξηση της αρτηριακής πίεσης [3, 11, 45-47] και της περιφερικής αγγειοσυστολής, καθώς υπάρχει ανακατανομή του αίματος από την περιφερική στην εγκεφαλική κυκλοφορία [50]. Οι παραπάνω μηχανισμοί ενεργοποιούνται προκειμένου να επιβραδύνουν τη χρήση του οξυγόνου στην περιφέρεια και να διασφαλίσουν τη ζωτικής σημασίας οξυγόνωση του εγκεφάλου και της καρδιάς. Η συγκεκριμένη λειτουργία εμφανίζεται περισσότερο ενεργοποιημένη σε προπονημένα άτομα καθώς η κατανάλωση οξυγόνου γίνεται με πιο αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα να παρατείνεται ο χρόνος διάρκειας της άπνοιας [5].

Οι αθλητές που φέρουν εξοικείωση σε δραστηριότητες άπνοιας, παρουσιάζουν βελτίωση στις αιματολογικές αποκρίσεις, οι οποίες επηρεάζονται διαφορετικά σε σχέση με τις αιματολογικές αποκρίσεις προπόνησης αντοχής. Η λειτουργία συστολής της σπλήνας επισπεύδει την προώθηση των αποθηκευμένων ερυθροκυττάρων στην κυκλοφορία του αίματος [5-7]. Ως αποτέλεσμα παρατηρείται αύξηση του αιματοκρίτη καθώς και της αιμοσφαιρίνης στην κυκλοφορία του αίματος. Μέσω της προπόνησης άπνοιας επιτυγχάνεται η βελτίωση απόδοσης της συστολής της σπλήνας. Οι Schagatay et al. (2001a) [8] υποστήριξαν ότι αν οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο παραμονής σε συνθήκες άπνοιας παραμείνουν σταθεροί, τότε αρκεί η λειτουργία της συσταλτότητας της σπλήνας να αυξήσει την αποθήκευση οξυγόνου στο αίμα μέσω της αποβολής ερυθροκυττάρων, παρατείνοντας τον χρόνο άπνοιας [8]. Είναι μια επιπλέον μέθοδος αύξησης μεταφοράς οξυγόνου από τη χρήση της ερυθροποιητίνης [44].

Η προπόνηση άπνοιας σχετίζεται με το αναπνευστικό σύστημα και πιο συγκεκριμένα με την ανταλλαγή αερίων (O_2 και CO_2) στις πνευμονικές κυψελίδες. Με τον όρο προπόνηση σε συνθήκη «υποξίας» εννοούμε την άσκηση με ανεπάρκεια οξυγόνου σε κυτταρικό επίπεδο [16]. Οι αθλητές που προπονούνται σε συνθήκες άπνοιας εμφανίζουν μια επιβράδυνση στη μεταφορά οξυγόνου στο αίμα. Η επιβράδυνση ωθεί τον οργανισμό να διαχειρίζεται αποτελεσματικότερα τα αποθέματα οξυγόνου, παρατείνοντας τον χρόνο άπνοιας [13]. Επίσης, στο αναπνευστικό σύστημα παρατηρείται βελτίωση των χημικών ερεθισμάτων (υποξία ή υπερκαπνία) [14], ενώ παράλληλα υφίστανται βελτίωση στα μηχανικά ερεθίσματα από τη δραστηριότητα των αναπνευστικών μυών [15]. Πρόσφατη έρευνα των Vašičková, J. et al., (2017) [51] στο άθλημα της ΤΚ επιβεβαιώνει την βελτίωση των αναπνευστικών μυών έπειτα από τέσσερις εβδομάδες προπόνησης άπνοιας [51]. Σημειώνεται πως οι αθλητές που είναι εξοικειωμένοι σε συνθήκες άπνοιας αυξάνουν τη ζωτική χωρητικότητα των πνευμόνων, καθώς

βελτιώνεται η απόδοση των αναπνευστικών μυών, καθυστερώντας την κόπωση σε παρατεταμένη και μέγιστη άσκηση [52]. Σύμφωνα με έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στον υγρό στίβο, διευκρινίζεται ότι οι αθλητές που υποβάλλονται συχνά σε συνθήκες άπνοιας μειώνουν την ευαισθητοποίηση της εμφάνισης υπερκαπνίας (έντονη συσσώρευση CO₂ στο αίμα), η οποία σχετίζεται με τον χρόνο παραμονής στην άπνοια [14, 53]. Επίσης, η βελτίωση της άπνοιας καθορίζεται από τον βαθμό βραδυκαρδίας, καθώς και από τα χαμηλά επίπεδα οξειδωτικού στρες. Συγκεκριμένα με την προπόνηση άπνοιας επηρεάζεται ο μυϊκός μεταβολισμός και τα αποθέματα μυϊκού γλυκογόνου, μειώνοντας την οξέωση του αίματος και τα επίπεδα του οξειδωτικού στρες [12, 44]. Επιπλέον, σύμφωνα με την έρευνα [54] σημειώνεται ότι με την προπόνηση άπνοιας αυξάνεται η απόδοση σε αναερόβιες δοκιμασίες που πιθανώς οφείλονται στην οξεοβασική ισορροπία.

Τα τελευταία χρόνια, η επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει το ενδιαφέρον της προς τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες άπνοιας, οι οποίες αποτελούν εργαλείο βελτίωσης των παραπάνω φυσιολογικών αποκρίσεων. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στον κλάδο της προπόνησης άπνοιας, με πρωτόκολλο επαναλαμβανόμενων προσπαθειών άπνοιας, αποδείχθηκε η προοδευτική βελτίωση του χρόνου διάρκειάς της [6-10]. Κάποιοι επιστήμονες χαρακτηρίζουν τις επαναλαμβανόμενες άπνοιες ως έναν μηχανισμό αύξησης της απόδοσης, ειδικά αν εφαρμοστούν πριν από έναν αγώνα κολύμβησης. Παρά ταύτα δεν διευκρινίζεται η φύση των απνοιών (εντός ή εκτός νερού). Στην έρευνα των Schagatay et al., (1999) [55] οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν πέντε μέγιστες επαναλαμβανόμενες άπνοιες με ενδιάμεση αποκατάσταση δυο λεπτών. Από τα αποτελέσματα της έρευνας παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου άπνοιας κατά 55%. Σημειώνεται ότι ο χρόνος αποκατάστασης επηρεάζει άμεσα τη διάρκεια της άπνοιας. Οι ίδιοι ερευνητές σύγκριναν τις διαφορές του χρόνου διαλείμματος μεταξύ των επαναλαμβανόμενων προσπαθειών. Από τα συμπεράσματα κατέληξαν ότι το διάλειμμα των δύο λεπτών και των τεσσάρων λεπτών είχε την ίδια επίδραση στην παράταση του χρόνου άπνοιας, ενώ με ακόμα μεγαλύτερο διάλειμμα, στα οκτώ λεπτά η παράταση του χρόνου ήταν αμελητέα [55]. Οι περισσότεροι ερευνητές που αναλύουν μέγιστες προσπάθειες άπνοιας χρησιμοποιούν τα δυο λεπτά αποκατάστασης μεταξύ των προσπαθειών [6-10].

Οι φυσιολογικές προσαρμογές που αναπτύσσονται από την προπόνηση άπνοιας επιταχύνουν και τη διάρκεια της αποκατάστασης μεταξύ των επαναλήψεων. Ο χρόνος αποκατάστασης καθορίζεται από τα επίπεδα του αιματοκρίτη (Hct) και τη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης (Hb) [56, 57]. Όσο αυξημένα είναι αυτά τα επίπεδα, τόσο πιο έτοιμος είναι ο ασκούμενος για την επόμενη επανάληψη άπνοιας [56, 57]. Συμπερασματικά, η προπόνηση άπνοιας ή η υποξική προπόνηση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι βελτίωσης των φυσιολογικών αποκρίσεων της αθλητικής απόδοσης, τόσο βραχυπρόθεσμα, όσο και μακροπρόθεσμα.

2.5 Φυσιολογικές αποκρίσεις επαναλαμβανόμενων προσπαθειών μέγιστης έντασης σε κατάσταση εύπνοιας

Βασικό χαρακτηριστικό των αθλημάτων του υγρού στίβου αποτελεί η υψηλή ενεργειακή δαπάνη. Το νερό είναι 800 φορές πυκνότερο από τον αέρα επομένως η αντίσταση που αντιμετωπίζει το σώμα είναι κατά 12 φορές μεγαλύτερη. Στο περιβάλλον του νερού οι αθλητές καταβάλουν μεγαλύτερη προσπάθεια και κινούνται με μικρότερη ταχύτητα από ότι στο περιβάλλον του αέρα [58].

Όταν η άσκηση εφαρμόζεται στη στεριά, τα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού επηρεάζονται από τη δύναμη της βαρύτητας καθώς επίσης και από την αντίσταση του αέρα η οποία είναι σχεδόν αμελητέα. Στο υδάτινο περιβάλλον μεταβάλλεται η πυκνότητα και προστίθεται ο παράγοντας της άνωσης, ελαχιστοποιώντας τη δύναμη της βαρύτητας. Οι κολυμβητές προπονούνται σε ένα περιβάλλον το οποίο προκαλεί αρκετές προσαρμογές σε όλα τα συστήματα του σώματος. Η λειτουργία των πνευμόνων και της καρδιάς είναι παράγοντες που αλληλοεπιδρούν προκειμένου να αποδώσει ο κολυμβητής. Επομένως, στην αγωνιστική κολύμβηση οι αθλητές προπονούνται για την εξάσκηση του καρδιαγγειακού τους συστήματος καθώς επίσης και για την μεγιστοποίηση της αναπνευστικής τους ικανότητας [59].

Τα τελευταία χρόνια, η προπονητική κοινότητα έχει εστιάσει περισσότερο στις μέγιστες επαναλαμβανόμενες προσπάθειες υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας, καθώς αποτελούν βασικό παράγοντα για τη βελτίωση της απόδοσης των αθλητών [60]. Στην TK αλλά και στην κολύμβηση, οι προπονητές εφαρμόζουν νέες μεθόδους προπόνησης προκειμένου να συνδυάσουν ποικίλες παραμέτρους βελτίωσης της φυσικής κατάστασης με στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των αθλητών τους [61]. Με τον όρο προπόνηση υψηλής έντασης ορίζουμε τα επαναλαμβανόμενα σύντομα (<45 s) ή και μεγαλύτερα σε διάρκεια (2 έως 4 min) διαστήματα υψηλής έντασης ασκήσεων με επαρκή χρόνο ξεκούρασης [62]. Ο παράγοντας που επηρεάζει τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες είναι η κόπωση η οποία συχνά εμφανίζεται μετά από την πρώτη επανάληψη. Η προκύπτουσα κόπωση επιδρά σε συγκεκριμένες μυϊκές ομάδες οι οποίες εξαρτώνται ανάλογα το άθλημα.

Στο άθλημα της TK η προπόνηση σε σειρές (σετ) μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπαθειών πραγματοποιούνται συχνά, ανάλογα τον προπονητικό μακρόκυκλο των προπονητών δίνοντας έμφαση στους αγωνιστικούς στόχους των αθλητών. Σχετικά με τα οφέλη των επαναλαμβανόμενων προσπαθειών μέγιστης έντασης, υπάρχει περισσότερη βιβλιογραφία για το άθλημα του στίβου και της ποδηλασίας [63]. Ωστόσο, πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στο άθλημα της κολύμβησης, ενώ για το άθλημα της TK ελάχιστες είναι οι έρευνες που μελετούν τη συγκεκριμένη θεματολογία.

2.6 Η απόκριση του καρδιαγγειακού συστήματος σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης κολύμβησης.

Ο μυς της καρδιάς όπως και οι σκελετικοί μύες έχουν την τάση να προσαρμόζονται ανάλογα με τα προπονητικά ερεθίσματα που επιδέχονται. Η άσκηση αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της

βελτίωσης του καρδιαγγειακού συστήματος καθώς βελτιώνει την καρδιακή συχνότητα, τον όγκο παλμού, και την καρδιακή παροχή. Όταν παρατηρείται ανάπτυξη των τελοδιαστολικών διαστάσεων της αριστερής κοιλίας (LV) και της δεξιάς κοιλίας (RV), υπερτροφία της αριστερής κοιλίας LV ή αυξημένος όγκος του αριστερού κόλπου (LA) ο αθλητής χαρακτηρίζεται πως διαθέτει «καρδιά αθλητή» [64]. Η αύξηση του μεγέθους της LV (υπερτροφία) συνδέεται άρρηκτα με την μακροπρόθεσμη επίδραση της άσκησης. Για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως η πιο ενεργητική κοιλότητα του καρδιακού μυός [65]. Για παράδειγμα στην προπόνηση με αντιστάσεις η LV συστέλλεται ενάντια στην πίεση που αναπτύσσεται στην κυκλοφορία του αίματος, η οποία χαρακτηρίζεται ως υψηλό μεταφορτίο. Για να ανταπεξέλθει ο καρδιακός μυς στο υψηλό μεταφορτίο αυξάνει τη συσταλτικότητα του, δηλαδή αυξάνει το πάχος των τοιχωμάτων του με συνέπεια την τροποποίηση του αρχικού μεγέθους της καρδιάς. Το μέγεθός της εξαρτάται από το μέγεθος του σώματος του αθλητή ή της αθλήτριας [65].

Μετά την εκτέλεση ενός προγράμματος άσκησης μέγιστης έντασης αλλά και υπομέγιστης, ο όγκος παλμού (SV) παρατηρείται αυξημένος. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αθλητές πετοσφαίρισης, σε δρομείς αλλά και σε ανθρώπους με καθιστική εργασία ακολουθώντας πρόγραμμα μηνιαίας εργομετρικής αξιολόγησης (μη αθλητές) παρατηρήθηκε ότι με την άσκηση ο όγκος παλμού αυξάνεται [66]. Πιο συγκεκριμένα, μετά την προπόνηση η αριστερή κοιλία γεμίζει με αίμα αυξάνοντας έτσι την τάση των κοιλιακών τοιχωμάτων με τον μηχανισμό Frank Starling οδηγώντας έτσι, σε ισχυρότερη ελαστική επαναφορά των τοιχωμάτων [67]. Αυτή η αύξηση των κοιλιών με μάζα αίματος προκαλεί ενισχυμένες συστολές, προκαλώντας μείωση του τελοδιαστολικού όγκου. Αυτό εξηγείται καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα αίματος που εξωθείται από τον μυ της καρδιάς με τη συστολή, έχει ως αποτέλεσμα να απομένει λιγότερο αίμα στην αριστερή κοιλία μετά από τη συστολή [68]. Έτσι, όσο περισσότερο αίμα εισέρχεται στην LV τόσο περισσότερο εξωθείται με τη συστολή και έτσι πραγματοποιείται η αύξηση του όγκου παλμού.

Με τη προπόνηση μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπαθειών, η καρδιακή συχνότητα (HR) αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα αξιολόγησης της απόδοσης καθώς και έλεγχο κατά την προπόνηση αθλητών υγρού στίβου [69]. Συγκεκριμένα είναι ένας δείκτης που εκφράζει πόσο σκληρά λειτουργεί η καρδιά είτε κατά την ηρεμία είτε κατά την άσκηση. Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα συνήθως παραμένει αμετάβλητη παρόλα αυτά βάση ερευνών έπειτα από προπόνηση με μέγιστες εντάσεις παρατηρήθηκε ότι η καρδιακή συχνότητα μπορεί να μειωθεί [70]. Οι προπονητές στην TK αλλά και γενικότερα οι προπονητές του υγρού στίβου χρησιμοποιούν την καρδιακή συχνότητα τόσο για να προσδιορίσουν την ένταση της προσπάθειας όσο και για να προβλέψουν κάποια πιθανή αδιαθεσία των αθλητών τους στην προπόνηση [71]. Παράλληλα, υπολογίζεται η προσπάθεια του κολυμβητή για μια συγκεκριμένη απόσταση και καταγράφεται το επίπεδο φυσικής κατάστασης που διανύει ο αθλητής τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο [69]. Η αύξηση των καρδιακών παλμών σε μέγιστες προσπάθειες σχετίζεται με την καρδιακή παροχή (CO).

Τα δυο παραπάνω αποτελέσματα της προπόνησης (καρδιακή συχνότητα και όγκος παλμού) αποτελούν τα δυο βασικά στοιχεία της καρδιακής παροχής. Η CO παρατηρείται αυξημένη στα μέγιστα επίπεδα άσκησης και αυτό σχετίζεται με την αύξηση του όγκου παλμού που δημιουργεί η μέγιστη άσκηση. Σύμφωνα με την έρευνα των Harms και συν. (1998), όπου εξέτασαν τις μεταβολές της καρδιακής παροχής από τις μεταπτώσεις της αναπνευστικής λειτουργίας κατά τη μέγιστη άσκηση, παρατηρήθηκε ότι οι αναπνευστικοί μύες καταβάλλουν το 14 έως 16% του έργου της καρδιακής παροχής το οποίο έχει ως συνέπεια το έντονο αίσθημα της κόπωσης των αναπνευστικών μυών [72].

Όσο οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται τόσο το ανθρώπινο σώμα οδηγείται προς το όριο της πρόσληψης οξυγόνου. Στο σημείο όπου φθάνει ο οργανισμός στο όριο της μέγιστης απόδοσής του, υπάρχει μια σταθεροποίηση και δεν μεταβάλλεται άλλο, όσο και αν αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις. Αυτό το σημείο ονομάζεται μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) και είναι η πιο αξιόπιστη μέτρηση της καρδιοαναπνευστικής αντοχής και της αερόβιας φυσικής κατάστασης. Σύμφωνα με έρευνες στην κολύμβηση, οι καρδιακοί παλμοί και η VO_{2max} παρατηρούνται μειωμένες σε ασκούμενους που εκτέλεσαν πρωτόκολλα άσκησης μέσα στο νερό σε σχέση με πρωτόκολλα άσκησης που εφαρμόστηκαν στους ίδιους έξω από το νερό [73].

2.7 Η απόκριση του αναπνευστικού συστήματος σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης κολύμβησης

Η αναπνοή είναι μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και εξαρτάται από συγκεκριμένες κινήσεις μυών [74]. Η μεταφορά του αέρα προς τους πνεύμονες καθώς επίσης και η απομάκρυνσή του από αυτούς (εκπνοή) ονομάζεται πνευμονικός αερισμός [75]. Ο πνευμονικός αερισμός υπολογίζεται και μετριέται. Συγκεκριμένα η μέτρηση του καθορίζεται από έναν αρχικό ρυθμό που υπολογίζεται περίπου στα 100 έως 120 L/min και σε προπονημένα άτομα μπορεί να φθάσει και τα 180 με 200 L/min. Οι παράγοντες που ευθύνονται για την αύξηση του μέγιστου πνευμονικού αερισμού είναι η αυξημένη αναπνευστική συχνότητα και ο αυξημένος αναπνευστικός όγκος κατά τη μέγιστη άσκηση [75].

Η αναπνευστική ικανότητα του ανθρώπου καθορίζεται και από την πνευμονική διάχυση που είναι η ανταλλαγή αερίων στα βρογχιόλια, και επηρεάζεται από την ένταση της άσκησης. Όσο πιο έντονη είναι η άσκηση τόσο περισσότερο μεταβάλλεται, ενώ κατά την ηρεμία παραμένει αμετάβλητη. Κατά την αερόβια άσκηση τεχνικής κολύμβησης αλλά και της κολύμβησης παρατηρούνται σημαντικές προσαρμογές των αναπνευστικών μυών αυξάνοντας την αντοχή και τη δύναμη των μυών [51, 76]. Με την προπόνηση βελτιώνονται όλες οι αναπνευστικές παράμετροι. Συγκεκριμένα ως συνέπεια της προπόνησης αυξάνεται η ζωτική χωρητικότητα με την αύξηση της δύναμης των αναπνευστικών μυών καθώς επίσης και της ελαστικότητας των πνευμόνων και της θωρακικής κοιλότητας [77]. Αντίστοιχες προσαρμογές παρατηρούνται και στη δυναμική ζωτική χωρητικότητα και στον μέγιστο εμπνεόμενο όγκο αέρα σε ένα δευτερόλεπτο [78].

Η αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου είναι η περιεκτικότητα του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο και μεταβάλλεται επίσης με την προπόνηση σε μέγιστα επίπεδα άσκησης. Παρόλα αυτά το μέγεθος του πνεύμονα καθώς επίσης και η πνευμονική λειτουργία επηρεάζονται σε ελάχιστο βαθμό κατά τη μέγιστη άσκηση [78]. Βάση της έρευνας των Coast και συν. (1999) όπου αξιολογήθηκε η πνευμονική λειτουργία και πιο συγκεκριμένα το έργο των αναπνευστικών μυών έπειτα από μέγιστη άσκηση, συμπεράστηκε ότι η πνευμονική λειτουργία είναι ανεξάρτητη από το έργο των αναπνευστικών μυών αλλά επηρεάζεται από τη μέγιστη άσκηση [79].

Κατά τη μέγιστη άσκηση η αναπνευστική ικανότητα προκαλεί αγγειοσυστολή και αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2) [80]. Σε προπονημένα άτομα για την ενεργοποίηση των αναπνευστικών μυών χρησιμοποιείται το 15% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, ενώ αντίστοιχα σε λιγότερο προπονημένα το 10% [81]. Οι λιγότερο προπονημένοι αθλητές αισθάνονται ισχυρότερο το αίσθημα της κόπωσης στους αναπνευστικούς μύς σε σχέση με τους προπονημένους αθλητές [82]. Επιπλέον έχει παρατηρηθεί ότι η κόπωση των εισπνευστικών μυών εμφανίζεται σε μεγάλο βαθμό έπειτα από συνεχή άσκηση αντοχής υψηλής έντασης [82].

Το αναπνευστικό σύστημα είναι αυτό που καθορίζει τη μεταφορά του οξυγόνου στο σώμα. Οι σημαντικότερες προσαρμογές προπόνησης που σημειώνονται στο αναπνευστικό σύστημα παρατηρούνται κατά τη μέγιστη άσκηση και συγκεκριμένα όταν πιέζονται στο μέγιστο όλοι οι ιστοί στο ανθρώπινο σώμα.

2.8 Μεταβολικές αποκρίσεις σε επαναλαμβανόμενες προσπάθειες μέγιστης έντασης

Η άσκηση είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες τροποποίησης του μεταβολισμού. Με τον όρο μεταβολισμό ορίζουμε το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε έναν ζωντανό οργανισμό [83]. Με την έναρξη της άσκησης ο μεταβολισμός ενεργοποιεί την ανάγκη ενεργειακής τροφοδότησης στους σκελετικούς μυς. Με το πέρας της άσκησης ο μεταβολισμός δεν επιστρέφει στην αρχική κατάσταση. Οι αλλαγές που έχει υποστεί μπορούν να παραμείνουν για ώρες ή και μέρες, ενώ κάποιες μπορεί να εκδηλωθούν κατά την αποκατάσταση και όχι τόσο κατά την άσκηση. Τα περισσότερα είδη της άσκησης προκαλούν οξείδωση των υδατανθράκων και των λιπιδίων. Επιπλέον η άσκηση αλλάζει και τον μεταβολισμό των οργάνων και ιστών πέρα από τον μεταβολισμό των μυών. Με την εφαρμογή τακτικής άσκησης ο μεταβολισμός τροποποιείται και επιφέρει αλλαγές στο μεταβολικό προφίλ της άσκησης αλλά και της ηρεμίας [83, 84].

Το μόριο της φωσφοκρεατίνης είναι σημαντικός ισορροπιστής για τον ανεφοδιασμό ATP καθώς είναι το πρώτο που εξαντλείται κατά τη μέγιστη άσκηση. Η διαδικασία διάσπασης PCr πραγματοποιείται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να μπορεί να πραγματοποιηθεί με επάρκεια οξυγόνου παρόλα αυτά το σύστημα ATP-PCr ενεργοποιείται χωρίς την παρουσία οξυγόνου και είναι αναερόβιο. Οι ενεργειακές αποθήκες ισορροπούν λοιπόν χάρις το παραπάνω σύστημα τα πρώτα 3-15 s πολύ έντονης άσκησης, έπειτα ο οργανισμός χρειάζεται να βασιστεί σε άλλα συστήματα όπως το γλυκολυτικό

και το οξειδωτικό [83, 84]. Προκειμένου ο οργανισμός να παράγει ATP διασπά το γλυκογόνο μέσω κάποιων γλυκολυτικών ενζύμων, η διαδικασία αυτή ονομάζεται γλυκόλυση [83, 84]. Το γλυκολυτικό σύστημα απαιτεί 12 ενζυμικές αντιδράσεις για να διασπαστεί το γλυκογόνο σε πυροσταφυλικό οξύ. Από την γλυκόλυση το κάθε μόριο γλυκογόνου αποδίδει 3 γραμμόρια (mol) ATP [83, 84].

Πέρα από αυτά παρατηρείται έντονη συσσώρευση γαλακτικού και ο οργανισμός επιστρατεύει ένα άλλο σύστημα, το οξειδωτικό σύστημα. Μια βασική έννοια που θα πρέπει να σημειωθεί είναι η κυτταρική αναπνοή. Η κυτταρική αναπνοή συμβαίνει όταν ο οργανισμός χρησιμοποιεί το οξυγόνο για να διασπάσει τα καύσιμά του προκειμένου να παράγει ενέργεια. Όταν χρησιμοποιείται το οξυγόνο τότε ο οργανισμός βρίσκεται στον αερόβιο μηχανισμό και αυτή η διαδικασία της οξειδωτικής παραγωγής ATP ολοκληρώνεται στα μιτοχόνδρια (οργανίδια των κυττάρων). Το οξειδωτικό σύστημα αποδίδει μεγάλα ποσά ενέργειας. Με την οξείδωση υδατανθράκων προκύπτουν κάποιες συγκεκριμένες διεργασίες κατά τις οποίες ο οργανισμός μεταβαίνει ανάλογα από την ένταση και την διάρκεια της άσκησης. Η αερόβια γλυκόλυση, είναι προϊόν του μεταβολισμού υδατανθράκων [84]. Η γλυκόλυση λειτουργεί είτε υπάρχει επάρκεια οξυγόνου είτε όχι, το μόνο που μεταβάλλεται είναι το πυροσταφυλικό οξύ δηλαδή το τελικό προϊόν της γλυκόλυσης. Όπως προαναφέρθηκε εάν δεν υπάρχει οξυγόνο το πυροσταφυλικό οξύ ανάγεται σε γαλακτικό και το αποτέλεσμα αυτό ονομάζεται αναερόβια γλυκόλυση [83, 84].

Στο άθλημα της TK τα αγωνίσματα μέχρι και τα 200 μέτρα έχουν συνολική διάρκεια 1-2 λεπτά. Για μικρότερα αγωνίσματα όπως των 50 και των 100 μέτρων επιφανείας αλλά και υποβρυχίως επιστρατεύεται ο αναερόβιος μεταβολισμός προκειμένου να υπάρξει περεταίρω σύνθεση της ενεργειακής πηγής ATP [85]. Η ταχύτητα ανασύνθεσης του ATP από τους μυς, καθορίζει την ταχύτητα κολύμβησης. Η ανάπτυξη του ρυθμού παραγωγής ATP εξασφαλίζεται από τις αναερόβιες πηγές ενέργειας, την PCr και την αναερόβια γλυκόλυση. Με τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες ενεργοποιείται και ο αερόβιος αλλά και ο αναερόβιος μεταβολισμός. Για τη μεγιστοποίηση του δεύτερου αρκεί να αυξήσουμε τον χρόνο διαλείμματος μεταξύ των προσπαθειών εκτελώντας προσπάθειες με μικρό χρόνο έργου. Το αναερόβιο σύστημα ενεργοποιείται για φυσικές δραστηριότητες υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας καθώς η ενέργεια που εκπορεύεται πηγάζει κυρίως από το μυϊκό γλυκογόνο μέσω της αναερόβιας γλυκόλυσης [84].

Παρόλα αυτά όμως σε μέγιστες επαναλαμβανόμενες προσπάθειες υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψιν και ο αερόβιος μεταβολισμός. Από μελέτες στην κολύμβηση των Ring et al. (1996) και Capelli et al. (1998) οδηγηθήκαμε σε χρήσιμες πληροφορίες για τις μέγιστες επαναλαμβανόμενες προσπάθειες με διάρκεια 23 έως 26 s. Ανεξαρτήτως του στυλ κολύμβησης που χρησιμοποιήθηκε, ο αερόβιος μεταβολισμός συμμετέχει σε ποσοστό 15-17%, ενώ στο πρόσθιο συμμετέχει κατά 27% [86, 87]. Τα πρωτόκολλα μέγιστων επαναλαμβανόμενων προσπαθειών στην κολύμβηση έχουν ως στόχο την βελτίωση της ταχύτητας ή της αναερόβιας ικανότητας και ισχύος

[85]. Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω προπονητικοί στόχοι αρκεί η ένταση των προσπαθειών να είναι μέγιστη [88]. Κατασταλτικοί παράγοντες στοχευμένης ενεργοποίησης μεταβολικών συστημάτων, αποτελούν το διάλειμμα και ο αριθμός των επαναλήψεων [85]. Μια χαρακτηριστική έρευνα που υπογραμμίζει το παραπάνω είναι των Bogdanis, Nevill, Boobis, & Lakomy, (1996) η οποία αναφέρει ότι με την εκτέλεση δυο προσπαθειών διάρκειας 30s με 4 λεπτά αποκατάσταση, ο αερόβιος μεταβολισμός παρατηρείται περισσότερο αυξημένος στη δεύτερη προσπάθεια έναντι της πρώτης [89]. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των προσπαθειών τόσο αυξάνεται και ο αερόβιος μεταβολισμός σε συνδυασμό με τη φωσφοκρεατίνη (PCr) υπερέχοντας στις τελευταίες προσπάθειες [90]. Σύμφωνα με έρευνα των Tabata και συν. (1997) στην οποία οι ασκούμενοι εκτέλεσαν 6-7 επαναλήψεις διάρκειας 20 s με διάλειμμα 10 s ενώ η ένταση κυμαινόταν στο 170% της VO_{2max} , παρατήρησαν ότι ενεργοποιήθηκαν σε σχεδόν μέγιστο βαθμό και αερόβιος αλλά και ο αναερόβιος μεταβολισμός. Οι ίδιοι ασκούμενοι όταν εκτέλεσαν πιο έντονη προσπάθεια ενεργοποίησης 200% της VO_{2max} , 4-5 επαναλήψεις και διάλειμμα 2 λεπτών παρατηρήθηκε ότι μόνο ο αναερόβιος μεταβολισμός ενεργοποιήθηκε μέγιστα. Για την βελτίωση της αναερόβιας ισχύος συνιστάται το δεύτερο πρωτόκολλο (200% VO_{2max} , 4-5 επαναλήψεις, 2 λεπτά αποκατάσταση) καθώς συντηρεί σε μειωμένα επίπεδα την αερόβια συμμετοχή στη διάρκεια των επαναλήψεων [91]. Οι τελευταίες προσπάθειες περιλαμβάνουν συνήθως τον ιδανικό χρόνο επίδοσης, το μέσο όρο των προσπαθειών, καθώς και τη μείωση της απόδοσης ως ποσοστό με βάση την καλύτερη επίδοση [91].

2.9 Έλεγχος της Δυναμικής και Στατικής Άπνοιας

Η ελεύθερη κατάδυση (Ε.Κ.) δηλαδή η βύθιση με κράτημα της αναπνοής χωρίς τη χρήση αναπνευστικής συσκευής, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ευρύτερα διαδεδομένη σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς κεντρίζει το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων αθλητών, σύμφωνα με την AIDA (Association International for the Development of Apnea). Συγκεκριμένα αποτελεί βασικό στοιχείο αρκετών υδατινών αθλημάτων όπως η καλλιτεχνική κολύμβηση, το υποβρύχιο hockey, η τεχνική κολύμβηση κ.α. [92]. Στο άθλημα της τεχνικής κολύμβησης προκειμένου οι αθλητές να πετυχαίνουν καλύτερες αποδόσεις ενδείκνυται να εφαρμόζουν τις δυναμικές άπνοιες των 15 μέτρων που δικαιούνται κατά το ξεκίνημα και έπειτα από κάθε στροφή τεχνικής κολύμβησης. Επιπλέον στο αγωνιστικό πρόγραμμα του αθλήματος είναι και τα 50 μέτρα άπνοιας στα οποία ο αθλητής διανύει την απόσταση των 50 μέτρων με ένα κράτημα της αναπνοής [1]. Η διάρκεια της άπνοιας χωρίζεται σε δύο φάσεις οι οποίες εξαρτώνται από την επιθυμία του ατόμου για αναπνοή. Η πρώτη φάση είναι η «ευχερή» στην οποία το άτομο έχει διακόψει τον ρυθμό αναπνοών του (άπνοια) και δεν έχει την επιθυμία να αναπνεύσει. Η δεύτερη φάση είναι η «δυσχερή» στην οποία το άτομο αισθάνεται ότι πρέπει να αναπνεύσει αλλά αντιστέκεται σε αυτή του την επιθυμία [38]. Σε αυτή την κατάσταση παρατηρείται αύξηση της μη εθελούσιας αναπνευστικής δραστηριότητας (IVA) και των κεντρικών αναπνευστικών ερεθισμάτων [16]. Το σημείο στο οποίο το άτομο μεταβαίνει από την «ευχερή» στην «δυσχερή» φάση ονομάζεται φυσιολογικό σημείο

τερματισμού της άπνοιας (PBP). Κατά τη δυναμική άπνοια ισχύουν οι ίδιες φάσεις οι οποίες εμφανίζονται συντομότερα λόγω των αυξημένων μυϊκών απαιτήσεων σε οξυγόνο. Συγκεκριμένα η διάρκεια της άπνοιας επηρεάζεται από το είδος της άπνοιας (στατική – δυναμική ή επαναλαμβανόμενη), τη βύθιση του σώματος ή του προσώπου, τη θερμοκρασία του νερού, τον υπεραερισμό, το μέγεθος του πνεύμονα τη στιγμή της άπνοιας, τον βαθμό της καρδιαγγειακής απόκρισης κατά την άπνοια, τις προσαρμογές που έχουν αναπτυχθεί από την προπόνηση της άπνοιας, την ώρα και την ημέρα εκτέλεσης της άπνοιας, το φύλο και την ηλικία [16, 38].

Όσο παρατείνεται ο χρόνος της άπνοιας παρατηρούνται κάποιες συγκεκριμένες χημικές μεταβολές. Συγκεκριμένα παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου και μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου στις κυψελίδες και στο αρτηριακό αίμα. Με τις μεταβολές αυτές ερεθίζονται οι περιφερικοί και κεντρικοί χημειοαισθητήρες οι οποίοι ελέγχουν την φυσιολογική αναπνοή. Οι περιφερικοί χημειοαισθητήρες, οι οποίοι αποτελούνται από καρωτιδικά και αορτικά σωμάτια, μόλις ανιχνεύσουν τη μείωση του P_{aO_2} αλλά και την αύξηση του P_{aCO_2} επιστρατεύουν τη λειτουργία του καρδιοαναπνευστικού συστήματος προκειμένου να διατηρήσουν την ισορροπία του οργανισμού [93]. Από την άλλη οι κεντρικοί χημειοαισθητήρες, οι οποίοι βρίσκονται στον προμήκη μυελό, ενεργοποιούνται μόνο από την αύξηση του P_{aCO_2} μέσω της τροποποίησης της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου, ενώ παράλληλα παρατηρείται αύξηση του πνευμονικού αερισμού [94].

Ο τερματισμός της άπνοιας πραγματοποιείται όταν ο ασκούμενος αδυνατεί να βρίσκεται στο ανώτατο επίπεδο υποξίας ή υπερκαπνίας. Η αντοχή στην υποξία περιορίζεται από την υπερκαπνία και το αντίστροφο καθώς το οξυγόνο και το διοξείδιο έχουν άμεση αλληλεπίδραση [38]. Βασικές αναφορές για την απουσία φυσιολογικής αναπνευστικής κίνησης ανέλυσαν οι Godfrey et al (1968) [95]. Συγκεκριμένα, κατά την άπνοια παράγονται ερεθίσματα τα οποία δημιουργούν μεταβολές στους αναπνευστικούς νευρώνες από μια κεντρική υπερδιέγερση (central excitatory state), CES. Τόσο τα χημικά ερεθίσματα όσο και το CES επιδρούν καταλυτικά για την ενεργοποίηση των αναπνευστικών μυών. Για τον λόγο ότι υπάρχει μια αύξηση στην τάση ενώ απουσιάζει η μυϊκή σύσπαση των αναπνευστικών μυών, οδηγεί στη διέγερση αισθητήρων οι οποίοι βρίσκονται στους μυς, τένοντες και στις αρθρώσεις με αποτέλεσμα ο ασκούμενος να αισθάνεται ότι ασφυκτιεί [95]. Όσον αφορά στο μηχανικό ερέθισμα, τη μη εθελούσια αναπνευστική δραστηριότητα (IVA), εμφανίζεται κατά το ατομικό σημείο τερματισμού της άπνοιας [38, 45]. Από το κλείσιμο της γλωττίδας παρατηρούνται κάποιες μεταβολές οι οποίες αφορούν τόσο τη δραστηριότητα των αναπνευστικών μυών [8, 10, 45, 48, 55] όσο και των οισοφαγικών πιέσεων [38]. Έπειτα από ένα χρονικό διάστημα κατά την άπνοια έχει παρατηρηθεί απότομη σύσπαση των αναπνευστικών μυών είτε απότομη μείωση της οισοφαγικής πίεσης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μη εθελούσια αναπνευστική δραστηριότητα είναι το μέγεθος του πνεύμονα.

2.10 Καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις της άπνοιας μέγιστης έντασης

2.10.1 Καρδιαγγειακή λειτουργία και Αντανακλαστικό Κατάδυσης

Με το σταμάτημα της αναπνοής επέρχονται κάποιες αντανακλαστικές λειτουργίες του οργανισμού προκειμένου να ανταπεξέλθει στο ερέθισμα που προκύπτει. Το αντανακλαστικό κατάδυσης είναι η φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού όταν υπάρχει μεταβολή στη συχνότητα της αναπνοής και συγκεκριμένα όταν επικρατεί η άπνοια. Με το κράτημα της αναπνοής παρατηρείται αλλαγή στην καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) η οποία μειώνεται σημαντικά και η μεταβολή της κυμαίνεται από 5-60% ανάλογα με τις συνθήκες [3, 11, 45-48, 56]. Το αντανακλαστικό κατάδυσης και συγκεκριμένα ο συνδυασμός της βραδυκαρδίας και της περιφερικής αγγειοσυστολής είναι αποτέλεσμα βύθισης με άπνοια και είναι ένα αντανακλαστικό στα θαλάσσια θηλαστικά το οποίο ενεργοποιείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εύστοχη διαχείριση των χαμηλών επιπέδων οξυγόνου (O_2) [96]. Η λειτουργία του είναι να διατηρεί την αιμάτωση του εγκεφάλου μειώνοντας το έργο της καρδιάς, με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση στην αιμάτωση των σπλάχνων και των μυών. Ως συνέπεια των παραπάνω παρατηρείται μείωση της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2) προκειμένου να υπάρξει προστασία των πιο ευαίσθητων ιστών από έλλειψη O_2 . Σύμφωνα με την έρευνα των Lindholm et al (1999) παρατηρήθηκε ότι ο οργανισμός σε συνθήκες άπνοιας εξοικονομεί O_2 [97]. Αποτέλεσμα το οποίο τους παρακίνησε να ερευνήσουν ποια θα ήταν η ανταπόκριση του ανθρώπινου οργανισμού όταν οι απαιτήσεις του O_2 αυξάνονταν κατά τη δυναμική άπνοια. Συνέπεια της νέας έρευνάς τους ήταν ότι κατά τη διάρκεια της δυναμικής άπνοιας υπάρχει αποκορεσμός αρτηριακού αίματος από O_2 (SaO_2) ο οποίος έχει άμεση σχέση με την βραδυκαρδία και την υπέρταση. Επιπλέον αποδείχθηκε ότι όσο πιο έντονη είναι η βραδυκαρδία και η υπέρταση τόσο πιο αργός είναι ο ρυθμός πτώσης του (SaO_2).

Με βάση τα αποτελέσματα ερευνητών συμπεραίνουμε ότι κατά τη διάρκεια της δυναμικής άπνοιας η εμφάνιση του αντανακλαστικού κατάδυσης είναι εντονότερη, για τον λόγο ότι ελαττώνεται το SaO_2 έπειτα από έντονη καρδιακή απόκριση, αυτό συμβαίνει για την εξοικονόμηση O_2 [47, 97]. Οι ίδιοι λίγα χρόνια αργότερα Lindholm et al (2002) εξέτασαν αν κατά τη δυναμική άπνοια με ενεργοποιημένο αντανακλαστικό κατάδυσης υπάρχει εντονότερος αποκορεσμός [98]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε μείωση διάχυσης οξυγόνου (VO_2) όσο αυξάνονταν ο χρόνος άπνοιας [98]. Παράλληλα οι Andersson et al (2004) με την ίδια πειραματική δομή αλλά με διαφορετική ένταση, απέδειξαν ότι οι εντονότερες καρδιαγγειακές μεταβολές κατά τη δυναμική άπνοια με βύθιση του προσώπου επηρεάζονται από τη μειωμένη διάχυση οξυγόνου από τους πνεύμονες στην κυκλοφορία λόγω της επηρεασμένης καρδιακής παροχής και της περιφερικής αιματικής ροής αποδεικνύοντας ότι οι αποθήκες στους πνεύμονες εξαντλούνται με πιο αργούς ρυθμούς κατά την άπνοια [3]. Συμπερασματικά το αντανακλαστικό κατάδυσης εξοικονομεί οξυγόνο για τους πιο ευαίσθητους ιστούς [3].

2.10.2 Μεταβολικές και καρδιαγγειακές επιπτώσεις της άπνοιας

Σημαντικό χαρακτηριστικό λειτουργίας του αντανακλαστικού κατάδυσης ως μέσω προστασίας για τους πιο ευαίσθητους ιστούς αποτελεί η ανακατανομή της αιματικής ροής από την περιφέρεια προς την εγκεφαλική ή κεντρική κυκλοφορία.

Βάση των παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το αντανακλαστικό κατάδυσης αποτελεί ένα καίριο αντανακλαστικό προφύλαξης των ευαίσθητων ιστών του ανθρώπινου οργανισμού. Παρόλα αυτά δεν γνωρίζουμε αν το αντανακλαστικό κατάδυσης θα μπορέσει να εξουδετερώσει την ταχυκαρδία της άσκησης σε μέγιστη ένταση. Η εντονότερη βραδυκαρδία κατά τη δυναμική άπνοια πιθανόν να οφείλεται στο υψηλότερο μεταβολικό κόστος της άσκησης, δείχνοντας ότι ίσως υπάρχει σχέση μεταξύ καρδιακής συχνότητας πριν την άπνοια και βαθμού βραδυκαρδίας κατά την άπνοια. Η εντονότερη εκδήλωση του καταδυτικού αντανακλαστικού κατά τη δυναμική άπνοια ενισχύεται από την αρνητική συσχέτιση μεταξύ του βαθμού βραδυκαρδίας και του βαθμού αποκορεσμού της οξυαιμοσφαιρίνης, δηλαδή όσο μικρότερη είναι η μείωση της καρδιακής συχνότητας τόσο μικρότερος είναι ο αποκορεσμός του αρτηριακού αίματος σε οξυγόνο [47].

2.10.3 Αιματολογικές αποκρίσεις κατά την άπνοια

Κατά την άσκηση, και συγκεκριμένα σε μέγιστες και υπομέγιστες προσπάθειες η ανθρώπινη σπλήνα συστέλλεται [99]. Λόγω έντονης ασκησιογενούς συστολής υπάρχουν κάποιες μεταβολές στη μείωση της ροής του αίματος στην σπλαχνική περιοχή και ίσως επηρεάζει το μέγεθος της σπλήνας συρρικνώνοντάς την χωρίς όμως να παρατηρείται σύσπαση. Ο Hurford και η ομάδα του (1990) ήταν οι πρώτοι που μελέτησαν την ενεργοποίηση της συστολής της ανθρώπινης σπλήνας κατά των επαναλαμβανόμενων απνοιών [100]. Πράγματι απέδειξαν ότι το μέγεθος της σπλήνας μεταβάλλεται κατά τις επαναλαμβανόμενες άπνοιες αφού υπάρξει η μείωση του επέρχεται αύξηση του Hct και της Hb [100]. Συμπερασματικά η συστολή της σπλήνας πραγματοποιείται για την αιματολογική απόκριση κατά την άπνοια καθώς παρατείνει τον χρόνο της αυξάνοντας την ικανότητα αποθήκευσης οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Espersen et al (2002) παρατήρησαν ότι για την πλήρη αποκατάσταση της σπλήνας και την επιστροφή στα αρχικά της επίπεδα μπορεί να συμβεί μέσα σε 2 λεπτά από το τέλος της άπνοιας [11].

2.11 Αναπνευστικές αποκρίσεις της άπνοιας μέγιστης έντασης

2.11.1 Κυψελιδική Ανταλλαγή αερίων κατά την άπνοια

Με την αναπνοή, ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται στις κυψελίδες και έπειτα διαχέεται μέσω των κυψελιδικών μεμβρανών προς τα πνευμονικά τριχοειδή και στη συνέχεια οδηγείται στην κυκλοφορία του αίματος, καταλήγοντας στους ιστούς. Κατά την άπνοια ο οργανισμός τροποποιεί το σύστημα αναπνοής σε πιο κλειστό κύκλωμα. Το οξυγόνο διαχέεται από τους πνεύμονες στο αίμα ενώ το διοξείδιο του άνθρακα προστίθεται στους πνεύμονες μέχρις ότου το σημείο συσσώρευσης στο αίμα [3, 98]. Με το κράτημα της αναπνοής συμβαίνει η εξής διαδικασία, η μερική πίεση οξυγόνου ($P_{A}O_2$)

αρχικά είναι αυξημένη, και σταδιακά μειώνεται καθώς διαχέεται από τους πνεύμονες στο αίμα και παρατείνεται η άπνοια. Παράλληλα η μερική πίεση διοξειδίου (P_ACO_2) με την πρώτη μεγάλη εισπνοή πριν την άπνοια, μειώνεται και έπειτα από 10-20s αυξάνονται τα επίπεδά της. Κατά τη δυναμική άπνοια η ταχύτητα συσσώρευσης CO_2 είναι μεγαλύτερη μετά από 30s από την έναρξή της [98]. Σύμφωνα με έρευνες η κυψελιδική ανταλλαγή αερίων επηρεάζεται από την εμπειρία στην άπνοια [13]. Επιπρόσθετα, οι Andersson και συν. (2004) απέδειξαν ότι και η βύθιση του προσώπου σε παγωμένο νερό επηρεάζει άμεσα την κυψελιδική ανταλλαγή αερίων [3]. Τέλος, το είδος της άπνοιας επηρεάζει και αυτό την κυψελιδική ανταλλαγή αερίων σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες [101, 102].

2.11.2 Πνευμονικοί Όγκοι και Άπνοια

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η διάρκεια της άπνοιας είναι άμεσα εξαρτώμενη από το μέγεθος του πνεύμονα [45, 103]. Όσο μεγαλύτερος είναι ο πνεύμονας του δοκιμαζόμενου τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος άπνοιας. Παρόλα αυτά οι δοκιμαζόμενοι με μεγάλο μέγεθος πνεύμονα εμφανίζουν πολύ πιο έντονη την κατάσταση υποξίας και υπερκαπνίας στο σημείο κατά το οποίο επέρχεται η ασφυξία [103]. Από την άλλη έχει παρατηρηθεί και εξηγείται ότι σε μικρούς πνευμονικούς όγκους υφίστανται πρόωρη συγκέντρωση CO_2 στις κυψελίδες με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αύξηση των επιπέδων τόσο της κυψελιδικής μερικής πίεσης διοξειδίου (P_ACO_2) όσο και της αρτηριακής πίεσης διοξειδίου (P_aCO_2) [45]. Επιπρόσθετα, οι δοκιμαζόμενοι με μικρότερους πνευμονικούς όγκους έχουν πιο ευαίσθητους αισθητήρες διάταξης των πνευμόνων, με αποτέλεσμα η διάρκεια της άπνοιας να περιορίζεται [104]. Είναι σημαντικό πάντοτε να λαμβάνεται υπόψιν το μέγεθος του πνευμονικού όγκου για να περιοριστεί η μεγάλη απόκλιση της διάρκειας της άπνοιας και να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

2.11.3 Σχέση Υπεραερισμού και άπνοιας

Με τον όρο «πνευμονικός υπεραερισμός» εννοείται ένας αναπνευστικός χειρισμός που πραγματοποιείται από τον δοκιμαζόμενο αμέσως πριν από την έναρξη της προσπάθειας με σκοπό να παρατείνει την άπνοια [13]. Η διαδικασία του υπεραερισμού αυξάνει τη διάρκεια άπνοιας ανεξάρτητα από την εξουκείωση του δοκιμαζόμενου με οποιαδήποτε μορφή της (στατική, δυναμική) [105, 106]. Η τεχνική του υπεραερισμού αυξάνει τη μερική πίεση οξυγόνου (P_{AO_2}) στις κυψελίδες έως και 130 mmHg, ενώ παρατηρείται πτώση της μερικής πίεσης διοξειδίου του άνθρακα στις κυψελίδες (P_ACO_2) έως και 20 mmHg [105, 106]. Κατά τον φυσιολογικό αερισμό σε υγιείς, ο κορεσμός οξυγόνου βρίσκεται πολύ κοντά στο 100% με το P_{AO_2} να αγγίζει τα 100 mmHg. Κατά την άπνοια η πτώση του P_{AO_2} είναι η ίδια είτε με υπεραερισμό είτε χωρίς. Η αποτελεσματικότητα του αερισμού εμφανίζεται όταν τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στις αποθήκες βρίσκονται μειωμένα. Πρόκειται για την βελτίωση της πρώτης φάσης της άπνοιας (ευχερής) διότι τα επίπεδα διοξειδίου καθυστερούν να εξαντληθούν. Ωστόσο αυτή η κατάσταση είναι επικίνδυνη για τον δοκιμαζόμενο γιατί πρόκειται για μια παράταση της ανάγκης για αναπνοή το οποίο μπορεί να οδηγήσει τον δοκιμαζόμενο σε απώλεια των αισθήσεων

[105, 106]. Σε αυτή την κατάσταση τα επίπεδα των $P_{A}O_2$ και $P_{A}CO_2$ παρατηρούνται πιο χαμηλά σε σχέση με την κατάσταση κατά την οποία δεν έχει πραγματοποιηθεί υπεραερισμός [105].

2.11.4 Υπερκαπνία και Υποξαιμία κατά την άπνοια

Όταν ένας δοκιμαζόμενος εκτελεί δοκιμασία άπνοιας αυτόματα ενεργοποιείται το αντανακλαστικό κατάδυσης. Όταν ο χρόνος της άπνοιας παρατείνεται τότε υπάρχει μια προοδευτική εμφάνιση της αρτηριακής υποξίας (υποξαιμίας) και υπερκαπνίας. Υποξία είναι η ανεπάρκεια οξυγόνου σε κυτταρικό επίπεδο [16]. Υποξαιμία ή υποξική υποξία ονομάζεται η μείωση της αρτηριακής πίεσης σε οξυγόνο και αποτελεί αίτιο υποξίας [16]. Η άπνοια τερματίζεται με το αίσθημα της ασφυξίας όταν δηλαδή το επίπεδο της υποξίας ή υπερκαπνίας φτάσει στο ανώτατο επίπεδο. Με την απουσία της φυσιολογικής αναπνευστικής κίνησης προκαλείται μια κεντρική υπερδιέγερση (Central Excitatory State CES) του αναπνευστικού συστήματος, και ολοκληρώνεται με την εισπνοή [16, 38]. Η επίδραση της υπερκαπνίας στη λειτουργία του εγκεφάλου σε δύτες υψηλού επιπέδου είναι σχεδόν αμελητέα πιθανώς λειτουργώντας ως προστατευτικός μηχανισμός για την εγκεφαλική υποξία ή και υπερκαπνία κατά την κατάδυση [107].

Η υποξία και η υπερκαπνία συμβάλλουν καταλυτικά στην προσαρμογή του οργανισμού όσον αφορά στην ενεργητική συστολή της σπλήνας, ωθώντας τα αποθηκευμένα ερυθροκύτταρα στην κυκλοφορία και οδηγώντας στην αύξηση του αιματοκρίτη (Hct) και της αιμοσφαιρίνης (Hb) εξοικονομώντας O_2 [108]. Η καρδιακή συχνότητα μεταβάλλεται από την υποξαιμία και την υπερκαπνία ερεθίζοντας το αγγειοκινητικό σύστημα. Η άπνοια σε συνδυασμό με την υποξαιμία επηρεάζουν την καρδιακή συχνότητα οδηγώντας την σε βραδυκαρδία, ενώ η υπερκαπνία τείνει να την επηρεάσει αντίστροφα. Για τη δυναμική άπνοια παρατηρείται εξίσου μείωση της καρδιακής συχνότητας. Το μέγεθος των πνευμόνων συμβάλλει καταλυτικά στην εμφάνιση της υποξίας και υπερκαπνίας. Όσο μεγαλύτεροι είναι οι πνεύμονες τόσο μεγαλύτερα είναι τα επίπεδα υποξίας και υπερκαπνίας στο σημείο τερματισμού της άπνοιας [109].

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

3.1 Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν αθλητές τεχνικής κολύμβησης ($n=13$, ηλικία: $17,3\pm 2,7$, σωματική μάζα: $70,6\pm 16,4$ kg, ανάστημα: $176,4\pm$, ποσοστό σωματικού λίπους: $12,5\% \pm 4,6\%$), υψηλού επιπέδου. Πιο συγκεκριμένα καταγράφηκε η επίκαιρη καλύτερη επίδοση στα αγωνίσματα των 50 m υποβρύχιας και κολύμβησης επιφανείας. Κάποιοι από τους κολυμβητές ήταν μέλη της εθνικής ομάδας. Οι κολυμβητές που συμμετείχαν στην έρευνα ενημερώθηκαν λεπτομερώς για τις διαδικασίες που θα ακολουθούνταν κατά την περίοδο των μετρήσεων και αφού συμφώνησαν υπέγραψαν τη δήλωση συμμετοχής για όλες τις πειραματικές διαδικασίες. Για τους ανήλικους που συμμετείχαν στην έρευνα ενημερώθηκαν και υπέγραψαν οι κηδεμόνες τους τις δηλώσεις συμμετοχής. Κριτήριο επιλογής των κολυμβητών στην έρευνα ήταν να είναι ικανοί να πραγματοποιούν 4 φορές από 50 μέτρα με κράτημα της αναπνοής (άπνοια) με 2 λεπτά ξεκούρασης ενδιάμεσα από τα 50 και την απουσία αναπνευστικών προβλημάτων. Τα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων εμφανίζονται στον Πίνακα 1.

3.2 Εξοπλισμός

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

- Ηλεκτρονική ζυγαριά δαπέδου με ακρίβεια μέτρησης Seca 813 (Seca) για την καταγραφή της μάζας σώματος (Body Mass).
- Συσκευή Akern, BIA 101, (Akern) για την ακριβή προσέγγιση του (%) σωματικού λίπους (Body Fat).
- Αναστημόμετρο Seca 206, (Seca) για την καταμέτρηση του αναστήματος (Stature).
- Χρονόμετρο SL 929-R (Oregon Scientific) για την καταγραφή των επιδόσεων (Time) των αθλητών.
- Σπιρόμετρο Microquark (Cosmed) για την αξιολόγηση αναπνευστικής ικανότητας των αθλητών πριν και μετά την δοκιμασία.
- Φορητό οξύμετρο για την εμφάνιση του στιγμιαίου κορεσμού οξυγόνου.
- Κλίμακα Borg 10 βαθμών για την ακριβή καταγραφή της υποκειμενικής κόπωσης (RPE).
- Αναλυτής Αερίων (VO_{2max}) Εργοσπυρόμετρο PNOE (ENDO Medical) για την αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου πριν και μετά την δοκιμασία.
- Παλμογράφοι Polar H10 για την καταγραφή των καρδιακών παλμών (HR) κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας.

- Αναλυτής γαλακτικού (La) Lactate Scout 4 για την ακριβή προσέγγιση των επιπέδων γαλακτικού στο αίμα των αθλητών.

3.3 Προκαταρκτικές διαδικασίες

Πριν την έναρξη των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε ενημέρωση των συμμετεχόντων για τις διαδικασίες και υπέγραψαν έντυπο συναίνεσης. Στη συνέχεια εξοικειώθηκαν με τις συσκευές αξιολόγησης. Την πρώτη ημέρα πειραματικής δοκιμασίας διεξήχθησαν οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις (ανάστημα, σωματική μάζα, ποσοστό σωματικού λίπους).

3.4 Πειραματική διαδικασία

Οι αθλητές TK συμμετείχαν σε δυο πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν 2 εβδομάδες πριν από το πανελλήνιο πρωτάθλημα κατηγοριών. Οι δύο μετρήσεις, απείχαν μεταξύ τους 48 ώρες. Η σειρά εκτέλεσης των δοκιμασιών ήταν ισοσταθμισμένη και όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν την ίδια ώρα της ημέρας. Από τους προπονητές των αθλητών ζητήθηκε, να μην πραγματοποιήσουν έντονη άσκηση την προηγούμενη ημέρα των μετρήσεων και να μην έχουν πραγματοποιήσει προπόνηση μέχρι και 12 ώρες πριν από της δοκιμασίες. Επιπλέον δόθηκε συγκεκριμένη ενδεικτική διατροφή προκειμένου να ακολουθήσουν οι αθλητές την προηγούμενη και την ίδια ημέρα των μετρήσεων. Οι κολυμβητές ήταν μέλη τριών αγωνιστικών ομάδων και ήταν προετοιμασμένοι για το πανελλήνιο πρωτάθλημα καθώς ακολουθούσαν πανομοιότυπα προπονητικά προγράμματα. Την ημέρα της κάθε δοκιμασίας οι εξεταζόμενοι παρουσιάζονταν στο χώρο διεξαγωγής των δοκιμασιών δεκαπέντε λεπτά πριν την έναρξή τους. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ανοικτό κολυμβητήριο 50 μέτρων με θερμοκρασία νερού 24-26°C. Οι εξεταζόμενοι αρχικά εξοικειώθηκαν με τις συσκευές αξιολόγησης της αναπνευστικής ικανότητας, με την διαδικασία της σπιρομέτρησης και την ανάλυση της δύναμης των εισπνευστικών και εκπνευστικών μυών και έπειτα υποβλήθηκαν στη διαδικασία πριν από τις δοκιμασίες. Στη συνέχεια ακολουθήθηκε ίδια διαδικασία για την εργοσπιρομέτρηση κατά την ηρεμία. Έπειτα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης γαλακτικού ηρεμίας έγινε λήψη τριχοειδικού αίματος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε στον κάθε δοκιμαζόμενο παλμογράφος για την καταγραφή των καρδιακών παλμών. Πριν από τις δοκιμασίες οι κολυμβητές TK πραγματοποίησαν κοινή προθέρμανση. Επιπρόσθετα, σημειώθηκε και η κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης (RPE) κατά την ηρεμία.

Οι αθλητές εκτέλεσαν 4X50 μέτρα με μέγιστη ένταση σε δύο διαφορετικές συνθήκες, μια με κολύμβηση επιφανείας και μια με άπνοια. Ο χρόνος ενδιάμεσης αποκατάστασης μεταξύ των 50 μέτρων ήταν 2 λεπτά. Επιπλέον, οι συνθήκες πραγματοποιήθηκαν με ισοσταθμισμένη σειρά έπειτα από προκαθορισμένη προθέρμανση 20 λεπτών για όλους τους δοκιμαζόμενους. Για τη συνθήκη επιφανείας, οι αθλητές με τη χρήση μονοπτερυγίου και αναπνευστήρα, κολύπησαν σε οριζόντια θέση στην επιφάνεια του νερού με φυσιολογική συχνότητα αναπνοών μέγιστης έντασης. Επιπρόσθετα, για τη συνθήκη άπνοιας, οι αθλητές με τη χρήση μονοπτερυγίου κολύπησαν κάτω από την επιφάνεια του νερού σε βάθος ενός (1) μέτρου κρατώντας την αναπνοή τους για κάθε 50 μέτρα σε μέγιστη ένταση. Η

καταγραφή παλμών ήταν συνεχόμενη ενώ με την ολοκλήρωση κάθε δοκιμασίας των 50 μέτρων ο ασκούμενος έδειχνε την κλίμακα υποκειμενικής κόπωσης (RPE) σε κάθε προσπάθεια ενώ παράλληλα η ξεκούραση του διαρκούσε 2 λεπτά. Με την ολοκλήρωση της δεύτερης δοκιμασίας των 50 μέτρων γινόταν μέτρηση γαλακτικού με λήψη τριχοειδικού αίματος από το δάκτυλο. Με την ολοκλήρωση της 4^{ης} και τελευταίας προσπάθειας τοποθετούνταν στον ασκούμενο κατευθείαν η μάσκα του εργοσπιρόμετρου ώστε η εκπνοή του να γίνει μέσα σε αυτή προκειμένου να ληφθούν τα ποσά όγκου αέρα. Παράλληλα γινόταν μέτρηση γαλακτικού με λήψη τριχοειδικού αίματος από το δάκτυλο. Έπειτα από 5 λεπτά αφού ο ασκούμενος ξεκουραζόταν και ανέπνεε μέσα στην μάσκα ξαναγινόταν μέτρηση γαλακτικού προκειμένου να σημειωθούν τα ποσά απομάκρυνσής του. Στη συνέχεια του αφαιρούνταν η μάσκα του εργοσπιρόμετρου και έβγαζε τα υλικά του και προχωρούσε στον επόμενο σταθμό της σπιρομέτρησης για τον προσδιορισμό επίδρασης της άσκησης στους εισπνευστικούς και εκπνευστικούς μυς.

3.5 Στατιστική επεξεργασία

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως μέση τιμή $\pm$ τυπική απόκλιση. Η κανονική κατανομή των δεδομένων ελέγχθηκε με τη δοκιμασία Shapiro-Wilk. Η σύγκριση ως προς την απόδοση, τις βιοχημικές παραμέτρους, τις πνευμονικές και τις καρδιακές παραμέτρους πραγματοποιήθηκε με ANOVA δύο παραγόντων σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (συνθήκες μέτρησης $\times$ επαναλήψεις). Η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών εξετάστηκε με ανάλυση συσχέτισης κατά Pearson. Η σημαντικότητα ορίστηκε σε επίπεδο $\alpha = 0,05$. Η ανάλυση έγινε με το Statistica v10 (Statsoft, U.S.A.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Μεταβολές στην απόδοση

4.1.1 Χρόνος Κολύμβησης

Από την ανάλυση διακύμανσης δεν εμφανίστηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και επαναλήψεων 50 μέτρων [$F(3,36)=1,39$, $p>0,05$, $\eta^2 = 0,10$]. Από την ανάλυση αποτελεσμάτων φάνηκε ότι η επίδοση ήταν καλύτερη στη συνθήκη άπνοιας (ΑΠ) συγκριτικά με της επιφάνειας (ΕΠ) [$F(1,12)=370,7$, $p<0,01$, $\eta^2=0,96$] (Πίνακας 1).

4.1.2 Δελφινισμοί

Ως προς τους δελφινισμούς φάνηκε να υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών και των επαναλήψεων [$F(3,36)=8,27$, $p<0,001$, $\eta^2=0,40$]. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για τους δελφινισμούς δεν φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των συνθηκών [$F(1,12)=0,644$, $p>0,05$, $\eta^2=0,05$]. Από την άλλη πλευρά, παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων [$F(3,36)= 8,20$, $p<0,001$, $\eta^2=0,40$] αφού οι κολυμβητές αύξαναν σημαντικά τον αριθμό των δελφινισμών έως και την 3^η προσπάθεια (Πίνακας 1).

4.1.3 Συχνότητα Δελφινισμών

Στη συχνότητα των δελφινισμών υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών και των επαναλήψεων των 50 μέτρων [$F(3,36)=6,69$, $p<0,05$, $\eta^2=0,35$]. Υπήρξε διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων [$F(1,12)=13,47$, $p<0,05$, $\eta^2=0,52$] και των συνθηκών κολύμβησης [$F(3,36)=3,2$, $p<0,05$, $\eta^2=0,21$] (Πίνακας 1).

4.1.4 Αντίληψη της κόπωσης

Ως προς την αντίληψη της κόπωσης (RPE) δεν υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών κολύμβησης και των επαναλήψεων [$F(4,48)=0,5771$, $p>0,05$, $\eta^2=0,045$]. Δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ των συνθηκών κολύμβησης [$F(1,12)=0,4382$, $p>0,05$, $\eta^2=0,52$] (Πίνακας 1). Υπήρξε όμως σημαντική διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων [$F(4,48)=342,41$, $p<0,001$, $\eta^2=0,96$] (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Παράμετροι απόδοσης, στα 50 m κολύμβησης με μονοπτερύγιο, υποβρύχια και επιφάνεια (επάνω στην επιφάνεια του νερού). Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπικές αποκλίσεις.

	Υποβρύχια επίδοση (s)	Επιφάνεια επίδοση (s)	Υποβρύχια δελφινισμοί (n)	Επιφάνεια δελφινισμοί (n)	Υποβρύχια συχνότητα (n/min)	Επιφάνεια συχνότητα (n/min)	Υποβρύχια RPE	Επιφάνεια RPE
Καλύτερη επίδοση 50 m	17,17 $\pm$ 1,13	19,21 $\pm$ 1,47*	-	-	-	-	-	-
1 ^a 50 m	18,00 $\pm$ 1,17	20,04 $\pm$ 1,84*	35 $\pm$ 3 ^{ab}	40 $\pm$ 6*	122 $\pm$ 14 ^{ab}	122 $\pm$ 26	4 $\pm$ 1 [#]	4 $\pm$ 1 ^s
2 ^a 50 m	17,22 $\pm$ 1,19 ^{ab}	19,21 $\pm$ 1,27* ^{cd}	38 $\pm$ 4 ^{cd}	40 $\pm$ 5	133 $\pm$ 19 ^c	124 $\pm$ 17	6 $\pm$ 1	6 $\pm$ 2
3 ^a 50 m	17,65 $\pm$ 1,12 ^a	20,08 $\pm$ 1,18* ^c	42 $\pm$ 6 ^{ac}	41 $\pm$ 6	144 $\pm$ 25 ^{ac}	122 $\pm$ 16*	8 $\pm$ 1	8 $\pm$ 1
4 ^a 50 m	18,03 $\pm$ 1,18 ^b	20,45 $\pm$ 1,08* ^d	42 $\pm$ 5 ^{bd}	40 $\pm$ 4	141 $\pm$ 21 ^b	116 $\pm$ 14*	9 $\pm$ 1	9 $\pm$ 1

RPE: αντίληψη της κόπωσης, s: δευτερόλεπτα, n: αριθμός, n/min: αριθμός δελφινισμών ανά λεπτό

Όπου *σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο συνθηκών κολύμβησης, $p < 0,001$

Όπου [#] σημαντική διαφορά όλων των προσπαθειών μεταξύ τους στο ίδιο είδος κολύμβησης, $p < 0,001$

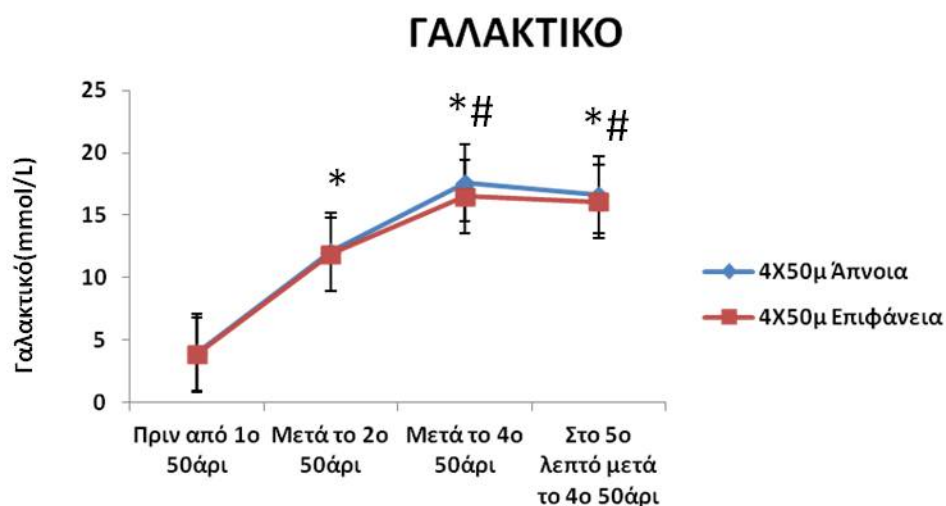
Όπου ^{abcd} σημαντική διαφορά μεταξύ των προσπαθειών ίδιου είδους κολύμβησης, $p < 0,05$

4.2 Φυσιολογικές Μεταβολές

4.2.1 Συγκέντρωση γαλακτικού

Από τη σύγκριση των τιμών του γαλακτικού φάνηκε ότι οι κολυμβητές ξεκίνησαν τις προσπάθειές τους με παρόμοια επίπεδα $4,0 \pm 2,0$ και $3,9 \pm 2,0$ mmol/L αίματος για την υποβρύχια (άπνοια) και κολύμβηση επιφανείας αντίστοιχα. Δεν φάνηκε να υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ συνθηκών και επαναλήψεων των 50 μέτρων [$F(3,36)=0,315$, $p>0,05$, $\eta^2=0,02$]. Ανεξάρτητα από τις συνθήκες τα επίπεδα γαλακτικού, μετά το πέρας των δοκιμασιών, αυξήθηκαν σημαντικά. Μετά το 2^ο 50αρι συσσωρεύτηκαν $12,1 \pm 3,8$ mmol/L αίματος για την άπνοια και $11,88 \pm 3,47$ mmol/L αίματος για την κολύμβηση επιφανείας αντίστοιχα.

Δεν φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των συνθηκών άπνοιας και επιφανείας [$F(1,12)=0,64$, $p>0,05$, $\eta^2=0,05$], παρόλα αυτά φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων [$F(3,36)=101,5842$, $p<0,01$, $\eta^2=0,89$]. Πιο συγκεκριμένα, μετά το 4^ο 50άρι παρατηρήθηκαν υψηλότερα επίπεδα γαλακτικού απ' ότι μετά από το 2^ο 50αρι, $17,6 \pm 3,5$ mmol/L αίματος για την άπνοια και $16,48 \pm 3,10$ mmol/L αίματος για την συνθήκη της επιφανείας. Πραγματοποιήθηκε λήψη γαλακτικού και στο 5^ο λεπτό μετά το 4^ο και τελευταίο 50αρι των δοκιμασιών και καταγράφηκαν οι τιμές $16,6 \pm 3,1$ mmol/L αίματος για την άπνοια και $16,07 \pm 3,47$ mmol/L αίματος για την επιφάνεια τιμές που αναφέρονται ως μέσος όρος και για τα δυο είδη κολύμβησης μαζί (Γράφημα 1).



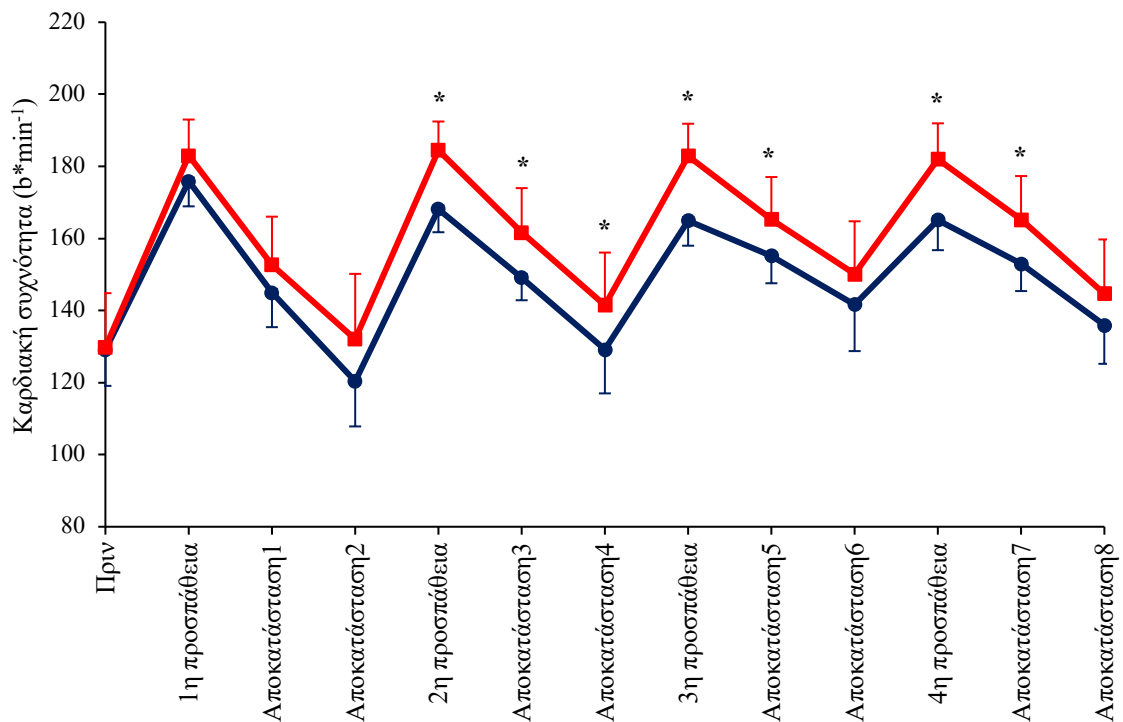
Γράφημα 1. Επίπεδα γαλακτικού πριν από το 1^ο 50άρι, μετά το 2^ο 50άρι, μετά το 4^ο 50άρι και στο 5^ο λεπτό μετά το 4^ο 50άρι από τις προσπάθειες των κολυμβητών με υποβρύχια και κολύμβηση επιφανείας 50 m, με μονοπτερύγιο.

Όπου *σημαντική διαφορά της τιμής γαλακτικού Πριν το 1^ο 50άρι με όλες τις υπόλοιπες (Μετά το 2^ο 50αρι, μετά το 4^ο 50αρι και στο 5^ο λεπτό μετά το 4^ο 50αρι), $p < 0,001$.

Όπου # σημαντική διαφορά της τιμής γαλακτικού μετά το 2^ο 50αρι με τις τιμές μετά το 4^ο 50αρι και στο 5^ο λεπτό μετά το 4^ο 50αρι, $p < 0,001$.

4.2.2 Καρδιακή συχνότητα

Από τη σύγκριση της καρδιακής συχνότητας φάνηκε ότι οι κολυμβητές ξεκίνησαν τις προσπάθειές τους με παρόμοιο αριθμό χτύπων ανά λεπτό (bpm) 129 ± 15 και 130 ± 11 bpm για την υποβρύχια και κολύμβηση επιφανείας, αντίστοιχα. Στη διακύμανση της καρδιακής συχνότητας παρατηρήθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών και των επαναλήψεων [$F(12,120)=4,895$, $p<0,001$, $\eta^2=0,32$]. Υπήρξε σημαντική διαφορά των επαναλήψεων [$F(12,120)=105,712$, $p<0,001$, $\eta^2=0,91$]. Στη διακύμανση της καρδιακής συχνότητας φάνηκε να υπήρξε σημαντική διαφορά των συνθηκών κολύμβησης [$F(1,10)=28,310$, $p<0,001$, $\eta^2=0,73$]. Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα κατά την υποβρύχια κολύμβηση, μετά την πρώτη προσπάθεια, ήταν σημαντικά υψηλότερη (176 ± 10 bpm) από κάθε άλλη σε όλες τις χρονικές στιγμές των μετρήσεων. Οι μέγιστες καρδιακές συχνότητες μετά τις υπόλοιπες τρεις προσπάθειες ήταν παρόμοιες (εύρος 165 – 168 bpm). Οι καρδιακές συχνότητες στο πρώτο λεπτό των διαλειμμάτων ήταν παρόμοιες σε όλες τις μετρήσεις στο ίδιο λεπτό και παρόμοια και με την τελευταία μέτρηση, δυο λεπτά μετά την τελευταία προσπάθεια των κολυμβητών (εύρος 136 – 153 bpm). Οι καρδιακές συχνότητες ήταν υψηλότερες σημαντικά πριν την τρίτη και τέταρτη προσπάθεια των κολυμβητών σε σχέση με την καρδιακή συχνότητα πριν τη δεύτερη προσπάθειά τους καθώς επίσης και πριν την τέταρτη σε σχέση με την τρίτη προσπάθειά τους (129 ± 15 και 142 ± 15 bpm έναντι 120 ± 18 bpm αντίστοιχα). Παραπλήσια διακύμανση φάνηκε και στις καρδιακές συχνότητες στην κολύμβηση επιφανείας όπου οι αθλητές ξεκινούσαν τις περισσότερες επιμέρους προσπάθειές τους με παρόμοια καρδιακή συχνότητα (εύρος 130 – 141 bpm, σημεία: 3, 6, στον οριζόντιο άξονα του Γραφήματος 2) σε σχέση με την αρχική καρδιακή συχνότητα (130 bpm, στο σημείο Πριν, Γράφημα 2). Η αρχική καρδιακή συχνότητα ήταν σημαντικά χαμηλότερη από αυτές στις υπόλοιπες χρονικές στιγμές εκτός των προαναφερθέντων. Οι μέγιστες καρδιακές συχνότητες ήταν παρόμοιες (εύρος 182 – 184 bpm) μετά από κάθε προσπάθεια των κολυμβητών. Οι καρδιακές συχνότητες στο πρώτο λεπτό των διαλειμμάτων έβαιναν υψηλότερες μέχρι την τελευταία μέτρηση (153 ± 10 , 162 ± 6 , 165 ± 8 και 165 ± 8 bpm αντίστοιχα). Η καρδιακή συχνότητα ήταν υψηλότερη πριν την τέταρτη προσπάθεια των κολυμβητών σε σχέση με αυτές πριν τη δεύτερη και τρίτη προσπάθειά τους (150 ± 13 έναντι 132 ± 13 και 141 ± 12 bpm αντίστοιχα, Γράφημα 2). Οι καρδιακές συχνότητες, των οποίων οι τιμές αναφέρονται παραπάνω, διέφεραν στα περισσότερα χρονικά σημεία των μετρήσεων, μεταξύ των δυο ειδών κολύμβησης με τις τιμές της καρδιακής συχνότητας κατά την κολύμβηση επιφανείας να είναι υψηλότερες από αυτές της υποβρύχιας κολύμβησης, εκτός από αυτά που ανάγονται στην πρώτη προσπάθεια και την τελευταία μέτρηση της μελέτης (Γράφημα 2).



Γράφημα 2. Καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια των κολυμβητικών προσπαθειών υποβρύχια (εμφανίζεται με μπλε γραμμή) και επάνω στην επιφάνεια (εμφανίζεται με κόκκινη γραμμή) με μονοπτερύγιο. Στο γράφημα αναφέρονται οι μέγιστες τιμές της καρδιακής συχνότητας μετά την 1^η, 2^η, 3^η και 4^η προσπάθεια καθώς και οι τιμές της κατά τις αποκαταστάσεις στο 1^ο και 2^ο λεπτό του διαλείμματος ανάμεσα από κάθε προσπάθεια 50 m κολύμβησης. bpm: Χτύποι ανά λεπτό. Όπου *σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο συνθηκών κολύμβησης στην ίδια χρονική στιγμή, $p < 0,05$.

4.3 Μεταβολές στη σπιρομέτρηση

Από τη σύγκριση των αναπνευστικών παραμέτρων φάνηκε ότι δεν υπήρξε αλληλεπίδραση των συνθηκών με τις προσπάθειες [$F(1,12)=0,134$, $p>0,05$, $\eta^2=0,01$]. Όσον αφορά στον συνολικό όγκο αέρα που εκπνέεται βίαια, από τη μέγιστη εισπνευστική θέση έως την μέγιστη εκπνευστική θέση (FVC) φάνηκε ότι δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ των συνθηκών [$F(1,12)=1,782$, $p>0,05$, $\eta^2=0,12$]. Παρόλα αυτά, φάνηκε να υπάρχει διαφορά μεταξύ των τιμών FVC καθώς ήταν υψηλότερες πριν από τις προσπάθειες απ' ό,τι αυτές μετά τις προσπάθειες και στις δυο συνθήκες κολύμβησης [$F(1,12)=17,435$, $p<0,05$, $\eta^2=0,59$]. Η τιμή του βιαίως εκπνεόμενου όγκου αέρα τη χρονική στιγμή του ενός δευτερολέπτου της δοκιμασίας FVC (FEV_1) ήταν μεγαλύτερη μετά από την υποβρύχια κολύμβηση παρόλα αυτά δεν παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των συνθηκών ούτε πριν ούτε μετά την προσπάθεια και στην μεταξύ τους διαφορά. Όσον αφορά τη μέγιστη ροή του εκπνεόμενου αέρα που επιτυγχάνεται κατά τη δοκιμασία FVC (PEF) παρατηρήθηκε διαφορά μεταξύ των συνθηκών με πριν και μετά την προσπάθεια [$F(1,12)=5,4824$, $p<0,05$, $\eta^2=0,31$]. Τέλος, παρατηρήθηκε διαφορά πριν και μετά την προσπάθεια στο μέγιστο ποσό των λίτρων αέρα που το άτομο μπορεί να εισπνεύσει ανά λεπτό κατά τη διάρκεια μιας

μέγιστης αναπνευστικής προσπάθειας (MVV) [$F(1,12)=6,5418$, $p<0,05$, $\eta^2=0,35$], ενώ σημειώθηκαν υψηλότερες τιμές μετά και από τις δύο συνθήκες κολύμβησης σε σχέση με την προβλεπόμενη (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Παράμετροι του αναπνευστικού συστήματος κατά τις προσπάθειες 50 m κολύμβησης, με μονοπτερύγιο, υποβρύχια και επάνω στην επιφάνεια του νερού. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπικές αποκλίσεις.

	Υποβρύχια	Επιφάνεια
FVC pred (L)	4,97 $\pm$ 0,65	4,97 $\pm$ 0,65
FVC pre (L)	5,51 $\pm$ 0,61 ^a	5,44 $\pm$ 0,55 ^a
FVC post (L)	5,35 $\pm$ 0,70	5,26 $\pm$ 0,59
FEV ₁ pred (L)	4,24 $\pm$ 0,54	4,24 $\pm$ 0,54
FEV ₁ pre (L)	4,69 $\pm$ 0,59	4,76 $\pm$ 0,48
FEV ₁ post (L)	4,70 $\pm$ 0,59	4,56 $\pm$ 0,73
PEF pred (L/s)	8,34 $\pm$ 1,63	8,34 $\pm$ 1,63
PEF pre (L/s)	8,83 $\pm$ 1,73 ^{ab}	9,40 $\pm$ 1,12 ^{ab}
PEF post (L/s)	9,35 $\pm$ 1,91	8,73 $\pm$ 1,70
MVV pred (L/min)	147,37 $\pm$ 17,74	147,37 $\pm$ 17,74
MVV pre (L/min)	190,82 $\pm$ 23,97 ^a	191,48 $\pm$ 20,87 ^a
MVV post (L/min)	200,78 $\pm$ 25,99	199,28 $\pm$ 26,89

FVC: Ο συνολικός όγκος αέρα που εκπνέεται βίαια, από τη μέγιστη εισπνευστική θέση έως την μέγιστη εκπνευστική θέση, FEV₁: Ο βιαίως εκπνεόμενος όγκος αέρα στη χρονική στιγμή του ενός δευτερολέπτου της δοκιμασίας FVC, PEF: Η μέγιστη ροή του εκπνεόμενου αέρα που επιτυγχάνεται κατά τη δοκιμασία FVC, MVV: Το μέγιστο ποσό των λίτρων αέρα που το άτομο μπορεί να εισπνεύσει ανά λεπτό κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης αναπνευστικής προσπάθειας, pred: συμβολίζει την προβλεπόμενη τιμή, pre: συμβολίζει την τιμή πριν από την δοκιμασία, post: συμβολίζει την τιμή μετά την δοκιμασία. Όπου ^a σημαντική διαφορά μεταξύ των πριν και μετά τιμών στην ίδια παράμετρο, ξεχωριστά για κάθε συνθήκη κολύμβησης, $p < 0.05$ και όπου ^b σημαντική διαφορά των τιμών μεταξύ των δυο συνθηκών κολύμβησης, $p < 0.05$.

4.4 Μεταβολές στις αναπνευστικές μεταβλητές

Από τη σύγκριση των παραμέτρων της αναπνευστικής απόκρισης φάνηκε ότι για τη πρόσληψη οξυγόνου (VO₂) δεν υπήρξε αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών ούτε στη μεταξύ τους αλληλεπίδραση πριν και μετά την άσκηση. Φάνηκε όμως ότι υπήρξε διαφορά της τιμής του VO₂ πριν και μετά την άσκηση [$F(1,10)=454,9085$, $p<0,001$, $\eta^2=0,97$]. Επιπρόσθετα, δεν υπήρξε σημαντική διαφορά μεταξύ των συνθηκών ούτε στη στην μεταξύ τους διαφορά πριν και μετά την άσκηση για τον όγκο διοξειδίου του άνθρακα (VCO₂). Παρατηρήθηκε όμως διαφορά της τιμής του VCO₂ πριν και μετά την άσκηση [$F(1,10)=226,9459$, $p<0,001$, $\eta^2=0,95$]. Αντίστοιχα, στον πνευμονικό αερισμό (VE) δεν υπήρξε διαφορά μεταξύ των συνθηκών ούτε στη μεταξύ τους διαφορά πριν και μετά την άσκηση.

Φάνηκε όμως, ότι υπήρξε διαφορά της τιμής του VE πριν και μετά την άσκηση [$F(1,10)=292,1326$, $p<0,001$, $\eta^2=0,96$]. Παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των δεικτών VO_2 , VCO_2 και VE αυξάνονται σημαντικά μετά από κάθε προσπάθεια ανεξάρτητα συνθήκης κολύμβησης (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Παράμετροι της καρδιοαναπνευστικής απόκρισης πριν και μετά από τις προσπάθειες 50 m κολύμβησης, με μονοπτερύγιο, υποβρύχια και επάνω στην επιφάνεια του νερού. Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπικές αποκλίσεις.

	Άπνοια	Επιφάνεια
VO_2 pre (ml/min/kg)	$6,0 \pm 0,9^a$	$6,9 \pm 1,9^a$
VO_2 post (ml/min/kg)	$67,7 \pm 9,7$	$65,3 \pm 12,2$
VCO_2 pre (ml/min)	382 ± 118^a	377 ± 127^a
VCO_2 post (ml/min)	3326 ± 678	3663 ± 1089
VE pre (L/min)	16 ± 4^a	17 ± 4^a
VE post (L/min)	141 ± 28	155 ± 41

VO_2 : Πρόσληψη οξυγόνου, VCO_2 : Όγκος διοξειδίου του άνθρακα, VO_2 : Όγκος οξυγόνου, VE: Πνευμονικός αερισμός, pre: συμβολίζει την τιμή πριν από την δοκιμασία, post: συμβολίζει την τιμή μετά την δοκιμασία. Όπου ^a σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών πριν και μετά στην ίδια παράμετρο, ξεχωριστά για κάθε συνθήκη κολύμβησης, $p < 0.001$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από την παρούσα μελέτη συμπεραίνουμε ότι η υποβρύχια κολύμβηση σε συνθήκες άπνοιας, συγκρίνοντας μετρήσιμα στοιχεία και μεταβλητές με την κολύμβηση επιφανείας, σε συνθήκες εύπνοιας, επηρέασε τα επίπεδα της καρδιακής συχνότητας, τα επίπεδα του γαλακτικού οξέος των κολυμβητών δίχως να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Σε ότι αφορά τους αναπνευστικούς παράγοντες δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Ενώ κατά τις υποβρύχιες προσπάθειες σε σχέση με τις προσπάθειες επιφανείας παρατηρήθηκε σημαντικά βελτιωμένη κολυμβητική επίδοση.

Το πρωτόκολλο των δοκιμασιών αποτελούνταν από 4X50 μέτρα μέγιστης προσπάθειας σε δυο διαφορετικές συνθήκες. Η πρώτη με κανονικό πνευμονικό αερισμό, και η δεύτερη σε κατάσταση άπνοιας. Οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν σε δυο διαφορετικές ημέρες. Οι ασκούμενοι χωρίστηκαν σε δυο ισομερείς ομάδες. Κατά την πρώτη ημέρα δοκιμασιών, η μια ομάδα πραγματοποίησε τη συνθήκη εύπνοιας και κολύμβηση επιφανείας, ενώ η δεύτερη ομάδα πραγματοποίησε τη συνθήκη άπνοιας σε υποβρύχια κολύμβηση. Τη δεύτερη ημέρα οι ασκούμενοι εκτέλεσαν τις αντίστροφες συνθήκες. Οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να εφαρμόσουν μέγιστη προσπάθεια και ένταση από το 1° έως και το 4° 50αρι, και στις δυο συνθήκες δοκιμασιών. Το μέγεθος της κόπωσης προσδιορίστηκε από τις τιμές των καρδιακών συχνοτήτων κατά τη διάρκεια και των 4αρων 50αριών από τη συγκέντρωση του γαλακτικού

στο αίμα μετά το τέλος της 2^{ης} και 4^{ης} προσπάθειας καθώς επίσης και με την υποκειμενική αντίληψη της κόπωσης (κλίμακας Borg).

5.1 Επιδόσεις

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φάνηκε ότι η υποβρύχια κολύμβηση είναι πιο γρήγορη από την κολύμβηση επιφανείας. Αυτή η πληροφορία τεκμηριώνεται καθώς η ανάπτυξη επιφανειακού κυματισμού τόσο σε εγκάρσια κατεύθυνση (κατά μήκος του σώματος του κολυμβητή), όσο και σε αποκλίνουσα κατεύθυνση (πλευρικά του σώματος του κολυμβητή) δημιουργεί αντίσταση στην κίνηση του κολυμβητή στην επιφάνεια του νερού. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η ταχύτητα ενός σώματος μέσα στο νερό, τόσο αυξάνει και το πλάτος (S) κυματισμού (δίνης) από το εμπρός προς το πίσω μέρος του σώματος [23, 24]. Οι ανεπιθύμητες επιπρόσθετες αντιστάσεις λόγω των αναπτυσσόμενων κυμάτων [23] επιβραδύνουν την κολύμβηση επιφανείας και καθιστούν την υποβρύχια κολύμβηση γρηγορότερη.

5.2 Δελφινισμοί

Όσον αφορά στους δελφινισμούς των κολυμβητών, παρατηρήθηκε ότι στη συνθήκη της επιφανείας και πιο συγκεκριμένα στην πρώτη και δεύτερη προσπάθεια οι κολυμβητές εκτελούσαν περισσότερους δελφινισμούς προκειμένου να ολοκληρώσουν την κολυμβητική απόσταση των 50 μέτρων, συγκρινόμενη με την υποβρύχια κολύμβηση (Πίνακας 1). Το συμπέρασμα αυτό συσχετίζεται και τεκμηριώνεται σε συνάρτηση με τις αυξημένες αντιστάσεις στο σώμα του κολυμβητή καθώς η κολύμβηση επιφανείας ήταν πιο αργή από την υποβρύχια, και οι κολυμβητές χρειάζονταν περισσότερους δελφινισμούς προκειμένου, να ολοκληρώσουν τη δοκιμασία των 50 μέτρων. Η συγκεκριμένη πληροφορία επαληθεύεται και βιβλιογραφικά για το άθλημα της TK, από τον Guillaume Nicolas et al., (2009) [22], η οποία αναφέρει ότι οι κολυμβητικές ταχύτητες κάτω από την επιφάνεια του νερού είναι κατά 6-10% γρηγορότερες συγκρινόμενες με τις ταχύτητες επιφανείας, λόγω μειωμένων αντιστάσεων [22].

5.3 Συχνότητα Δελφινισμών

Οι κολυμβητές TK κινούνταν χρησιμοποιώντας προωθητικό εξοπλισμό και συγκεκριμένα με το μονοπτερύγιο. Για να υπάρξει απόδοση, εκτελούν σε πλήρη αλληλουχία και συντονισμό μια σειρά κινήσεων που μπορεί να χαρακτηριστεί και ως δελφινοειδής κίνηση. Η δελφινοειδής κίνηση αποτελείται από την κάτω και άνω κίνηση ποδιάς. Η κάτω κίνηση ποδιάς, χαρακτηρίζεται από τη κάμψη των μηρών προς τα κάτω και την άνοδο της λεκάνης προς τα επάνω, ενώ κύριο παράγοντα της προώθησης αποτελεί η κίνηση της θωρακικής μοίρας με πίεση του θώρακα προς τα εμπρός. Το άθροισμα των κινήσεων για την κάτω κίνηση ποδιάς χαρακτηρίζεται ως κύρια προωθητική κίνηση. Η άνω κίνηση ποδιάς, είναι η έκταση μηρών προς τα επάνω, την κάθοδο της λεκάνης προς τα κάτω, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται κύρτωση του θώρακα. Το άθροισμα των κινήσεων για την άνω κίνηση ποδιάς χαρακτηρίζεται ως δευτερεύουσα κίνηση. Η άνω κίνηση ποδιάς για τα υποβρύχια αγωνίσματα

διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ταχύτητα του κολυμβητή καθώς η εμβέλειά της είναι μεγαλύτερη. Το σύνολο των κινήσεων για την προώθηση του κολυμβητή (άνω και κάτω κίνηση ποδιάς) μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ένας κύκλος ποδιάς [118]. Στην συγκεκριμένη μελέτη παρατηρήθηκε κατά την υποβρύχια κολύμβηση σταδιακή αύξηση των κύκλων ποδιάς από την 1^η έως και την 3^η προσπάθεια ενώ υπήρξε κατά Μ.Ο. σταθεροποίηση ανάμεσα στην 3^η και 4^η προσπάθεια. Συγκεκριμένα, οι κολυμβητές έκαναν περίπου τον ίδιο αριθμό δελφινισμών, στα 4×50 m, με μέσο όρο τους 39 ± 4 υποβρύχια έναντι των 40 ± 4 δελφινισμών της κολύμβησης επιφανείας (Πίνακας 1). Όσον αφορά τη συχνότητα των δελφινισμών υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των επαναλήψεων και των συνθηκών κολύμβησης καθώς φάνηκε ότι οι κολυμβητές αύξησαν τη συχνότητα των δελφινισμών τους στην τρίτη και τέταρτη υποβρύχια προσπάθειά τους. Επιπρόσθετα, εμφανίστηκε αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών και των επαναλήψεων των 50 μέτρων. Συνοπτικά, οι κολυμβητές είχαν υψηλότερη συχνότητα στις υποβρύχια προσπάθειες, στα 4×50 m, με μέσο όρο συχνοτήτων τους 135 ± 18 έναντι των 121 ± 15 δελφινισμών ανά λεπτό της κολύμβησης επιφανείας (Πίνακας 1).

Με βάση την παραπάνω παρατήρηση, εικάζω ότι οι κολυμβητές κατά την υποβρύχια κολύμβηση και συγκεκριμένα προς τις τελευταίες επαναλήψεις των 50 μέτρων (3^η και 4^η επανάληψη) μετέβησαν στο στάδιο το οποίο ονομάζεται «δυσχερής» φάση άπνοιας, το οποίο είναι όταν το άτομο αισθάνεται ότι πρέπει να αναπνεύσει αλλά αντιστέκεται σε αυτή του την επιθυμία [25]. Φυσικό επακόλουθο της συγκεκριμένης κατάστασης και ως αντίδραση, είναι η αύξηση της συχνότητας κύκλων ποδιάς, προκειμένου να ολοκληρωθεί η διανυόμενη κολυμβητική απόσταση των 50 μέτρων. Επιπροσθέτως, κατά τη δυναμική άπνοια το στάδιο αυτό εμφανίζεται συντομότερα λόγω των αυξημένων μυϊκών απαιτήσεων σε έλλειψη οξυγόνου.

5.4 Αντίληψη της κόπωσης (RPE)

Ως προς την αντίληψη της κόπωσης (RPE) δεν υπήρξε αλληλεπίδραση των συνθηκών κολύμβησης και των επαναλήψεων το μέσο όρο του RPE να είναι και για τις δυο συνθήκες κολύμβησης 7 ± 1 (Πίνακας 1). Επιπρόσθετα, δεν υπήρξε σημαντική επίδραση μεταξύ των συνθηκών κολύμβησης, ενώ αντίθετα, εμφανίστηκε επίδραση μεταξύ των επαναλήψεων. Όλοι οι κολυμβητές αισθανόταν υψηλότερη κόπωση σε κάθε επόμενη προσπάθεια και στις δυο συνθήκες κολύμβησης με το μέσο όρο του RPE να αυξάνεται από 4 ± 1 στην πρώτη προσπάθεια σε 9 ± 1 στην τελευταία (Πίνακας 1). Ο Μ.Ο. των τιμών της υποκειμενικής αντίληψης της κόπωσης των τελευταίων επαναλήψεων έδειξε ότι η ένταση των κολυμβητών ήταν μέγιστη.

5.5 Συγκέντρωση γαλακτικού

Οι κολυμβητές στην έρευνα ξεκίνησαν τις προσπάθειες τους με παρόμοια επίπεδα $4,0 \pm 2,0$ mmol γαλακτικού ανά L αίματος και $3,9 \pm 2,0$ mmol/L αίματος για την άπνοια και κολύμβηση επιφανείας αντίστοιχα. Μετά το 2^ο 50αρι συσσωρεύτηκαν $12,1 \pm 3,8$ mmol/L αίματος για την άπνοια και $11,88 \pm 3,47$ mmol/L αίματος για την κολύμβηση επιφανείας αντίστοιχα. Δεν εντοπίστηκε αλληλεπίδραση

μεταξύ συνθηκών και επαναλήψεων των 50 μέτρων. Παράλληλα, δεν φάνηκε να υπάρχει επίδραση μεταξύ των συνθηκών άπνοιας και επιφανείας, παρόλα αυτά φάνηκε να υπάρχει επίδραση μεταξύ των επαναλήψεων. Πιο συγκεκριμένα μετά το 4^ο 50άρι παρατηρήθηκαν υψηλότερα επίπεδα γαλακτικού απ' ότι μετά από το 2^ο 50άρι, $17,6 \pm 3,5$ mmol/L αίματος για την άπνοια και $16,48 \pm 3,10$ mmol/L αίματος για την συνθήκη της επιφανείας. Πραγματοποιήθηκε λήψη γαλακτικού και στο 5^ο λεπτό μετά το 4^ο και τελευταίο 50άρι των δοκιμασιών και καταγράφηκαν οι τιμές $16,6 \pm 3,1$ mmol/L αίματος για την άπνοια και $16,07 \pm 3,47$ mmol/L αίματος για την επιφάνεια τιμές που αναφέρονται ως μέσος όρος και για τα δυο είδη κολύμβησης μαζί (Γράφημα 1). Όπως αναγράφονται οι τιμές του γαλακτικού παρατηρούμε ότι οι κολυμβητές κολύμπησαν με υψηλή ένταση καθώς ήταν σαφώς πάνω από το κατώφλι των 4 mmol/L που συναντάμε στη βιβλιογραφία [119] γεγονός που φανερώνει και την ενεργοποίηση του αναερόβιου μεταβολισμού κατά τις δοκιμασίες.

5.6 Καρδιακή συχνότητα

Η καρδιακή συχνότητα των κολυμβητών κατά την ηρεμία (πριν τις δοκιμασίες) κυμαίνονταν με παρόμοιο αριθμό χτύπων ανά λεπτό (bpm) και για τις δύο συνθήκες εξίσου. Όσον αφορά στην υποβρύχια κολύμβηση, υπήρξε επίδραση μεταξύ των επαναλήψεων και οι κολυμβητές ξεκινούσαν τις προσπάθειες τους με παρόμοια καρδιακή συχνότητα. Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα, μετά την πρώτη προσπάθεια, ήταν σημαντικά υψηλότερη (176 ± 10 bpm) από κάθε άλλη σε όλες τις χρονικές στιγμές των μετρήσεων. Οι μέγιστες καρδιακές συχνότητες μετά τις υπόλοιπες τρεις προσπάθειες ήταν παρόμοιες (εύρος 165 – 168 bpm). Οι καρδιακές συχνότητες στο πρώτο λεπτό των διαλειμμάτων ήταν παρόμοιες σε όλες τις μετρήσεις στο ίδιο λεπτό και παρόμοια και με την τελευταία μέτρηση, δυο λεπτά μετά την τελευταία προσπάθεια των κολυμβητών (εύρος 136 – 153 bpm). Οι καρδιακές συχνότητες ήταν υψηλότερες σημαντικά πριν την τρίτη και τέταρτη προσπάθεια των κολυμβητών σε σχέση με την καρδιακή συχνότητα πριν τη δεύτερη προσπάθειά τους καθώς επίσης και πριν την τέταρτη σε σχέση με την τρίτη προσπάθειά τους (129 ± 15 και 142 ± 15 bpm έναντι 120 ± 18 bpm αντίστοιχα).

Παρόμοια αποτύπωση φάνηκε να υπάρχει και στη συνθήκη επιφανείας καθώς οι αθλητές ξεκινούσαν τις περισσότερες επιμέρους προσπάθειές τους με παρόμοια καρδιακή συχνότητα (εύρος 130 – 141 bpm, σημεία: 3, 6, στον οριζόντιο άξονα του Γραφήματος 2) σε σχέση με την αρχική καρδιακή συχνότητα (130 bpm, στο σημείο Πριν, Γράφημα 2). Οι μέγιστες καρδιακές συχνότητες κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα (εύρος 182 – 184 bpm) έπειτα από τις δοκιμασίες των κολυμβητών. Κατά το πρώτο λεπτό των διαλειμμάτων οι καρδιακές συχνότητες κυμαίνονταν σε υψηλότερα επίπεδα μέχρι την τελευταία μέτρηση (153 ± 10 , 162 ± 6 , 165 ± 8 και 165 ± 8 bpm αντίστοιχα). Πριν την τέταρτη προσπάθεια η καρδιακή συχνότητα ήταν υψηλότερη σε σχέση με τη δεύτερη και τρίτη προσπάθεια αντίστοιχα (150 ± 13 έναντι 132 ± 13 και 141 ± 12 bpm, Γράφημα 2) το οποίο μπορεί να εξηγηθεί λόγω της συσσωρευμένης κόπωσης των αθλητών. Σύμφωνα με την έρευνα των Buchheit et al., (2010) [120] η σταδιακή αύξηση του προπονητικού φορτίου οδηγεί στην αύξηση των καρδιακών παλμών λόγω

συσσωρευμένης κόπωσης των αθλητών. Οι καρδιακές συχνότητες οι οποίες προαναφέρθηκαν διέφεραν στα περισσότερα χρονικά σημεία μεταξύ των δυο συνθηκών (επιφανείας – άπνοιας) με τις τιμές της καρδιακής συχνότητας κατά την κολύμβηση επιφανείας να είναι υψηλότερες από αυτές της υποβρύχιας κολύμβησης (Γράφημα 2).

Η πληροφορία αυτή μπορεί να τεκμηριωθεί καθώς με το σταμάτημα της αναπνοής επέρχονται κάποιες αντανακλαστικές λειτουργίες του οργανισμού προκειμένου να ανταπεξέλθει στο ερέθισμα που προκύπτει. Η ενεργοποίηση του αντανακλαστικού κατάδυσης είναι η φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού όταν υπάρχει μεταβολή στην συχνότητα της αναπνοής και συγκεκριμένα όταν επικρατεί η άπνοια. Με το κράτημα της αναπνοής παρατηρείται αλλαγή στην καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) η οποία μειώνεται σημαντικά και η μεταβολή της κυμαίνεται από 5-60% ανάλογα με τις συνθήκες [30, 34-36, 38, 40, 56].

Το αντανακλαστικό κατάδυσης και συγκεκριμένα ο συνδυασμός της βραδυκαρδίας και της περιφερικής αγγειοσυστολής είναι αποτέλεσμα βύθισης με άπνοια και είναι ένα αντανακλαστικό στα θαλάσσια θηλαστικά το οποίο ενεργοποιείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εύστοχη διαχείριση των χαμηλών επιπέδων οξυγόνου (O_2) [103]. Η λειτουργία του είναι να διατηρεί την αιμάτωση του εγκεφάλου μειώνοντας το έργο της καρδιάς, με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση στην αιμάτωση των σπλάχνων και των μυών. Ως συνέπεια των παραπάνω παρατηρείται μείωση της συνολικής κατανάλωσης οξυγόνου (VO_2) προκειμένου να υπάρξει προστασία των πιο ευαίσθητων ιστών από έλλειψη O_2 . Σύμφωνα με την έρευνα των Lindholm et al (1999) παρατηρήθηκε ότι ο οργανισμός σε συνθήκες άπνοιας εξοικονομεί O_2 [104]. Αποτέλεσμα το οποίο τους παρακίνησε να ερευνήσουν ποια θα ήταν η ανταπόκριση του ανθρώπινου οργανισμού όταν οι απαιτήσεις του O_2 αυξάνονταν κατά την δυναμική άπνοια. Συνέπεια της νέας έρευνάς τους ήταν ότι κατά τη διάρκεια της δυναμικής άπνοιας υπάρχει αποκορεσμός αρτηριακού αίματος από O_2 (SaO_2) ο οποίος έχει άμεση σχέση με την βραδυκαρδία και την υπέρταση. Επιπλέον αποδείχθηκε ότι όσο πιο έντονη είναι η βραδυκαρδία και η υπέρταση τόσο πιο αργός είναι ο ρυθμός πτώσης του (SaO_2).

Βάση των αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε ότι κατά τη διάρκεια της δυναμικής άπνοιας η εμφάνιση του αντανακλαστικού κατάδυσης είναι εντονότερη, για τον λόγο ότι ελαττώνεται το SaO_2 έπειτα από έντονη καρδιακή απόκριση, αυτό συμβαίνει για την εξοικονόμηση O_2 [36, 104]. Οι ίδιοι λίγα χρόνια αργότερα Lindholm et al (2002) εξέτασαν αν κατά τη δυναμική άπνοια με ενεργοποιημένο αντανακλαστικό κατάδυσης υπάρχει εντονότερος αποκορεσμός [105]. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε μείωση διάχυσης οξυγόνου (VO_2) όσο αυξάνονταν ο χρόνος άπνοιας [105]. Παράλληλα οι Andersson et al (2004) με την ίδια πειραματική δομή αλλά με διαφορετική ένταση, απέδειξαν ότι οι εντονότερες καρδιαγγειακές μεταβολές κατά τη δυναμική άπνοια με βύθιση του προσώπου επηρεάζονται από τη μειωμένη διάχυση οξυγόνου από τους πνεύμονες στην κυκλοφορία λόγω της επηρεασμένης καρδιακής παροχής και της περιφερικής αιματικής ροής αποδεικνύοντας ότι οι αποθήκες

στους πνεύμονες εξαντλούνται με πιο αργούς ρυθμούς κατά την άπνοια [30]. Συμπερασματικά η μείωση της καρδιακής συχνότητας κατά την υποβρύχια κολύμβηση είναι αποτέλεσμα του αντανακλαστικού κατάδυσης το οποίο εξοικονομεί οξυγόνο για τους πιο ευαίσθητους ιστούς [30]. Για τον λόγο αυτό οι ΚΣ κατά την επιφάνεια παρατηρείται αυξημένη σε σχέση με την υποβρύχια κολύμβηση.

5.7 Μεταβολές στη σπυρομέτρηση

Όσον αφορά στις μεταβολές της σπυρομέτρησης, δεν παρατηρήθηκε επίδραση μεταξύ των συνθηκών. Έπειτα από τη σύγκριση αναπνευστικών παραμέτρων και από τον συνολικό όγκο αέρα που εκπνέεται βίαια, από τη μέγιστη εισπνευστική θέση έως την μέγιστη εκπνευστική θέση (FVC) φάνηκε ότι δεν υπήρξε επίδραση μεταξύ των συνθηκών. Παρόλα αυτά, φάνηκε να υπάρχει επίδραση μεταξύ των τιμών FVC καθώς ήταν υψηλότερες πριν από τις προσπάθειες απ' ό,τι αυτές μετά τις προσπάθειες και στις δυο συνθήκες κολύμβησης. Ενώ δεν υπήρξε επίδραση στη μεταξύ των συνθηκών πριν και μετά τις προσπάθειες. Η τιμή του βιαίως εκπνεόμενου όγκου αέρα τη χρονική στιγμή του ενός δευτερολέπτου της δοκιμασίας FVC (FEV_1) ήταν μεγαλύτερη μετά από την υποβρύχια κολύμβηση παρόλα αυτά δεν παρατηρήθηκε κάποια επίδραση μεταξύ των συνθηκών ούτε πριν και μετά την προσπάθεια. Όσον αφορά στη μέγιστη ροή του εκπνεόμενου αέρα που επιτυγχάνεται κατά τη δοκιμασία FVC (PEF) παρατηρήθηκε επίδραση μεταξύ των συνθηκών πριν και μετά την προσπάθεια. Τέλος, παρατηρήθηκε επίδραση πριν και μετά την προσπάθεια στο μέγιστο ποσό των λίτρων αέρα που το άτομο μπορεί να εισπνεύσει ανά λεπτό κατά τη διάρκεια μιας μέγιστης αναπνευστικής προσπάθειας (MVV), ενώ σημειώθηκαν υψηλότερες τιμές μετά και από τις δύο συνθήκες κολύμβησης σε σχέση με την προβλεπόμενη (Πίνακας 2).

5.8 Μεταβολές στις αναπνευστικές μεταβλητές

Από τη σύγκριση των παραμέτρων της καρδιοαναπνευστικής απόκρισης φάνηκε ότι για τη πρόσληψη οξυγόνου (VO_2) δεν υπήρξε αλληλεπίδραση μεταξύ των συνθηκών και των προσπαθειών. Φάνηκε όμως ότι υπήρξε επίδραση της τιμής της VO_2 πριν και μετά την άσκηση. Επιπρόσθετα, δεν υπήρξε επίδραση μεταξύ των συνθηκών ούτε στη μεταξύ τους επίδραση πριν και μετά την άσκηση για τον όγκο διοξειδίου του άνθρακα (VCO_2). Παρατηρήθηκε όμως επίδραση της τιμής του VCO_2 πριν και μετά την άσκηση. Αντίστοιχα, στον πνευμονικό αερισμό (VE) δεν υπήρξε επίδραση μεταξύ των συνθηκών ούτε στη μεταξύ τους επίδραση πριν και μετά την άσκηση. Φάνηκε όμως, ότι υπήρξε επίδραση της τιμής του VE πριν και μετά την άσκηση. Παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των δεικτών VO_2 , VCO_2 και VE αυξάνονται σημαντικά μετά από κάθε προσπάθεια ανεξάρτητα της συνθήκης κολύμβησης (Πίνακας 3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. CMAS Underwater Federation World. (2019) CMAS RULES CMAS Finswimming Rules Version 2019/ 01 Index.
2. Marx, R (1978) Into the deep. New York: Van Nostrand Reinhold Co
3. Andersson J. P.A., Liney M.H., Fredsted & Schagatay E.K.A. (2004). Cardiovascular and respiratory responses to apnea with and without face immersion in exercising humans. *Journal of Applied Physiology*, 96, 1005-1010.
4. Schagatay, E., & Andersson, J. (1998). Diving response and apneic time in humans and Hyperbaric Medicine. 25(1), 13–19.
5. Lemaitre F., Bernler F., Petit I., Renard N., Gardette B., Julia F. (2005). Heart rate responses during a breath-holding competition in well trained divers. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 409-413.
6. Bakovic D., Valic Z., Eterovic D., Vukovic I., Obad A., Marinovic-Terzic I. & Dujic Z. (2003). Spleen volume and blood flow response to repeated breath-hold apneas. *Journal of Applied Physiology*, 95, 1460-1466.
7. Bakovic D., Eterovic D., Saratlija-Novakovic Z., Palada I., Valic Z., Bilopavlovic N et al. (2005). Effect of human splenic contraction on variation in circulating blood cell counts. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 32, 944-951.
8. Schagatay E., Andersson J. P.A., Hallen M & Palsson B. (2001a). Selected contribution: Role of spleen emptying in prolonging apneas in humans. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1622-1629.
9. Schagatay E., Andersson J.P. & Nielsen B. (2001b). Does facial chilling augment the hematocrit increase seen at human apneic diving. *International thermal physiology symposium, Wollongong, Australia, 2-6 September 2001, vol 32 (Supplement 1) p,138.*

10. Schagatay E., Haughey H. & Reimers J. (2005). Speed of spleen volume changes evoked by serial apneas. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 447-452.
11. Espersen, K., Frandsen, H., Lorentzen, T., Kanstrup, I. L., & Christensen, N. J. (2002). The human spleen as an erythrocyte reservoir in diving-related interventions. *Journal of Applied Physiology*. 92(5), 2071–2079.
12. Joulia F., Steinberg J., Wolff F., Gavarry O. & Jammes Y. (2002). Reduced oxidative and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 133, 121-130.
13. Ferretti G., Costa M., Ferretti M., Grassi B., Marconi C., Lundgrey C.& Cerretelli P. (1991). Alveolar gas composition and exchange during deep breath-hold diving and dry breath holds in elite divers. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 794-802
14. Lemaitre F., Bedu M. & Coudert J. (2002). Pulmonary Function of recreational divers: A cross sectional study. *International Journal of Sports Medicine*, 23, 273-278.
15. Delapille P., Verin E., Tourny-Chollet C. & Pasquits P. (2001b). Breath-holding time: effects of non-chemical factors in divers and non-divers. *Pfugers Arch- European Journal of Physiology*, 442, 588-594.
16. Γελαδάς, Ν. (2008), Χερουβείμ, Ε. Ελεύθερη κατάδυση: Η φυσιολογία της άπνοιας. Αθήνα: Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.
17. ΠΑΥΣΑΝΙΑΣ, Ελλάδος Περιήγησης
18. Fabio Maniscalco (1992). *Archeologia subacquea. Manuale*. Napoli: A. Guida, page 12
19. Παπαρηγοράκης, Μ. (1997). *Υποβρύχιος Άνθρωπος*. Αθήνα: Χριστάκης.
20. Emmett, J. & Ridley, G. (1978). *Underwater swimming*, Wakefield, U.K:EP Publishing.

21. Lioulis, A. & Grammaticos V. (1987). Finswimming. A presentation of modern speed swimming. In Karl-Heinz Kerll (Ed), *Fin Swimming Manul* (pp 18-27). Germany:Stephanie Naglischmid.
22. BSAC (British Sub-Aqua Club) (1987). *Diving Manual*. London UK: Stanley Paul and Co.
23. Ήλιδα. Ιστοσελίδα Υφυπουργείου Αθλητισμού.
- 24 Toms State University: История ластов. Retrieved on 5 February 2019.Ημερομηνία πρόσβασης: 25 Μαΐου 2021. Ιστοσελίδα: <http://www.skate.tsu.ru/content/sport/istoriya-lastov>
25. Apnea Magazine. *Ενημερωτικό περιοδικό της Ερασιτεχνικής Αθλητικής Ένωσης Nuovo Nuoto . "Franco Pavone, il gamma". Apnea Magazine. 16 March 2006. Retrieved 18 July 2019. Μπολόνια. Ιστοσελίδα: <https://www.apneamagazine.com/franco-pavone-il-gamma-1378>*
26. Be Water Freediving. Brief History about the Monofin. Theo- Patrick Fourcade. Ιστοσελίδα: <https://bewaterfreediving.com/brief-history-about-the-monofin/>
27. E.O.Y.Δ.A.A. (1987). Ιστορική αναδρομή στην τεχνική κολύμβηση. Ενημερωτικό δελτίο 4. Αθήνα
28. Adam, G., Kalaitzoglidis, Y., & Tsalis, G. (2005). Η Εξέλιξη της Τεχνικής Κολύμβησης. 3(1), 48-54.
29. Internet achive Wayback Machine. History of CMAS and Chronology of Diving. Finswimming.Ιστοσελίδα:<https://web.archive.org/web/20161215163844/http://history.cmas.org/finswimming>
30. "Taking part in the Universiade, Finswimming entered a new era". Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques. Retrieved 12 August 2013.
31. First European Games - Baku 2015". Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques. Retrieved 22 July 2015.

32. World records. Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques. CMAS. Ιστοσελίδα: <https://www.cmas.org/finswimming/finswimming-records#records-142788>
33. Fina Rules. (2020) Swimming
34. Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Neiva, H. P., Silva, A. J., & Morais, J. E. (2020). Comparison of the start, turn and finish performance of elite swimmers in 100 m and 200 m races. *Journal of Sports Science and Medicine*. 19(2), 397–407.
35. Nicolas, G., & Bideau, B. (2009). A kinematic and dynamic comparison of surface and underwater displacement in high level monofin swimming. *Human Movement Science*, 28(4), 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.02.004>
36. Toussaint, H. M., Truijens, M., Elzinga, M.J., de Ven, A. Van, de best, H., Snabel, B., & de Groot, G. (2002). Swimming : Effect of a fast-skinTM ‘body’ suit on drag during front crawl swimming. *Sports Biomechanics*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/14763140208522783>
37. Toussaint, H.M., van Stralen, M. and Stevens, E., 2002. Wave Drag in Front Crawl Swimming. In: Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports, Gianikellis, K. (Ed.), Universidad de Extremadura, Spain, pp. 279-282.
38. Lin, Y., Lally, D., Moore, T., & Hong, S. (1974). Physiological and conventional breath-hold breaking points. *Journal of Applied Physiology*, 37(3), 291-296.
39. Guimard, A., Collomp, K., Zorgati, H., Brulaire, S., Wooron, X., Amiot, V., & Prieur, F. (2018). Effect of swim intensity on responses to dynamic apnoea. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1015-1021. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1349328>
40. Bosco, G., Tano, G. Di, Zanon, V., Fanò, G., & Chieti, D. A. (2008). Breath-hold diving a point of view. (December). <https://doi.org/10.1007/s11332-007-0038-y>

41. Guimard, A., & Fabrice Prieur, Houssem Zorgati, David Morin, Franc, Oise Lasne, A. K. C. (2014) Acute Apnea Swimming: Metabolic Responses and Performance. *Journal Of Strength and Conditioning*. 28(4), 958–963

42. Gmada, N., Bouhlef, E., Mrizak, I., Debabi, H., Ben Jabrallah, M., Tabka, Z., Amri, M. (2005). Effect of combined active recovery from supramaximal exercise on blood lactate disappearance in trained and untrained man. *International Journal of Sports Medicine*. 26(10), 874–879.

43. Woorons, X., Bourdillon, N., Vandewalle, H., Lamberto, C., Mollard, P., Richalet, J. P., & Pichon, A. (2010). Exercise with hypoventilation induces lower muscle oxygenation and higher blood lactate concentration: Role of hypoxia and hypercapnia. *European Journal of Applied Physiology*, 110(2), 367–377. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1512-9>

44. Lemaître, Frédéric, Joulia, F., & Chollet, D. (2010). Apnea: A new training method in sport? *Medical Hypotheses*. 74(3), 413–415.

45. Andersson J and Schagatay E. (1998b). Effects of lung volume and involuntary breathing movements on the human diving response. *European Journal of Applied Physiology* 77: 19–24.

46. Andersson J, Schagatay E, Gilsen A and Holm B. (2000). Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face and their relationship to apnoea. *European Journal of Applied Physiology* 83: 566–572.

47. Andersson, J. P. A., Linér, M. H., Rünnow, E., & Schagatay, E. K. A. (2002). Diving response and arterial oxygen saturation during apnea and exercise in breath-hold divers. *Journal of Applied Physiology*. 93(3), 882–886.

48. Schagatay E., Kampen M., Emanuelsson S. & Holm B. (2000). Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 90, 1622–1629.

49. Paulev P.E, Pokorski M., Honda Y., Ahn B., Masuda A., Kobayashi T., Nishibayashi Y., Sakakibara Y., Tanaka M. & Nakamura W. (1990). Facial cold receptors and the survival reflex, diving bradycardia in man. *Japanese Journal of Physiology*, 40, 701-712.

50. Brown C.M., Sanya E. O. & Hilz M. J. (2003). Effect of cold stimulation on cerebral blood flow in humans. *Brain Research Bulletin* 61, 81-86.

51. Vašíčková, J., Neumannová, K., & Svozil, Z. (2017). The effect of respiratory muscle training on fin-swimmers' performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(4), 521.

52. Nygren-Bonnier, M., Gullstrand, L., Klefbeck, B. et al., (2007). Effects of glossopharyngeal pistoning for lung insufflation in elite swimmers. *Medical Science Sports & Exercise*, 39, 836–841.

53. Delapille P., Verin E., Tourny-Chollet C. & Pasquis P. (2001a). Ventilatory responses to hypercapnia in divers and non-divers: effects of posture and immersion. *European Journal of Physiology*, 86, 97-103.

54. Μπούρδας Δ. (2012). Επαναλαμβανόμενη στατική άπνοια πριν από άσκηση: έλεγχος βιολογικών προσαρμογών και επίδραση στη σωματική απόδοση. Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα: ΕΚΠΑ.

55. Schagatay E., Kampen M. & Andersson J. (1999). Effects of repeated apneas on apneic time and diving response in non-divers. *Undersea Hyperbaric & Medicine*, 26(3), 143-149.

56. Schagatay E., Andersson J.P. & Nielsen B. (2007). Hematological response and diving response during apnea and apnea with face immersion. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 125-132.

57. Richardson M., Bruijin R., Holmberg C., Bjorklund G., Haughey H. & Schagatay E. (2005). Increase of hemoglobin concentration after maximal apneas in divers, skiers and untrained humans. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(3), 276-281.

58. Di Prampero, P.E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal Sports Medicine*, 7, 55-72.

59. Blimkie, C. (1992). Resistance training during pre- and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms and persistence. *Canadian Journal of Sports Science*, 17, 264-279.
60. Bishop, D., Spencer, M., Duffield, R., & Lawrence, S. (2001). The validity of Repeatde Sprint Ability test. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4, 11.
61. Pyne D. B., Saunders P.U., Montgomery P.G., Hewitt A.J. & Sheehan K. (2008). Relationships between repeated sprint testing, speed, and endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(5): 1633-1637.
62. Buchheit, M., Laursen, P.B.(2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine* 43(5): 313-38. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x.
63. Yacipi, A., & Öznalbant M. (2016). The Relationship between short distance swimming performance and repeated sprint ability in swimmers. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 5: 1-16.
64. Pelliccia A, Maron BJ, Culasso F, Spataro A, Caselli G. Athlete's heart in women. Echocardiographic characterization of highly trained elite female athletes. *JAMA* 276: 211–215, 1996.
65. Roskamm H, Reindell H, Musshoff K, Koenig K. [Relations between heart size and physical efficiency in male and female athletes in comparison with normal male and female subjects. III]. *Arch Kreislaufforsch* 35: 67-102, 1961.
66. Concu, A., & Marcello, C. (1993). Stroke volume response to progressive exercise in athletes engaged in different types of training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(1), 11–17. <https://doi.org/10.1007/BF00863393>
67. Plotnick, G. D., Becker, L. C., Fisher, M. L., Gerstenblith, G., Renlund, D. G., Fleg, J. L., Lakatta, E. G. (1986). Use of the Frank-Starling mechanism during submaximal versus maximal

upright exercise. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 251(6 (20/6)). <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1986.251.6.h1101>

68. Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2016). Cardiovascular adaptations to exercise training. *Comprehensive Physiology*, 6(1), 1–32. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140080>

69. Botonis, Petros G., Smilios, Ilias, Platanou, Theodoros I., Toubekis, & Argyris G. (2020). Effects of an International Tournament on Heart Rate Variability and Perceived Recovery in Elite Water Polo Players. *Journal of Strength and Conditioning Research: e- Publish Ahead of Print*. doi: 10.1519/JSC.0000000000003783.

70. Zavorsky GS. Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med* 29: 13-26, 2000.

71. Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine* 44(Suppl 2): 139–147.

72. Harms, C. A., Wetter, T. J., McClaren, S. R., Pegelow, D. F., Nickle, 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.

73. Hauber, C., Sharp, R. L., & Franke, W. D. (1997). Heart rate response to submaximal and maximal workloads during running and swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 18(5), 347–353. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972644>

74. Koulouris, N.G. & Dimitroulis, I. (2001). Structure and function of the respiratory muscles. *Pneumon*, 2, 14

75. Κλεισούρας Β. (2004). Εργοφυσιολογία. Αθήνα: Πασχαλίδης

76. O’Kroy, J., Loy, R., & Coast, R. (1992). Pulmonary function changes following exercise, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 1359-1364.

77. Dempsey, J. A., Johnson, B.D., & Kurt, W. (1990). Adaptation and limitations in the pulmonary system during exercise. *Chest*, 97, 3, 81-87
78. 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.
79. 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 Sport Medicine*, 20, 470-475.
80. Harms, C.A., Babcock, A.M., McClaran, R.S., Pegelow, F.D., Nicklele, 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.
81. Aaron, E.A., Seow, K.C., Johnson, B.D. & Dempsey, J.A. (1992). Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1818-1825.
82. 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.
83. Μούγιος Β. (2008). Βιοχημεία της Άσκησης. Αθήνα: Πασχαλίδης
84. Gastin, P.B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine* 31(10): 725–741. doi: 10.2165/00007256- 200131100-00003.
85. Toubekis, A., & Tokmakidis, S. (2008). Energy System Contribution during Competition and High Intensity Swimming Training. *Inquiries in Sport & Physical Education*, 6(1). Retrieved from www.hape.gr/emag.asp
86. Ring, S., Mader, A., Wirtz, W., & Wilke, K. (1996). Energy metabolism during sprint swimming. In J.P. Troup, A.P. Hollander, D. Strasse, S.W. Trappe, J.M. Cappaert and T.A.

Trappe (Eds.), *Biomechanics and medicine in swimming VII* (pp. 177-184). London, UK: E&FN Spoon.

87. Capelli, C., Pendergast, D., & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 78, 385-393.

88. Maglischo, E. (2003). *Swimming fastest*. Champaign, IL: Human Kinetics.

89. Bogdanis, G., Nevill, M., Boobis, L., & Lakomy, H. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80, 876-884.

90. Gaitanos, G., Williams, C., Boobis, L., & Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75, 712-719. Botonis, P.G., Toubekis, A.G., & Platanou, T.I. (2016). Physical Performance During Water- Polo Matches: The Effect of the Players' Competitive Level. *Journal of Human Kinetics* 54(15), 135-142. doi: 10.1515/hukin-2016-0042.

91. Aziz, A. R., Chia, M) ή υψηλή ένταση (στο 80% του 1RM). Η προπόνηση αντιστάσεων., & Teh, K. C. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 40(3): 195–200.

92. Ridgway L, & McFarland K. (2006) Apnea diving: Long –term neurocognitive sequelae of repeated hypoxemia. *The Clinical Neurophysiologist*, 20:160-176.

93. Prabhakar N.R. & Peng Y. (2004). Peripheral chemoreceptors in health and disease. *Journal of Applied Physiology*, 96, 359-366.

94. Vander A., Sherman J. & Luciano D. (2001). *Human Physiology*, McGraw Hill.

95. Godfrey S. & Campbell E.J.M. (1968). The control of breath holding. *Respiration Physiology*, 5, 385-400.

103. Butler P.J & Jones D. R. (1997). Physiology of diving of birds and mammals. *Physiology Review* 77, 837-899.

96. Lindholm P. Sundbland P. & Linnarsson D. (1999). Oxygen-conserving effects of apnea in exercising men. *European Journal of Applied Physiology*, 87(96), 2122-2127.
97. Lindholm P., Nordh J. & Linnarsson D. (2002). Role of hypoxemia for cardiovascular responses to apnea during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 283, R1227-R1235.
98. Steward I. & McKenzie D. (2002). The human spleen during physiological stress. *Sports Medicine*, 32 (6), 361-369.
99. Stewart I., Warburton D.,m Hodges A., Lyster D & McKenzie D. (2003). Cardiovascular and splenic responses to exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 94, 1619-1626.
100. Hurford W. E., Hong S.K., Park Y. S., Ahn D. W., Shiraki K., Mohri M. & Zapol W. M (1990). Splenic contraction during breath – hold diving in the Korean ama. *Journal of Applied Physiology*, 69 (3), 932-936.
101. Lanphier E. H. & Rahn H. (1963a). Alveolar gas exchange during breath-hold diving. *Journal of Applied Physiology*, 18 (3), 471-477.
102. Lanphier E.H. & Rahn H. (1963b). Alveolar gas exchange during breath holding with air. *Journal of Applied Physiology*, 18(3), 478-482.
103. Whitelaw W.A., McBride B. & Ford G.T. (1987). Effect of lung volume on breath holding. *Journal of Applied Physiology*, 62(5) 1962-1969.
104. Whitelaw W.A., McBride B., Amar J & Corbet K. (1981). Respiratory neuromuscular output during breath holding. *Journal of Applied Physiology*, 50(2) 435-443
105. Craig A.B. (1961). Causes of loss of consciousness during underwater swimming. *Journal of Applied Physiology*, 16, 583-586
106. Craig A.B. & Ware D. (1967). Effect of immersion in water on vital capacity and residual volume of the lung. *Journal of Applied Physiology*, 23(4), 423-425.

107. Ivancev V, Palada I, Valic Z, Obad A, Bacovic D, Dietz N, Joyner M, Dujic Z, (2007) Cerebrovascular reactivity to hypercapnia is unimpaired in breath -hold divers. *J Physiol*, 582(2):723-730.
108. Richardson M, & Brujin R. (2009) Hypoxia augments apnea – induced increase in hemoglobin concentration and hematocrit. *Eur J Appl Physiol*, 105:63-68.
109. Overgaard K, Friis S, Pedersen R, Lykkeboe G. (2006) Influence of lung volume, glossopharyngeal inhalation and PET O₂ and PET CO₂ on apnea performance in trained breath hold divers. *Eur J Appl Physiol*, 97:158-164.
118. Loebbecke, A. von, Mittal, R., Fish, F., & Mark, R. (2009). A comparison of the kinematic of the dolphin kick in humans and cetaceans. *Human Movement Science*, 28(1), 99–112.
119. Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M. J., Poulos, N., & Bourdon, P. (2010). Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 109(5), 869–878. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1422-x>