



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΦΥΣΙΚΗ ΑΓΩΓΗ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ»

**«ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΚΟΠΩΣΗ ΜΕ ΤΡΕΞΙΜΟ ΣΕ ΒΑΘΥ
ΝΕΡΟ ΣΕ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ »**

Ιωάννα Κίττα

Μεταπτυχιακή Διατριβή
ΠΕΔΙΟ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΠΡΟΠΟΝΗΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΕΙΔΙΚΗ ΠΡΟΠΟΝΗΤΙΚΗ ΥΓΡΟΥ ΣΤΙΒΟΥ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2016

© Copyright

Κίττα Ιωάννα

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

Μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής

Σουλτανάκη Ελένη
(Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Κολύμβησης)
Επιβλέπουσα

Βογιατζής Ιωάννης
(Αναπληρωτής Καθηγητής Ιστιοπλοίας)

Μπογδάνης Γρηγόρης
(Επίκουρος Καθηγητής Αθλητικών Αλμάτων)

Έκφραση Ευχαριστιών

Έχοντας ολοκληρώσει τη Μεταπτυχιακή μου Διατριβή, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, να φέρω εις πέρας αυτή τη προσπάθεια.

Ευχαριστώ τους φοιτητές ΣΕΦΑΑ για τη συμμετοχή τους στην έρευνα και την άψογη συνεργασία τους, την Φατούρου Σταυρούλα και Λαμπαδάρη Βασιλική, μεταπτυχιακές φοιτήτριες στον τομέα υγρού στίβου και τον Μαυρόπουλο Άρη, διδακτορικό φοιτητή, για την βοήθειά τους, χωρίς την οποία δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί η έρευνα.

Ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής τους κ. Βογιατζή Ιωάννη, Μπογδάνη Γρηγόρη και ειδικότερα την επιβλέπουσά μου κα Σουλτανάκη Ελένη, για τις πολύτιμες συμβουλές, την υπομονή και την καθοδήγησή τους στο δύσκολο αυτό έργο.

Ευχαριστώ κι αυτούς που συμμετείχαν σιωπηρά, δείχνοντας υπομονή και κατανόηση, για τον πολύτιμο χρόνο που τους «έκλεβα».

ΚΑΡΔΙΟΑΓΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΚΟΠΩΣΗ ΜΕ ΤΡΕΞΙΜΟ ΣΕ ΒΑΘΥ ΝΕΡΟ ΣΕ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Ιωάννα Κίττα

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Επιστημών Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, Τομέας Υγρού Στίβου.

Περίληψη

Η άσκηση σε κάθετη θέση σε βαθύ νερό (χωρίς δηλαδή να υπάρχει επαφή με τον πυθμένα) αποτελεί μία σύγχρονη μέθοδο βελτίωσης των συνισταμένων της φυσικής κατάστασης σε ένα περιβάλλον με μειωμένη βαρύτητα, εκμεταλλευόμενη όλων των ιδιοτήτων του νερού, όπως η άνωση, η πυκνότητα, η υδροστατική πίεση (Benelli, P. et al., 2004; Cassady et al., 1992). Απευθύνεται σε όλους τους ανθρώπους ανεξαρτήτου ηλικίας, φύλου και επιπέδου φυσικής κατάστασης. Λόγω της άνωσης και της πυκνότητας του νερού, παρέχει περισσότερες και εναλλακτικές μορφές άσκησης σε άτομα που δυσκολεύονται να κινηθούν έξω από το αυτό (Cable, 2000). Ανάλογα με το στόχο του προγράμματος η άσκηση σε βαθύ νερό μπορεί να μεγιστοποιήσει όλους τους βιολογικούς μηχανισμούς, να χρησιμοποιηθεί σαν προπονητικό εργαλείο για αθλητές όλων των αθλημάτων (Robinson et al., 2004).

Η βύθιση στο νερό σε διαφορετικά βάθη προκαλεί διαφορετικές αποκρίσεις και μεταβολή των βιολογικών λειτουργιών του ανθρώπου. Αυτές οι μεταβολές διαφοροποιούνται ανάλογα με τη θερμοκρασία της βύθισης αλλά και τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης. Έως σήμερα οι μελέτες που αφορούν συγκρίσεις φυσιολογικών αποκρίσεων με άσκηση στο νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες έχουν γίνει μόνο σε συνθήκες ρηχών νερών ή συγκριτικά με άσκηση έξω από το νερό (Taylor et al., 1955; McArdle, 1976; Pymay et al., 1977; Avellini et al., 1983; Gleim & Nicholas, 1989; Choukroune & Varene, 1990; Napoletan & Hicks, 1995; Hall et al., 1998; Shimizu et al., 1998; Park et al., 1999; Fujishima & Shimizu, 2003). Σκοπός της παρούσης έρευνας είναι να διερευνήσει, αν ένα τεστ κλιμακούμενης έντασης έως εξάντλησης, σε ζεστή θερμοκρασία κάτω της θερμό-ουδέτερης ζώνης (31°C), θα διαφοροποιήσει τις καρδιαγγειακές αποκρίσεις, την αντιλαμβανόμενη κόπωση αλλά και τον χρόνο εξάντλησης, σε σχέση με μία δροσερή θερμοκρασία (25°C). Η παρούσα έρευνα αποτελεί μέρος μίας από σειρά ερευνών για τον καθορισμό της ασφαλούς θερμό-ουδέτερης θερμοκρασίας άσκησης στο νερό, σε αναφορά με την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης.

Στην έρευνα συμμετείχαν 9 άρρενες αθλητές (N=9), ηλικίας 18-27 ετών. Συμμετείχαν σε δύο διαφορετικές δοκιμασίες κλιμακούμενης έντασης άσκησης μέχρι εξάντλησης με τρέξιμο σε βαθύ νερό (TBN), σε 2 διαφορετικές θερμοκρασίες νερού, 24°C και 31°C, με τη μέθοδο της ισοσταθμισμένης σειράς (Cross-over design). Οι μετρήσεις περιλάμβαναν μετρήσεις: των φυσικών χαρακτηριστικών, της καρδιακής συχνότητας και της αντιλαμβανόμενης κόπωσης κατά την διάρκεια της άσκησης, και των επιπέδων του γαλακτικού, της γλυκόζης, της αρτηριακής πίεσης, και της θερμοκρασίας σώματος πριν και μετά την

άσκηση. Η στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει: α) περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των δοκιμαζομένων (mean±SD) β) σύγκριση ανάμεσα στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες για τις καρδιακές συχνότητες και την αντιλαμβανόμενη κόπωση με two-way Anova για εξαρτημένα δείγματα και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (mean±SE) γ) post hoc ανάλυση με Bonferroni test και δ) πολλαπλές δοκιμασίες ελέγχου t για εξαρτημένα δείγματα (paired t-test) όπου εντοπίστηκαν διαφορές ε) συσχέτιση με τον συντελεστή Pearson (r) μεταξύ ΚΣ και RPE. Οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με το πρόγραμμα SPSS 22.0, τα σχήματα με το πρόγραμμα PRISM και το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0.05$. Τα αποτελέσματα έδειξαν: α) σημαντική μείωση στη συνολική διάρκεια εθελούσιας άσκησης έως εξάντλησης στους 31°C ($p=0.036$), β) πρόωμη εμφάνιση της ανώτατης καρδιακής συχνότητας στους 31°C ($p=0.043$), γ) υψηλότερη συστολική πίεση μετά από την άσκηση στους 31°C ($p=0.008$), δ) υψηλότερα επίπεδα γαλακτικού μετά από την άσκηση στους 24°C ($p=0.002$) και στους 31°C ($p=0.000$) ε) χαμηλότερη θερμοκρασία σώματος μετά από την άσκηση στους 24°C ($p=0.001$). Οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης δεν παρουσίασαν στατιστική σημαντικότητα μεταξύ των δύο θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της άσκησης. Τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην ηρεμία και την κλιμακούμενη άσκηση στις δύο θερμοκρασίες νερού.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υποδεικνύουν μία επιτάχυνση των καρδιοαγγειακών αποκρίσεων και γρηγορότερη εμφάνιση της κόπωσης σε μία θερμοκρασία 31°C , που έως και σήμερα θεωρείται ευρέως αποδεκτή για αγώνες ανοιχτής θάλασσας ή/και αποκατάστασης με άσκηση στο νερό. Πρόσφατα δεδομένα δείχνουν όμως ότι αυτό μπορεί να καταστεί επικίνδυνο, σε υψηλής έντασης ή/και παρατεταμένης άσκησης στο νερό. Αυτό συμβαίνει λόγω των διαφορετικών θερμορυθμιστικών παραγόντων που λαμβάνουν χώρα, με την άσκηση σε θερμότερα νερά, και ειδικότερα την αδυναμία της εξάτμισης σαν μέσω αποβολής της θερμότητας. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διασαφηνίσει την επίπτωση της έντασης και διάρκειας του ασκησιογόνου ερεθίσματος μέσα σε θερμά νερά, έτσι ώστε να καθορισθεί το ασφαλές εύρος θερμοκρασιών άσκησης στο νερό, έναντι μιας επιταχυνόμενης υπερθερμίας.

Λέξεις κλειδιά: βύθιση στο νερό, άσκηση στο βαθύ νερό, καρδιοαγγειακές αποκρίσεις, θερμοκρασία νερού, θερμό νερό, αντιλαμβανόμενη κόπωση.

CARDIOVASCULAR AND METABOLIC RESPONSES AND PERCEIVED EXERTION (RPE) IN DEEP WATER RUNNING , IN TWO DIFFERENT WATER TEMPERATURES

Ioanna Kitta, Kapodistrian University of Athens, Faculty of Physical Education & Sport Sciences , Department of Aquatic Sport

Abstract

Exercise in deep water in vertical position (without contact with the bottom) is a modern method of improving the components of fitness in an environment with reduced gravity, exploiting the water properties such as buoyancy, density, hydrostatic pressure (Benelli, P. et al., 2004; Cassady et al., 1992). It addresses to all kind of people regardless their age, sex or physical fitness. Because of its density and buoyancy, water provides more and alternative ways of exercise to people who find it difficult to move out of it (Cable, 2000). Depending on the objective of the program, exercise in deep water can maximize all biological mechanisms, to be used as a training tool for all kinds of sports (Robinson et al., 2004).

Immersion in water in different depths causes different responses and change in biological functions in humans. These changes vary depending on the water temperature during immersion and the duration and intensity of exercise. Till today, studies that compare physiological responses with exercise in water in different temperatures are for shallow water only or comparing with exercise on land (Taylor et al., 1955; McArdle, 1976; Prynay et al., 1977; Avellini et al., 1983; Gleim & Nicholas, 1989; Choukroune & Varena, 1990; Napoletan & Hicks, 1995; Hall et al., 1998; Shimizu et al., 1998; Park et al., 1999; Fujishima & Shimizu, 2003). The purpose of the present study is to find, if a graded intensity test to volitional exhaustion in hot water below thermo neutral temperature (31°C), will differentiate the cardiovascular responses, the perceived exertion and the time to exhaustion, compared with a cooler temperature (24°C). The present research is a part of a research series so as a safe thermo neutral temperature of exercise in water can be defined in reference to exercise duration and intensity.

In this research 9 male athletes participated (N=9), aged 18-27 years. They participated in two different and of graded intensity tests to volitional exhaustion in deep water running (DWR), in two different water temperatures 24°C and 31°C, in a cross over design. The measurements were for physical characteristics, heart rate and perceived exertion during exercise, blood lactate and glucose, blood pressure and body temperature, before and after exercise. The statistical analysis includes: 1) descriptive statistics (mean±SD) 2) Two-way Anova for repeated measures for HR and RPE (mean±SE) 3) post hoc analysis Bonferroni test 4) paired t-test and 4) Pearson correlation (r) between HR and RPE. The statistical analysis was carried away with SPSS 22.0 and figures with PRISM program and p<0.05. The results showed: a) significant reduction in total exercise time to volitional exhaustion in 31°C (p=0.036) b) early onset of peak heart rate in 31°C (p=0.043) c) higher systolic pressure after exercise in 31°C (p=0.008) d) higher blood lactate levels after exercise in 24°C (p=0.002) and in 31°C (p=0.000) e)

lower body temperature after exercise in 24°C ($p=0.001$). There was no significance for the RPE values between exercises in two temperatures. Blood glucose levels didn't show any statistical significance between rest and graded exercise in two water temperatures. The results of the present research indicate an acceleration in cardiovascular responses and a faster appearance of fatigue in 31°C, which is accepted till today for open water races or/and rehabilitation with exercise in water. Recent data show that this can be dangerous for high intensity or/and prolonged exercise in water. This is because of the different thermoregulation factors that take place with exercise in warmer water and especially of the inability to sweat as a means of heat dissipation. Further research is required to clarify the effect of exercise intensity and duration in hot water, in order to define the safe range of exercise temperature in water against an accelerating hyperthermia.

Key words: water immersion, deep water exercise, cardiovascular responses, water temperature, hot water, perceived exertion.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρακτικό της Εξεταστικής Επιτροπής για την κρίση της μεταπτυχιακής διατριβής	iv
Έκφραση Ευχαριστιών.....	v
Περίληψη στην ελληνική γλώσσα	vi
Περίληψη στην αγγλική γλώσσα (Abstract)	viii
Πίνακας Περιεχομένων	x
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Ορισμός του προβλήματος	3
1.2. Σημασία της έρευνας.....	3
1.3. Σκοπός της έρευνας.....	3
1.4. Μεταβλητές.....	3
1.4.1. Ανεξάρτητες μεταβλητές	3
1.4.2. Εξαρτημένες μεταβλητές	4
1.5. Ερευνητικά ερωτήματα και Υποθέσεις	4
1.5.1. Ερευνητικές υποθέσεις.....	4
1.5.2. Μηδενικές υποθέσεις	4
1.6. Οριοθετήσεις και περιορισμοί της έρευνας.....	4
1.7. Διευκρίνιση όρων	5
II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	6
2.1. Ιδιότητες του νερού	6
2.1.1. Η άνωση	6
2.1.2. Η υδροστατική πίεση	6
2.1.3. Η πυκνότητα	7
2.1.4. Η θερμοκρασία.....	7
2.2. Θερμορύθμιση.....	8
2.2.1. Γενικά.....	8
2.2.2. Φυσιολογικές αποκρίσεις στην ξηρά	10

2.2.3. Φυσιολογικές αποκρίσεις κατά την άσκηση στην ξηρά	10
2.2.4. Αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά την άσκηση στην ξηρά	12
2.3. Θερμορύθμιση στο νερό.....	12
2.3.1. Γενικά.....	12
2.3.2. Φυσιολογικές αποκρίσεις χωρίς άσκηση στο κρύο νερό.....	13
2.3.3. Φυσιολογικές αποκρίσεις χωρίς άσκηση στο ζεστό νερό.....	14
2.3.4. Φυσιολογικές και συγκριτικές αποκρίσεις με άσκηση σε νερό σε θερμοκρασίες από 17°C έως 40°C	15
2.3.5. Φυσιολογικές αποκρίσεις κατά το βάδισμα/τρέξιμο στο νερό	18
2.3.6. Συγκριτικές μελέτες φυσιολογικών επιδράσεων μεταξύ τρεξίματος στο έδαφος, σε ρηχό και σε βαθύ νερό	18
2.3.7. Τρέξιμο σε βαθύ νερό	19
2.3.8. Βύθιση στο νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες	21
2.3.9. Άσκηση σε ρηχό νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες.....	22
2.3.10. Αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά την άσκηση σε ρηχό νερό	24
2.3.11. Μεταβολικές αποκρίσεις γαλακτικού και γλυκόζης	26
III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	28
3.1. Δοκιμαζόμενοι.....	28
3.2. Όργανα μέτρησης	28
3.2.1. Ανθρωπομετρήσεις	28
3.2.2. Μέτρηση καρδιακής συχνότητας	29
3.2.3. Μέτρηση γαλακτικού, γλυκόζης και θερμοκρασίας σώματος.....	29
3.2.4. Μέτρηση πίεσης	30
3.2.5. Συντήρηση ηλεκτρονικών οργάνων	30
3.2.6. Μέτρηση αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE)	30
3.2.7. Ζώνη επίπλευσης.....	30
3.2.8. Μετρονόμος	30
3.2.9. Χρονόμετρο.....	31
3.2.10. Βαράκια.....	31
3.3. Περιγραφή των δοκιμασιών	31

3.3.1. Κλιμακούμενη άσκηση μέχρι εξάντλησης.....	33
3.3.2. Πρωτόκολλο επιβάρυνσης	33
3.4. Στατιστική ανάλυση	34
IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
4.1. Φυσικά χαρακτηριστικά δοκιμαζόμενων	35
4.2. Καρδιακή Συχνότητα	38
4.3. Αντιλαμβανόμενη κόπωση.....	40
4.4. Συνολικός χρόνος άσκησης και στάδιο εμφάνισης ανώτατης καρδιακής συχνότητας	43
4.5. Επίπεδα γαλακτικού και γλυκόζης στο αίμα.....	44
4.6. Αρτηριακή πίεση.....	44
V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	45
5.1. Καρδιοαγγειακές αποκρίσεις κατά το τρέξιμο σε βαθύ νερό σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες.....	45
5.2. Θερμορρυθμιστικοί παράγοντες στην άσκηση σε κρύο νερό, δροσερό, χλιαρό και θερμό νερό	46
5.3. Θερμικό στρες και καρδιοαγγειακές προσαρμογές κατά την άσκηση σε θερμό νερό	47
5.4. Η επίδραση του τύπου και της διάρκειας της άσκησης σε ζεστό νερό	48
5.5. Κλιμακούμενη άσκηση στο νερό	49
5.6. Αντιλαμβανόμενη κόπωση	49
5.7. Μεταβολικές αποκρίσεις	51
5.8. Αρτηριακή πίεση.....	51
5.9. Θερμοκρασία σώματος	52
VI. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	54
VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55
VIII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	64

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το τρέξιμο στο βαθύ νερό αποτελεί μία σύγχρονη μέθοδο βελτίωσης των συνισταμένων της φυσικής κατάστασης σε ένα περιβάλλον με μειωμένη βαρύτητα, εκμεταλλευόμενη όλων των ιδιοτήτων του νερού, όπως είναι η άνωση, η πυκνότητα, η υδροστατική πίεση (Benelli, P. et al., 2004; Cassady et al., 1992). Λόγω της έλλειψης επαφής με τον πυθμένα, η άσκηση με τρέξιμο σε βαθύ νερό παρέχει περισσότερες και εναλλακτικές μορφές άσκησης σε άτομα που η άσκηση στο έδαφος ή με πρόσκρουση στον πυθμένα της ρηχής πισίνας θα ήταν είτε επώδυνη είτε αδύνατη λόγω τραυματισμού ή αναπηρίας (Cable, 2000). Στα άτομα αυτά όλη η στήριξη ή/και η προώθηση στο νερό παρέχεται από την πυκνότητα και το ιξώδες του νερού ανώδυνα και χωρίς κίνδυνο τραυματισμού (Evans et al., 1978). Ανάλογα με το στόχο του προγράμματος το τρέξιμο σε βαθύ νερό μπορεί να μεγιστοποιήσει όλους τους βιολογικούς μηχανισμούς, να χρησιμοποιηθεί σαν προπονητικό εργαλείο για αθλητές όλων των αθλημάτων και σαν εναλλακτική μορφή άσκησης που ξεκουράζει τις αρθρώσεις (Robinson et al., 2004). Στους αθλητές μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ως ένα μέσο διατήρησης της αερόβιας και αναερόβιας ικανότητας τους σε περιόδους που ένας τραυματισμός των κάτω άκρων (ισχία, γόνατα, αστράγαλοι) ή των μυών των κάτω άκρων θα τους κρατούσε ανενεργούς, μειώνοντας σταδιακά τη φυσική τους κατάσταση (McArdle et al., 1986; Cureton, 1997; Reilly et al., 2003). Επίσης η βελτίωση τόσο της ευλυγισίας όσο και της δύναμης είναι αξιοσημείωτη. Όταν το τρέξιμο στο νερό συνδυάζεται με λειτουργικές και κολυμβητικές ασκήσεις και με χρήση των σταθερών σημείων των κολυμβητηρίων με ασκήσεις γύρω από την πισίνα, μπορεί να παρέχει μία πολύ δύσκολη και υψηλής έντασης διαλειμματική προπόνηση.

Η βύθιση στο νερό σε διαφορετικά βάθη προκαλεί διαφορετικές αποκρίσεις και μεταβολή των βιολογικών λειτουργιών του ανθρώπου. Μία απλή βύθιση σε κρύο, θερμο-ουδέτερο ή και θερμό νερό μπορεί να παρουσιάσει μεγάλη διαφορά στις αποκρίσεις. Μια αλλαγή που παρατηρείται είναι η ανακατανομή των υγρών, περιφερική αγγειοσυστολή, αύξηση του καρδιακού όγκου κατά 35%, αύξηση της πίεσης και της αντιλαμβανόμενης κόπωσης και μείωση της καρδιακής συχνότητας από 3 έως 17 παλμούς το λεπτό, λόγω της αναδιανομής του αίματος προς το κέντρο, μετά από μείωση της περιφερικής ροής του αίματος (Risch, Koubenec, Gauer, & Lange, 1978; Weston, O'Hare, Evans, & Corral, 1987). Το αναπνευστικό έργο αυξάνεται κατά 60% καθώς και ο αερισμός λόγω της υδροστατικής πίεσης του νερού ((Becker, 2004; Meredith-Jones et al., 2011). Αντίθετα, ο όγκος των πνευμόνων και η ζωτική χωρητικότητα μειώνονται με την πίεση του διαφράγματος, προκαλώντας μείωση κατά 10% της κοιλότητας (Agostini, Gutner, Torri, & Rahn, 1966; Chu & Rhodes, 2001).

Επειδή αυτές οι μεταβολές διαφοροποιούνται ανάλογα με τη θερμοκρασία της βύθισης αλλά και τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης, τα τελευταία χρόνια υπάρχει ένα μεγάλο ενδιαφέρον στο να διερευνηθεί ο τρόπος και το μέγεθος μεταβολής τους, κάτω από τον διαφορετικό συνδυασμό αυτών των επιρροών. Η έρευνα μέσα στο νερό, όσον αφορά στη θερμορύθμιση κατά τη διάρκεια της άσκησης σε διαφορετικές θερμοκρασίες νερού, είναι ελάχιστη και αναγκαία για

να επαναπροσδιοριστούν οι καρδιοαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις καθώς και η αντιλαμβανόμενη κόπωση που φαίνονται να επηρεάζονται άμεσα.

Οι μελέτες τα τελευταία 40 χρόνια είχαν εστιάσει στην επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην κολύμβηση και λιγότερες στις φυσιολογικές αποκρίσεις κατά την άσκηση κάθετα στο νερό υπό την επίδραση διαφορετικών θερμοκρασιών του νερού (Costill et al, 1967; Holmer & Bergh, 1974; McArdle et al, 1976; Weston et al, 1977).

Κάποιες έρευνες σε βαθιά νερά προηγήθηκαν και αφορούσαν στο τρέξιμο σε βαθύ νερό με τη χρήση γιλέκου επίπλευσης. Οι ερευνητές σύγκριναν 45 λεπτά τρέξιμο σε επιλεγμένο ρυθμό, σε βαθύ νερό και σε δαπεδοεργόμετρο, σε 28°C και βρήκαν τιμές καρδιακής συχνότητας μικρότερες στο τρέξιμο στο νερό (122 έναντι 157 παλμούς ανά λεπτό), αντιλαμβανόμενη κόπωση χωρίς διαφορά (11.7 έναντι 12.4). Ο αερισμός στο τρέξιμο στο διάδρομο ήταν μεγαλύτερος (79.1 έναντι 58.1 L.min) από το τρέξιμο στο νερό και η πρόσληψη οξυγόνου επίσης μεγαλύτερη (2.68 έναντι 1.97 L.min) (Bishop, 1989). Οι Ritchie et al. (1991) σύγκριναν το τρέξιμο σε βαθύ νερό με τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο τριάντα λεπτών σε έντονο ρυθμό και με τρέξιμο στην ύπαιθρο, σε ρυθμό απλής προπόνησης. Βρέθηκε ότι η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, το αναπνευστικό πηλίκιο και η αντιλαμβανόμενη κόπωση ήταν παρόμοιες στο τρέξιμο στο νερό με το τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο. Η καρδιακή συχνότητα στο νερό βρέθηκε να είναι παρόμοια με το τρέξιμο στην ύπαιθρο, αλλά μικρότερη από το τρέξιμο στο διάδρομο, που έγινε σε πιο έντονο ρυθμό. Οι Town et al. (1991) μέτρησαν τις μεταβολικές αποκρίσεις με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε ρηχό νερό και σε δαπεδοεργόμετρο. Οι τιμές της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και της καρδιακής συχνότητας ήταν υψηλότερες για το τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο. Στο ρηχό και στο βαθύ νερό η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ήταν 90.3% και 73.5% αντίστοιχα του δαπεδοεργόμετρου, ενώ η καρδιακή συχνότητα ήταν 88.6% και 86% αντίστοιχα σε σχέση με αυτή κατά την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο. Από τις ελάχιστες έρευνες που εμπλέκουν κλιμακούμενο τρέξιμο έως την εξάντληση σε βαθύ νερό είναι η έρευνα των Svedenhag & Seger (1992) και των Nakanishi et al. (1999), που όμως συγκρίνουν τις αποκρίσεις με έξω από το νερό, σε μία μόνο θερμοκρασία. Οι Svedenhag & Seger σύγκριναν τις καρδιοαγγειακές αποκρίσεις και την αντιλαμβανόμενη κόπωση με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε θερμοκρασία 25°C, σε σχέση με έξω από το νερό. Βρήκαν τιμές καρδιακής συχνότητας από 8 έως 11 παλμούς το λεπτό μικρότερες από την ξηρά, ανεξάρτητα της έντασης, ενώ η αντιλαμβανόμενη κόπωση και το γαλακτικό ήταν μεγαλύτερα κατά την άσκηση στο νερό, σε ισοδύναμο έργο. Στην έρευνα των Nakanishi et al. και σε θερμοκρασία νερού 32.5°C, έγιναν δύο μέγιστες δοκιμασίες για την αξιολόγηση των μεταβολικών απαιτήσεων, μία με τρέξιμο σε βαθύ νερό με χρήση γιλέκου και η άλλη στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος (Nakanishi et al., 1999). Κατά την άσκηση στο νερό οι τιμές της VO₂max βρέθηκαν να είναι χαμηλότερες κατά 20%, η ΚΣ ήταν 20 παλμούς ανά λεπτό χαμηλότερη και ο αερισμός και η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα ήταν σημαντικά μικρότερες. Μάλιστα η εξήγηση για τις χαμηλές τιμές φαίνεται να είναι η επίδραση της υδροστατικής πίεσης και οι διαφορετικές μυϊκές ομάδες που επιστρατεύονται για την εκτέλεση των δοκιμασιών. Οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης στα μέγιστα φορτία

δεν έδειξαν καμία διαφορά και στις δύο δοκιμασίες. Όμως, υπάρχει δυσκολία στην αντιστοιχία του φορτίου έξω με μέσα στο νερό, καθώς χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι αύξησης της αντίστασης.

1.1. Ορισμός του προβλήματος

Έως σήμερα οι μελέτες που αφορούν συγκρίσεις φυσιολογικών αποκρίσεων με άσκηση στο νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες έχουν γίνει μόνο σε συνθήκες ρηχών νερών ή συγκριτικά με άσκηση έξω από το νερό (Taylor et al., 1955; McArdle, 1976; Pymay et al., 1977; Avellini et al., 1983; Gleim & Nicholas, 1989; Choukroune & Varene, 1990; Napoletan & Hicks, 1995; Hall et al., 1998; Shimizu et al., 1998; Park et al., 1999; Fujishima & Shimizu, 2003). Με βάση την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, έως σήμερα δεν έχει βρεθεί έρευνα που να συγκρίνει τις καρδιαγγειακές αποκρίσεις και την αντιλαμβανόμενη κόπωση με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Άρα, το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο ένα ερέθισμα ίδιας έντασης άσκησης σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον οργανισμό με διαφορετικό τρόπο, όσον αφορά στην καρδιαγγειακή και μεταβολική λειτουργία αλλά και την αντιλαμβανόμενη κόπωση. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό ερώτημα για την οριοθέτηση των αποκρίσεων ανάλογα με τη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας.

1.2 Η Σημασία της Έρευνας

Η σημαντικότητα της παρούσας έρευνας έγκειται στο ότι υπάρχουν σαφή δεδομένα όπου η έντονη ή/και παρατεταμένη άσκηση σε θερμο-ουδέτερες θερμοκρασίες νερού, για τις οποίες μέχρι σήμερα δεν υπήρχε καμία αντένδειξη, μπορεί να αποδειχθούν απειλητικές έως και πολύ επικίνδυνες. Η θερμο-ουδέτερη θερμοκρασία νερού σε ακινησία δεν αποτελεί ασφαλή κλίμακα, ιδιαίτερα κατά την άσκηση σε θερμότερες θερμοκρασίες, όπου η ικανότητα συσσώρευσης θερμότητας είναι ταχύτερη.

1.3. Ο Σκοπός της έρευνας

Ο βραχύχρονος σκοπός της παρούσης έρευνας είναι να διερευνήσει αν, ένα τεστ κλιμακούμενης έντασης έως εξάντλησης, σε θερμοκρασία εντός της θερμο-ουδέτερης ζώνης (31°C), θα διαφοροποιήσει τις καρδιαγγειακές αποκρίσεις, την αντιλαμβανόμενη κόπωση αλλά και τον χρόνο εξάντλησης, σε σχέση με μικρότερη θερμοκρασία. Αποτελεί η παρούσα έρευνα μία από σειρά ερευνών για τον επαναπροσδιορισμό της θερμο-ουδέτερης θερμοκρασίας σε σχέση με την κλιμακούμενη και παρατεταμένη άσκηση στο νερό. Ο μακρόχρονος ερευνητικός στόχος είναι να βρεθεί η θερμοκρασία πάνω και κάτω της οποίας δεν διαφοροποιούνται οι αποκρίσεις της καρδιακής συχνότητας και της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, στην κλιμακούμενη αλλά και την παρατεταμένη άσκηση σε θερμοκρασίες νερού 24°C μέχρι 31°C.

1.4. Μεταβλητές

1.4.1. Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η άσκηση σε βαθύ νερό σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες (31°C έναντι 24°C).

1.4.2. Εξαρτημένες Μεταβλητές

Οι εξαρτημένες μεταβλητές είναι η καρδιακή συχνότητα, ο βαθμός αντιλαμβανόμενης κόπωσης, τα επίπεδα γαλακτικού και γλυκόζης στο αίμα, η αρτηριακή πίεση και η θερμοκρασία του σώματος.

1.5. Υποθέσεις

1.5.1. Ερευνητικά ερωτήματα και Υποθέσεις

- 1) Δημιουργεί το ζεστό νερό ένα μεγαλύτερο φορτίο όσον αφορά στις καρδιαγγειακές αποκρίσεις;
- 2) Μειώνεται η αντοχή του αθλητή όταν ασκείται σε θερμότερο νερό;
- 3) Διαφοροποιείται ο χρόνος επίτευξης της ανώτατης καρδιακής συχνότητας όταν ασκείται σε ζεστό νερό;
- 4) Το καρδιαγγειακό φορτίο είναι ίδιο σε κάθε στάδιο στο ζεστό και κρύο νερό;

1.5.2. Μηδενικές Υποθέσεις

- 1) Δεν θα υπάρξει διαφορά στις αποκρίσεις της ΚΣ κατά τη διάρκεια των διαφορετικών επιπέδων έντασης τρεξίματος στο βαθύ νερό, μεταξύ των δύο θερμοκρασιών
- 2) Δεν θα υπάρξει διαφορά στις μεταβολικές αποκρίσεις του γαλακτικού, πριν και μετά την άσκηση, μεταξύ των δύο θερμοκρασιών
- 3) Δεν θα υπάρξει διαφορά στην αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά τη διάρκεια των διαφορετικών επιπέδων έντασης τρεξίματος στο βαθύ νερό και μετά την άσκηση, μεταξύ των δύο θερμοκρασιών
- 4) Δεν θα υπάρξει διαφορά στη διάρκεια της άσκησης έως εξάντλησης με τρέξιμο σε βαθύ νερό, μεταξύ των δύο θερμοκρασιών.
- 5) Δεν θα υπάρξει διαφορά στην αρτηριακή πίεση και τη θερμοκρασία σώματος πριν και μετά το τρέξιμο σε βαθύ νερό, μεταξύ των δύο θερμοκρασιών.

1.6. Οριοθετήσεις - Περιορισμοί Έρευνας

Οι δοκιμαζόμενοι που θα συμμετέχουν στην έρευνα:

1. θα δώσουν γραπτή συγκατάθεση για την συμμετοχή τους πριν τη διεξαγωγή της έρευνας αυτής
2. θα είναι ενεργοί αθλητές υψηλού επιπέδου ηλικίας 18-27 ετών
3. Θα έχουν παρόμοια κατανομή λίπους στο σώμα και μέσα στα φυσιολογικά όρια
4. θα πρέπει να είναι υγιείς, να μην καπνίζουν να μην πάσχουν από καμία ασθένεια ή αϋπνία
5. Η δοκιμασία θα γίνει σε βαθύ νερό, σε 24°C και 31°C, με ζώνη στήριξης
6. Η άσκηση θα είναι προοδευτικής αυξανόμενης έντασης και φορτίου μέχρι εξάντλησης.

1.7. Διευκρίνιση όρων

Άσκηση σε ρηχά νερά: όταν υπάρχει επαφή με τον πυθμένα της πισίνας
Άσκηση σε βαθιά νερά: όταν δεν υπάρχει επαφή με τον πυθμένα της πισίνας
Beats/min: παλμοί ανά λεπτό
ΚΣ: καρδιακή συχνότητα
RPE: ratings of perceived exertion / αντιλαμβανόμενη κόπωση
La: γαλακτικό
Glu: γλυκόζη
VO₂max: μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου
VO₂peak: η μεγαλύτερη τιμή που πετυχαίνεται στην πρόσληψη οξυγόνου
Peak heart rate: ανώτατη καρδιακή συχνότητα

II. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Ιδιότητες του νερού

Η άνωση, η υδροστατική πίεση, η πυκνότητα και η θερμοκρασία του νερού είναι οι 4 ιδιότητες που το καθιστούν ιδανική μορφή άσκησης μέσα σε αυτό, καθώς κάθε μία από αυτές χωριστά ή κι όλες μαζί, συμβάλλουν στη βελτίωση των συνισταμένων της φυσικής κατάστασης.

2.1.1. Η άνωση

Η άνωση είναι η δύναμη που ασκούν όλα τα ρευστά πάνω σε υλικά σώματα που βρίσκονται μέσα σε αυτά. Η δύναμη αυτή έχει κατεύθυνση κατακόρυφη και φορά προς τα πάνω και είναι ίση με το βάρος του ρευστού που εκτοπίζεται ή με το μέρος του σώματος που είναι μέσα σε αυτό. Είναι αντίθετη στη βαρύτητα και είναι υπεύθυνη για την μειωμένη βαρύτητα και την αίσθηση της ελαφρότητας μέσα στο νερό, καθώς η ελάττωση του σωματικού βάρους κατά τη βύθιση σε βαθύ νερό μέχρι το λαιμό ανέρχεται στο 90%, με μετατόπιση του κέντρου βάρους από την περιοχή των ισχίων σε αυτή του θώρακα (Alberton et al., 2011; Killgore, 2012). Το ειδικό βάρος του σώματος 0.98 είναι μικρότερο από αυτό του νερού που είναι 1.00, σε συνδυασμό με την άνωση και την πυκνότητα του νερού, που είναι 1000 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα, επιτρέπει στο σώμα να επιπλέει και να στηρίζεται, κάνοντας την άσκηση ευκολότερη, μειώνοντας την πίεση στις αρθρώσεις και την πιθανότητα τραυματισμού. Επειδή η άνωση ασκεί ανοδική δύναμη, όταν κινούμαστε προς την επιφάνεια μας βοηθά στην κίνηση μας, όταν κινούμαστε προς τα κάτω μας αντιστέκεται κι όταν κινούμαστε οριζόντια, έχει υποστηρικτική δράση, καθώς αυτή η κίνηση είναι κάθετη στην πλευστότητα. Η άνωση που δέχεται το κάθε σώμα εξαρτάται άμεσα από την σύσταση των ιστών του σώματος και μπορεί να αλλάξει, αν αλλάξει το βάρος και/ή ο όγκος του.

2.1.2 Η υδροστατική πίεση

Η υδροστατική πίεση (P) είναι η πίεση που ασκείται από το υγρό σε ένα σημείο του που βρίσκεται σε ένα βάθος και είναι το γινόμενο της πυκνότητας του υγρού (ρ), της επιτάχυνσης της βαρύτητας (g) και του βάθους από την επιφάνεια του υγρού (h) δηλ. $P = \rho \cdot g \cdot h$. Όσο μεγαλύτερη η βύθιση στο υγρό, τόσο μεγαλύτερη και η πίεση που ασκείται σε αυτό. Ένα άτομο βυθισμένο σε 10μ. βάθος δέχεται πίεση 1 ατμόσφαιρας, δηλαδή ίση πίεση με αυτή που θα δεχόταν στην επιφάνεια της θάλασσας που αντιστοιχεί σε 80 mmHg, κάτι περισσότερο από την διαστολική πίεση (Wilcock et al., 2006). Η υδροστατική πίεση πνέζει τα τοιχώματα του σώματος ισομερώς, επιτρέποντας μια καλύτερη φλεβική επιστροφή αίματος και καλύτερη κυκλοφορία, μια μείωση της πίεσης και της ΚΣ κατά 10-15b/min σε σχέση με την άσκηση στην ξηρά, καλύτερη στήριξη αλλά και πίεση στη θωρακική κοιλότητα που προκαλεί αύξηση του αναπνευστικού φορτίου, βελτίωση του κυκλοφορικού και μείωση των οίδημάτων (De Maere & Ruby, 1997; Wilcock et al, 2006a).

2.1.3. Η πυκνότητα

Η πυκνότητα είναι μια φυσική ιδιότητα του νερού λόγω της οποίας, στην άσκηση με κάθετη βύθιση στο νερό αυξάνεται η μετωπική αντίσταση, επιτυγχάνοντας ισομερή δράση στους συναγωνιστές και ανταγωνιστές μύες και βελτιώνοντας την αντοχή και τη δύναμη του ασκούμενου. Είναι το πηλίκο της μάζας του υλικού προς τη μονάδα όγκου και συμβολίζεται με το kg/m^3 , δηλαδή, $\rho = \frac{m}{V}$. Η πυκνότητα του καθαρού νερού σε πίεση μίας ατμόσφαιρας και θερμοκρασία 4°C είναι 1g/ml και επηρεάζεται από την περιεκτικότητά του σε διαλυμένες ουσίες, όπως το αλάτι, το χλώριο αλλά και από τη θερμοκρασία του. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού έχει σαν συνέπεια την ελάττωση της πυκνότητας του νερού και την κατά συνέπεια μείωση της αντίστασης, κάνοντας πιο εύκολη την κίνηση σε αυτό (Kestin et al., 1978). Η πυκνότητα και το ιξώδες του νερού, δηλαδή η αντίσταση που παρουσιάζει το νερό κατά τη ροή του, κάνουν την αντίσταση μέσα σε αυτό, την οπισθέλκουσα δηλαδή δύναμη, μεγαλύτερη από την αντίσταση κατά την άσκηση στον αέρα (Dowzer et al., 1998). Το σώμα κατά την κίνησή του μέσα στο νερό αντιμετωπίζει τρία είδη αντίστασης: την αντίσταση του σχήματος, του κύματος και την τριβή. Όσο μεγαλύτερο είναι το σχήμα που κινείται, τόσο μεγαλύτερη η δύναμη της αντίστασης. Το μέγεθος της τριβής εξαρτάται από την επιφάνεια του σώματος που έρχεται σε επαφή με το νερό, το ιξώδες του νερού, τον συντελεστή τριβής του σώματος, τις τρίχες, το μαγιά και την ταχύτητα κολύμβησης (Torres-Ronda & Alcazar, 2014). Λόγω της ιδιότητας της πυκνότητας, η μετακίνηση μέσα στο νερό δέχεται 12 φορές μεγαλύτερη αντίσταση από αυτή στο έδαφος, η βάδιση 5 έως 6 φορές, ενώ το τρέξιμο μέσα στο νερό έχει 40 φορές μεγαλύτερη αντίσταση από αυτή στο έδαφος, λόγω του ιξώδους του νερού. Εξαιτίας της αντίστασης του νερού, η βάδιση στο νερό γίνεται με 27 βηματισμούς το λεπτό λιγότερους από την βάδιση στο έδαφος και η πρόσληψη οξυγόνου ανά βηματισμό είναι αυξημένη (Frangolias & Rhodes, 1995; Town & Bradley 1991).

2.1.4. Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού αλλά και η θερμοκρασία του δέρματος και του πυρήνα με τις διακυμάνσεις που παρουσιάζουν, ανάλογα την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης στο νερό, επηρεάζουν και διαφοροποιούν τις φυσιολογικές αποκρίσεις σε σχέση με μια απλή βύθιση στο νερό (Avellini, 1983; McArdle, 1976; Craig and Dvorak, 1968). Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει άμεσα τη θερμοκρασία του δέρματος και κατά συνέπεια αυτή του σώματος και θέτει σε εφαρμογή τους μηχανισμούς θερμορύθμισης, ώστε να μπορέσει να κρατηθεί σταθερή η θερμοκρασία του πυρήνα, άσχετα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (Vaile, Halson, & Graham, 2010; Wilcock, Cronin, & Hing, 2006). Κατά τη βύθιση στο νερό το σώμα προσαρμόζεται στη θερμοκρασία του νερού λόγω του ότι η ικανότητα να αποθηκεύει θερμότητα είναι μικρότερη από αυτή του νερού (0.83 vs. 1.00 kcal/kg-°C). Η απώλεια της θερμότητας προς το νερό είναι 4 φορές μεγαλύτερη από αυτή προς τον αέρα (*4.2 kJ/kg °C) vs (*1.0 kJ/kg °C) ενώ η θερμική αγωγιμότητά του νερού είναι $1.43 \times 10^{-3} \text{ cal}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$, δηλ περίπου 25 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα (Costill, Cahill, &

Eddy, 1967). Ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού χρησιμοποιούνται και διάφορες τεχνικές για άσκηση ή αποκατάσταση, όπως η βύθιση σε δροσερό ή κρύο νερό σε θερμοκρασία $\leq 20^{\circ}\text{C}$, βύθιση σε θερμό νερό $\geq 36^{\circ}\text{C}$ ή βύθιση σε θερμο-ουδέτερη θερμοκρασία νερού $33-35^{\circ}\text{C}$, θερμοκρασία κατάλληλη για βρεφική, παιδική άσκηση και άσκηση ηλικιωμένων και για ήπια θεραπευτική κολύμβηση. Θερμό-ουδέτερη θερμοκρασία για κολύμβηση θεωρείται σύμφωνα με τη FINA αυτή των $26\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Fina Handbook, 1994), καθώς επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση. Οι ITU (International Triathlon Union) και η IOC (International Olympic Committee) έχουν θέσει ως ανώτερη θερμοκρασία για την κολύμβηση ανοιχτής θαλάσσης τους 31°C (Tipton & Bradford, 2014).

2.2. Θερμορύθμιση

2.2.1. Γενικά

Ο άνθρωπος μπορεί να προσαρμοστεί ανατομικά, φυσιολογικά, βιοχημικά και ψυχολογικά, σε οποιαδήποτε αλλαγή του περιβάλλοντος. Η παραγωγή θερμότητας στο σώμα γίνεται από τον μεταβολισμό και με την λειτουργία της ομοιόστασης διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία πυρήνα, μεταξύ 36.1°C και 37.8°C , ανεξάρτητα από τις αλλαγές που γίνονται στο εξωτερικό περιβάλλον. Η θερμοκρασία του πυρήνα είναι $0.3^{\circ}\text{C}-0.5^{\circ}\text{C}$ υψηλότερη από αυτή του σώματος, που συνήθως μετριέται από το στόμα και κυμαίνεται από τους $36.5-37^{\circ}\text{C}$. Από τη χημική ενέργεια που παράγεται κατά τη μυϊκή ενέργεια, το 25% περίπου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια για την παραγωγή έργου, ενώ το 75% περίπου απελευθερώνεται στο περιβάλλον, με μορφή θερμότητας. Αν η παραγωγή θερμότητας υπερβαίνει την απώλειά της, τότε η θερμοκρασία του πυρήνα αυξάνεται και η θερμότητα από το εσωτερικό μεταφέρεται μέσω του αίματος στο δέρμα, από όπου και μεταφέρεται στο περιβάλλον με την αγωγή και μεταφορά, την ακτινοβολία και την εξάτμιση. Μέσω αγωγής, η μεταφορά θερμότητας γίνεται από το ένα υλικό στο άλλο ενώ με την μεταφορά, η θερμότητα μετακινείται από ένα σημείο σε ένα άλλο, με την κίνηση ενός υγρού ή αερίου (Kenney, Wilmore & Costill, 2015).

Η απώλεια θερμότητας ενός σώματος προς τον αέρα γίνεται συνήθως με εξάτμιση και ακτινοβολία (Mitchel et al., 1968). Με την ακτινοβολία χάνεται περίπου το 60% της υπερβολικής θερμότητας με τη μορφή υπέρυθρων ακτινών, ενώ αν τα αντικείμενα τριγύρω έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία από το δέρμα, τότε αυτή κερδίζεται από το σώμα, όπως στην περίπτωση της έκθεσης στον ήλιο. Με την εξάτμιση η απώλεια θερμότητας κατά την ηρεμία είναι 20% ενώ με την άσκηση μπορεί να φτάσει έως και 80%. Ο ρυθμός εφίδρωσης εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το ρουχισμό και την ένταση της άσκησης (Sawka et al., 2001). Με την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος αυξάνεται κι η παραγωγή ιδρώτα, ο οποίος εξατμίζεται όταν φτάσει στο δέρμα. Ο υποθάλαμος, που είναι ο θερμοστάτης του σώματος, είναι υπεύθυνος για την παραγωγή θερμότητας ή την επιτάχυνση της απώλειας αυτής, ελέγχοντας έτσι την θερμοκρασία του σώματος. Οι πληροφορίες για την θερμοκρασία του δέρματος και του περιβάλλοντος που φτάνουν σε αυτόν προέρχονται από τους περιφερικούς υποδοχείς στο δέρμα και οι πληροφορίες για την εσωτερική θερμοκρασία, από

τους κεντρικούς υποδοχείς του υποθαλάμου. Οι παθολογικές συνέπειες που εμφανίζονται όταν δεν λειτουργεί ο μηχανισμός της θερμορύθμισης είναι η θερμοπληξία και τα καρδιοαναπνευστικά προβλήματα στις υψηλές θερμοκρασίες (Wilmore & Costill, 2004). Θερμοπληξία επέρχεται όταν η θερμοκρασία του πυρήνα είναι πάνω από 40°C και το σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος, ο υποθάλαμος, δεν λειτουργεί. Κατά συνέπεια το σώμα δεν μπορεί να αποβάλλει την υπερβολική θερμοκρασία του και μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο από καρδιακή συγκοπή ή εγκεφαλικό οίδημα. Παράγοντες που συνάδουν στη θερμική επιβάρυνση είναι η αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος και υγρασίας, η έλλειψη ανέμων, η αυξημένης έντασης άσκηση και το αυξημένο ποσοστό λίπους στον οργανισμό (Macaluso et al., 2013). Κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον το κυκλοφορικό σύστημα επιφορτίζεται με τη μεταφορά της θερμότητας στο δέρμα για την αποβολή της στο περιβάλλον και η ροή του αίματος προς το δέρμα, το οποίο μπορεί να φτάσει το 60% της καρδιακής παροχής και τους λειτουργούντες μύες για τη μεταφορά οξυγόνου αυξάνεται, προκαλώντας μείωση της αιμάτωσης άλλων οργάνων (Rowell, 1974). Το καρδιαγγειακό σύστημα προσπαθεί να στείλει περισσότερο αίμα στο δέρμα, προκαλώντας αγγειοσυστολή, για τη μεταφορά περισσότερου θερμού αίματος, ενώ οι ασκούντες μύες δέχονται μειωμένη ποσότητα αίματος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντοχή. Δημιουργείται, έτσι, ένας ανταγωνισμός ανάμεσα στους ενεργούντες μύες και το δέρμα για την μεγαλύτερη παροχή αίματος (Kenney, Wilmore & Costille, 2015). Η εξάτμιση σε αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος παίζει σπουδαίο ρόλο για την αποβολή θερμότητας, ενώ η ακτινοβολία, η αγωγή και η μεταφορά μπορεί να οδηγήσουν σε αύξησή της. Ο υποθάλαμος ενεργοποιεί, μέσω των συμπαθητικών νευρικών ινών, τους ιδρωτοποιούς αδένες. Σε θερμό και υγρό περιβάλλον και έντονη άσκηση, το σώμα μπορεί να χάσει 1,5L – 2.0L ιδρώτα δηλ. 2,5%-3,2% του βάρους του σώματος ανά ώρα, περίπου 3% του συνολικού νερού στο σώμα και να προκαλέσει αφυδάτωση. Η αφυδάτωση αυτή, λόγω της σοβαρής μείωσης του όγκου αίματος, εμποδίζει την αερόβια απόδοση, μπορεί να προκαλέσει θερμικές κράμπες, εξάντληση και να οδηγήσει σε θερμοπληξία ή και θάνατο αν δεν αντιμετωπιστεί (Sawka et al., 2015; Nielsen et al., 1993).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που απειλούν την ομοιόσταση, προκαλώντας απώλεια θερμότητας είναι το ψύχος και το νερό. Όταν η θερμοκρασία του πυρήνα ανέβει ή πέσει από τους 37°C, τότε ο υποθάλαμος ενεργοποιεί μηχανισμούς που θα συμβάλλουν στη διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερή. Ο οργανισμός αντιδρά στην ψύξη με θερμογένεση, περιφερική αγγειοσύσπαση και τρόμο. Σε ακραίες συνθήκες ψύχους η ροή αίματος στο δέρμα μπορεί να είναι μηδενική (Rowell, 1974). Με τον τρόμο αυξάνεται η παραγωγή θερμότητας του σώματος έως και πέντε φορές, καθώς προκαλείται αύξηση στον ακούσιο κύκλο συστολής και χαλάρωσης των μυών ενώ στη θερμογένεση έχουμε αύξηση του μεταβολισμού από το κεντρικό νευρικό σύστημα. Στο ψύχος η απώλεια θερμότητας γίνεται και με τους τέσσερις μηχανισμούς, της ακτινοβολίας, της αγωγής, της μεταφοράς και της εφίδρωσης και μάλιστα σε πιο γρήγορο ρυθμό από την παραγωγή θερμότητας στο σώμα. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το ρυθμό απώλειας θερμότητας στο ψύχος είναι το υποδόριο λίπος, η σωματική σύσταση, το ψυχρό ρεύμα αέρα και η υγρασία.

2.2.2. Φυσιολογικές αποκρίσεις στην ξηρά

Μία απώλεια υγρών της τάξης του 2% σε άτομα που δεν κάνουν άσκηση σε θερμό περιβάλλον δεν φαίνεται να επηρεάζει την ΚΣ, τη θερμοκρασία πυρήνα, το ρυθμό εφίδρωσης και ροής του αίματος στο δέρμα. Μια απώλεια υγρών της τάξης του 3-6% αυξάνει την ΚΣ και τη θερμοκρασία πυρήνα, μειώνει το ρυθμό εφίδρωσης και αιμάτωσης περιφερειακά και συνδέεται με ανορεξία και πονοκέφαλο. Απώλεια υγρών 6-10% επιφέρει ίλιγγο, δύσπνοια και κυάνωση και σε ποσοστό 12% δεν θα μπορεί να καταπιεί, όπως γίνεται σε συνθήκες ερήμου (Sawka et al., 1984). Σε ηρεμία σε θερμό-ουδέτερη θερμοκρασία περιβάλλοντος 21-26°C το δέρμα δέχεται περίπου το 5-10% της καρδιακής παροχής, περίπου 350mL/min αίματος, για να μπορέσει να μεταφέρει την θερμότητα που έχει παραχθεί προς αποβολή στο περιβάλλον και να διατηρήσει έτσι σταθερή τη θερμοκρασία του πυρήνα (Rowel, 1974; Wilmore & Costill, 1994). Σε μια μείωση της θερμοκρασίας και έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον, το δέρμα μειώνει τη θερμοκρασία του με αγγειοσυστολή και μειωμένη ροή αίματος προς αυτό, με φλεβοσυστολή και μεταφορά του αίματος σε εσωτερικές φλέβες και στον πυρήνα (Rowell, 1986). Ωστόσο, μόνο όταν ο πυρήνας φτάσει στη φυσιολογική του θερμοκρασία και για να αποφευχθεί η καταστροφή ιστών από τις χαμηλές θερμοκρασίες, προκαλείται αγγειοδιαστολή και στέλνεται περισσότερο αίμα στην περιφέρεια (Lindblad et al., 1990). Οι μύες δέχονται μικρή ποσότητα αίματος, αρχίζει το ρίγος, που είναι ακούσια δραστηριοποίηση των σκελετικών μυών, με αύξηση του μεταβολικού ρυθμού 3 φορές περισσότερο από αυτόν στην ηρεμία, της πρόσληψης O₂ κατά 1L.min και μείωση του γλυκογόνου στο αίμα (Tikuisis et al., 1999). Η έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον οδηγεί σε αύξηση των κατεχολαμινών, της αδρεναλίνης και νοραδρεναλίνης, που με τη σειρά τους οδηγούν σε αύξηση του μεταβολισμού των λιπιδίων, που λόγω, όμως, της αγγειοσυστολής των αγγείων των υποδόριων ιστών, δεν αυξάνονται, σε αγγειοσυστολή των αγγείων του δέρματος και αύξηση της χρήσης γλυκογόνου και γλυκόζης. Η αφυδάτωση από την έκθεση σε ψυχρό περιβάλλον 2°-10°C δεν φαίνεται να επηρεάζει την αερόβια απόδοση (Kenefick et al., 2010; Cheuvront et al., 2005). Καθώς, όμως, η ψύξη επηρεάζει πρώτα το φλεβόκομβο, τον βηματοδότη της καρδιάς, μπορεί να οδηγήσει σε ανακοπή από υποθερμία.

2.2.3. Φυσιολογικές αποκρίσεις κατά την άσκηση στην ξηρά

Σε κρύο περιβάλλον και χαμηλής έντασης άσκηση παράγεται θερμότητα που δεν αρκεί να αντισταθμίσει την απώλεια αυτής. Επίσης, η πρόσληψη οξυγόνου σε υγρό περιβάλλον με αέρα είναι αυξημένη κατά 50%, γεγονός που οφείλεται στο τρέμουλο και το οποίο οδηγεί σε κάματο (Pugh, 1967; Toner & McArdle, 1988). Αν η θερμοκρασία οδηγεί σε χαμηλή αιμάτωση των μυών και η άσκηση γίνει με υψηλή ένταση τότε μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα (Galloway & Maughan, 1997). Η χαμηλή θερμοκρασία των μυών μπορεί να οδηγήσει σε επιστράτευση των μυϊκών ινών τύπου II, οι οποίοι χρειάζονται γλυκογόνο ως πηγή ενέργειας κι αυτό με τη σειρά του να οδηγήσει σε αύξηση του γαλακτικού κατά 140% (Rome et al., 1984; Weller et al, 1997). Ωστόσο, η άσκηση στο 70% της VO₂max δεν επηρεάζεται από τις ακραίες συνθήκες κρύου (Faulkner et al., 1981; Patton & Vogel, 1984).

Η καρδιακή συχνότητα κατά την εκτέλεση άσκησης επηρεάζεται από την θερμοκρασία και την υγρασία του περιβάλλοντος, ενώ όμως η μέγιστη καρδιακή συχνότητα δεν επηρεάζεται από διάφορες συνθήκες κατά τη μέγιστη μυϊκή προσπάθεια (Κλεισούρας, 1991). Ωστόσο, σε θερμό περιβάλλον η αύξηση της καρδιακής συχνότητας (ταχυκαρδία) συνοδεύεται από μείωση του όγκου παλμού, για να κρατηθεί η καρδιακή παροχή σταθερή. Η καρδιακή συχνότητα χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, αν λάβουμε υπόψη μας ότι η πρόσληψη οξυγόνου είναι το γινόμενο της καρδιακής παροχής επί την αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου. Η καρδιακή παροχή είναι το γινόμενο της καρδιακής συχνότητας επί του όγκου παλμού. Ο όγκος παλμού φτάνει στην ανώτατη τιμή του σε μια ένταση του 40% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Οποιαδήποτε αύξηση της καρδιακής παροχής σε προσπάθειες πάνω από 40% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου οφείλεται αποκλειστικά στην καρδιακή συχνότητα. Η πρόσληψη οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα αυξάνονται ανάλογα με την ένταση του έργου και η σχέση ανάμεσα στις δύο αυτές παραμέτρους είναι ευθύγραμμη.

Η άσκηση σε θερμό και υγρό περιβάλλον αυξάνει τη θερμοκρασία του δέρματος και τη θερμοκρασία πυρήνα, ανάλογα με τη αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και έχει άμεση επίδραση στις καρδιοαναπνευστικές αποκρίσεις. Έτσι, υπάρχει αυξημένη ανάγκη για ροή αίματος στο δέρμα ώστε να μπορέσει να αποβληθεί η θερμότητα, όπως επίσης και αυξημένη ανάγκη για αίμα προς τους ενεργούντες μύες, για να διατηρηθεί η αερόβια απόδοση. Η ανακατανομή αυτή του αίματος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του επιστρεφόμενου όγκου αίματος στην καρδιά και τη μείωση του όγκου παλμού, την προσπάθεια να διατηρηθεί σταθερή η πίεση, όπου για να κρατηθεί σταθερή η καρδιακή παροχή, αυξάνεται η καρδιακή συχνότητα (Nadel, 1984; Sawka et al., 2004). Μάλιστα, η καρδιακή συχνότητα μπορεί να φτάσει να είναι 36 παλμούς το λεπτό υψηλότερη κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον (34°C) (Dill, 1931). Η αυξημένη καρδιακή συχνότητα δεν καταφέρνει να αντισταθμίσει την μεγάλη μείωση του όγκου παλμού και η καρδιακή παροχή παραμένει μειωμένη (Nybo et al., 2014; Rowell et al., 1966). Η πρόσληψη οξυγόνου κι ο αερισμός αυξάνονται, όπως επίσης και η χρήση του γλυκογόνου και η παραγωγή γαλακτικού, τα οποία και οδηγούν στην κόπωση και την εξάντληση. Μειωμένη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου υπάρχει όταν αυξάνεται ταυτόχρονα και η θερμοκρασία του πυρήνα αλλά και η θερμοκρασία του δέρματος (Mortensen et al., 2005; Nybo & Secher, 2004). Εμφανίζεται τροποποιημένη μυϊκή λειτουργία και συγκέντρωση μεταβολιτών, που οδηγούν στην κόπωση (Montain et al., 1998b; Bruck & Olschewski, 1987). Η μεγάλη απώλεια ιδρώτα οδηγεί σε απώλεια ηλεκτρολυτών και αφυδάτωση, μείωση του όγκου πλάσματος για την παροχή υγρών για την εφίδρωση και αύξηση της οσμωτικής πίεσης του πλάσματος, καθώς ο ιδρώτας είναι υποτονικός σε σχέση με το πλάσμα (Sawka et al., 1985). Παρατηρείται, επίσης, μείωση του όγκου αίματος, με συνέπεια τη μείωση μεταφοράς οξυγόνου στους μύες και του αίματος στο δέρμα για την αποβολή της θερμότητας, απελευθέρωση αλδοστερόνης και αντιδιουρητικής ορμόνης, οδηγώντας σε κατακράτηση νατρίου και νερού (Convertino et al., 1980; Follenius et al., 1979; Kosunen et al., 1976).

2.2.4. Αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά την άσκηση στην ξηρά

Η αντιλαμβανόμενη κόπωση αυξάνεται, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη θερμική δυσανεξία και αντίληψη της προσπάθειας κι αλληλεπιδρά με άλλους ψυχολογικούς παράγοντες, όπως είναι τα κίνητρα κι η παρακίνηση, η προηγούμενη εμπειρία κι η ανοχή στον πόνο (Nybo et al., 2014; Nybo & Nielsen, 2001; Maw et al., 1993). Η κόπωση έχει πολλαπλά αίτια, τόσο φυσιολογικά όσο και ψυχολογικά, περιφερικής αλλά και κεντρικής προέλευσης. Όταν ανεβαίνει η θερμοκρασία του πυρήνα και του δέρματος, παράγοντες όπως η μείωση στην πρόσληψη οξυγόνου, φαίνεται να επηρεάζουν την αντιλαμβανόμενη κόπωση και να οδηγούν σε μείωση του ρυθμού άσκησης (Flouris & Schlader, 2015). Σε παρατεταμένη άσκηση σε θερμό περιβάλλον και αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα στους 40°C, η κόπωση προέρχεται από το κεντρικό νευρικό σύστημα (Nybo, 2005). Γενικά, η αντιλαμβανόμενη κόπωση είναι μεγαλύτερη κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον και συμβαίνει πριν να αυξηθεί η θερμοκρασία του πυρήνα (Bergh et al., 1986; Maw et al., 1993). Μερικές έρευνες, ωστόσο, έδειξαν ότι η αντιλαμβανόμενη κόπωση μειώνεται κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον αν εφαρμοστεί κρύο ερέθισμα στο δέρμα αλλά επίσης μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω με την εναπόθεση ζεστού ερεθίσματος (Armada da Silva et al., 2004; Schlader et al., 2011b).

2.3. Θερμορύθμιση στο νερό

2.3.1. Γενικά

Κατά τη βύθιση στο νερό συμβαίνουν φυσιολογικές προσαρμογές που οφείλονται στις ιδιότητες και τη θερμοκρασία του νερού. Όταν το σώμα βρεθεί στο νερό σε ένα πιο δροσερό περιβάλλον, με την αγωγή η θερμότητα του σώματος μεταφέρεται στο νερό και με την κίνηση του νερού, τη μεταφορά δηλαδή, απομακρύνεται η θερμότητα από το σώμα του (Rapp, 1971). Αυτός ο ρυθμός απώλειας θερμότητας αυξάνεται όταν αυξηθεί η κίνηση του νερού γύρω από το υποκείμενο όπως και συμβαίνει στα περισσότερα πρωτόκολλα άσκησης (Data et al., 2006). Με τον ίδιο όμως τρόπο μπορεί το σώμα να κερδίσει τη θερμοκρασία του νερού αν αυτή υπερβαίνει τη θερμοκρασία του σώματός του. Το ποσό θερμότητας που διαχέεται κατά τη βύθιση του σώματος σε νερό με μικρότερη θερμοκρασία από αυτό είναι 25 φορές μεγαλύτερο από την έκθεση στον αέρα σε ίδια θερμοκρασία. Η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι 0.00143 cal/sec/cm/°C ενώ του αέρα είναι 0.000055 cal/sec/cm/°C (Smith & Cooper, 1957). Η θερμοκρασία πυρήνα κατά την οποία υπάρχει αυξημένη απόδοση κατά την κολύμβηση είναι 35.5-39.5°C (Craig & Dvorak, 1969; Murray & Horvath, 1979). Η κρίσιμη θερμοκρασία νερού σε ηρεμία που δεν προκαλεί αύξηση μεταβολικού ρυθμού για 3 ώρες είναι 32°C -34°C ενώ για τον αέρα είναι 24-26°C (Bligh & Johnson, 1973). Ένα σώμα βυθισμένο κι ανενεργό σε νερό θερμοκρασίας 32°C μπορεί να διατηρήσει σταθερή την εσωτερική του θερμοκρασία, ενώ σε θερμοκρασία μικρότερη θα καταστεί υποθερμικό, με ρυθμό απώλειας της θερμότητας ανάλογα με τη διάρκεια έκθεσης, τη διαφορά θερμότητας ή και την κίνηση του υγρού γύρω από το άτομο, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε υποθερμία ή και θάνατο. Αν η βύθιση γίνει σε υψηλότερες

θερμοκρασίες από την θερμό-ουδέτερη των 32-34°C ο οργανισμός θα αντιδράσει με αγγειοδιαστολή, μετά τη διέγερση των υποδοχέων στο δέρμα και με σοβαρές επιδράσεις στην καρδιά, τους πνεύμονες, τον εγκέφαλο, τους μύες και τις ορμόνες, επιπτώσεις που μπορεί να οδηγήσουν στον θάνατο, αν η θερμοκρασίες του νερού είναι ακραίες. (Epstein, 1976; Holmer, 1979). Το σώμα χρειάζεται 5 φορές περισσότερο χρόνο για να ρίξει την θερμοκρασία του πυρήνα με βύθιση στους 15°C, από τους 37°C στους 25°C, την κατώτερη θερμοκρασία πυρήνα που μπορεί να καταστεί θανατηφόρα, από το να την ανεβάσει από τους 37°C στους 40°C με βύθιση στους 41°C, με μέγιστη θερμοκρασία του πυρήνα τους 44°C (Tipton & Bradford, 2014). Γι αυτό κι ο άνθρωπος είναι πολύ πιο ευάλωτος ως προς την υπερθερμία, ειδικότερα σε σχέση με τις θερμότερες θερμοκρασίες κατά την άσκηση στο νερό, όπου μικρές μεταβολές έχουν μεγάλες φυσιολογικές διαφοροποιήσεις. Δεν έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα αναφορικά με το τι θεωρείται θερμό-ουδέτερο κατά τη διάρκεια της άσκησης σε θερμά περιβάλλοντα. Η έννοια του θερμό-ουδέτερου έχει θεμελιωθεί για να οριοθετήσει την ασφαλή χρονική έκθεση του ανθρώπου στο νερό εν ηρεμία. Όμως σε σχέση με την άσκηση, σημαντικό ρόλο παίζει η ένταση και η διάρκεια. Σε μια θερμοκρασία 31°C και ήπιας έντασης άσκησης όπως στο Aqua Yoga, μπορεί να οδηγήσει σε υποθερμία αλλά σε παρατεταμένης έντασης και χρονικής διάρκειας άσκηση, η έρευνα είναι ελλιπής.

2.3.2. Φυσιολογικές αποκρίσεις χωρίς άσκηση στο κρύο νερό

Οι διαφορές στις αποκρίσεις της καρδιακής συχνότητας στη βύθιση στο νερό οφείλονται στη θερμοκρασία του νερού, στην υδροστατική πίεση, στη θέση του σώματος και το βάθος βύθισης, στην καρδιακή συχνότητα στην ηρεμία και στην ένταση της προσπάθειας (Graef & Krueel, 2006). Το αυτόνομο νευρικό σύστημα και οι ορμόνες ελέγχουν την συχνότητα της καρδιακής λειτουργίας. Η αύξηση της καρδιακής συχνότητας προκαλείται από τα συμπαθητικά νεύρα, τις κατεχολαμίνες και τις ορμόνες του θυρεοειδούς. Η μείωση της καρδιακής συχνότητας προκαλείται από τα παρασυμπαθητικά νεύρα και κυρίως το πνευμονογαστρικό.

Στη βύθιση μέχρι την ξιφοειδή απόφυση η ζωτική χωρητικότητα των πνευμόνων μειώνεται 3 έως 9% λόγω της υδροστατικής πίεσης (Agostoni et al. 1966; Hong et al. 1967). Η καρδιακή συχνότητα σε βύθιση μέχρι τον αυχένα και σε θερμο-ουδέτερη θερμοκρασία νερού, παρουσιάζει μείωση καρδιακών παλμών κατά 7 έως 19 παλμούς το λεπτό, λόγω της υδροστατικής πίεσης στα κάτω άκρα, στην κατά συνέπεια μείωση της περιφερειακής ροής του αίματος και την αναδιανομή του αίματος στη θωρακική κοιλότητα. Αυτό προκαλεί αύξηση του όγκου παλμού κατά 35%, της καρδιακής παροχής κατά 30% και μειωμένη καρδιακή συχνότητα (Arborelius et al., 1972; Darby et al., 2000).

Με τη βύθιση στο κρύο νερό, το δέρμα μειώνει τη θερμοκρασία του και τείνει να πλησιάσει τη θερμοκρασία του νερού, επιφέροντας μια σειρά από αποκρίσεις που χαρακτηρίζονται ως 'cold shock responses' και είναι κρίσιμες κατά τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα της βύθισης, καθώς αποτελούν προάγγελο καρδιοαγγειακών προβλημάτων ή και πνιγμού. Οι αποκρίσεις αυτές αφορούν στην ταχυκαρδία, τον

υπεραερισμό, την υποκαπνία, την υπέρταση, το λαχάνιασμα και την αγγειοσυστολή (Tipton, 1989, 1991; Datta & Tipton, 2006). Η θερμοκρασία του νερού μαζί με την υδροστατική πίεση προκαλούν μια μετατόπιση του αίματος από την περιφέρεια προς το κέντρο, αύξηση της αρτηριακής πίεσης, αγγειοσυστολή, αύξηση του όγκου παλμού και της καρδιακής παροχής κατά 30-60% και μείωση της καρδιακής συχνότητας (Raven et al, 1970; Arborelius et al, 1972; Vogelaere et al., 1992). Οι αλλαγές που εμφανίζονται στις τιμές της καρδιακής παροχής και της καρδιακής συχνότητας εξαρτώνται από τη θέση του σώματος κατά τη βύθιση στο νερό, το βάθος βύθισης, τη θερμοκρασία του νερού και την καρδιακή συχνότητα κατά την ηρεμία (Krasney, 1996; Kruehl et al., 2001). Ο όγκος των πνευμόνων μειώνεται αλλά αυξάνεται η ροή του αίματος προς τους αναπνευστικούς μύες και το μυοκάρδιο (Hajduczuk et al., 1987). Οι μύες δέχονται μικρή ποσότητα αίματος και ενώ η άσκηση αυξάνει τη ροή του αίματος στους μύες, ωστόσο η απώλεια θερμότητας είναι μεγαλύτερη (Hong & Nadel, 1979). Μέσα από το τρέμουλο των σκελετικών μυών αυξάνεται 4.2 φορές η παραγωγή μεταβολικής θερμότητας, φτάνοντας το 40% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Wagner & Horvath, 1985). Επίσης, παρατηρείται αύξηση της νοραδρεναλίνης και αδρεναλίνης (κατεχολαμινών) και της κορτιζόλης, της κατεξοχίν ορμόνης του στρες και μείωση του όγκου πλάσματος κατά 15-20% (Young et al., 1987). Η απότομη βύθιση σε κρύο νερό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συστολικής πίεσης, αρρυθμίες και άπνοια, μετά την δραστηριοποίηση του συμπαθητικού και παρασυμπαθητικού συστήματος (Lee et al., 1997; Sramek et al., 2000; Lazar et al., 2008; Konstantinidou, S & Soultanakis, H., 2015). Κατά τη βύθιση στο κρύο νερό υπάρχει ένα αντανακλαστικό λαχάνιασμα αναπνοής, μια ταχυκαρδία και υπεραερισμός, καθώς επίσης και αγγειοσυστολή (Keatinge & Evans, 1961). Στη βύθιση μέχρι το λαιμό, η καρδιακή παροχή βρέθηκε χαμηλότερη κατά 12%, εξαιτίας της μείωσης της καρδιακής συχνότητας κατά 15-20%, ως αποτέλεσμα της αντίδρασης στο νερό 28-30°C (Rennie et al., 1971). Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν οι Johnson et al (1977) στη μείωση της καρδιακής συχνότητας (10-15 παλμούς /λεπτό), μετά από βύθιση στο νερό στο επίπεδο των ώμων, σε θερμοκρασία 26.5°C, για 30-60 δευτερόλεπτα.

Σύμφωνα με αρκετές μελέτες η θερμο-ουδέτερη θερμοκρασία νερού έως σήμερα για δυναμικές ασκήσεις θεωρείται αυτή των 29-33°C (Israel et al., 1989; Choukroun & Varene, 1989; Wilmore & Costill, 1994). Παρόλα αυτά, οι μελέτες αυτές δεν έχουν διαχειριστεί παρατεταμένες προσπάθειες σε διαφορετικές εντάσεις. Πρόσφατες μελέτες υποδηλώνουν ότι θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30°C κατά την άσκηση δεν είναι θερμο-ουδέτερες αλλά ζεστές.

2.3.3. Φυσιολογικές αποκρίσεις χωρίς άσκηση στο ζεστό νερό

Σε απλή βύθιση σε νερό σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 35°C, παρατηρείται αύξηση της καρδιακής συχνότητας και της καρδιακής παροχής, μείωση της διουρητικής ορμόνης και των κατεχολαμινών, αύξηση της συστολικής και μείωση της διαστολικής πίεσης, αύξηση στα λεμφοκύτταρα, λευκοκύτταρα και θρομβοκύτταρα αλλά μείωση στα ερυθροκύτταρα. Στους 40°C υπήρξε μείωση της VO_{2max} ενώ κανονικά αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα, λόγω των υπερβολικών απαιτήσεων του κυκλοφορικού που

συνδέονται με τη θερμόλυση, εμφανίζεται ταχυκαρδία, ιδρώτας, μυϊκή εξασθένιση και πονοκέφαλος (Pyrray, 1977). Σε βύθιση πάνω από 38°C παρατηρούμε υπόταση, υπερβολική ταχυκαρδία ακόμη και θάνατο (Avellini, 1983; Tipton & Bradford 2014). Στους 30°C η καρδιακή συχνότητα κι ο μεταβολικός ρυθμός δεν παρουσιάζουν διαφορές με αυτή κατά την άσκηση έξω από το νερό, καθώς ο τελευταίος είναι αντιστρόφως ανάλογος με την αύξηση της θερμοκρασίας.

2.3.4. Φυσιολογικές και συγκριτικές αποκρίσεις με άσκηση σε νερό σε θερμοκρασίες από 17°C έως 40°C.

Ως κρύο νερό ορίζεται από πολλούς αυτό των 10-15°C όπου η βύθιση σε αυτό δύναται να προκαλέσει υποθερμία. Άσκηση σε θερμοκρασία κάτω των 25°C επιταχύνει την απώλεια θερμότητας από τα βάθη του σώματος σε αντίθεση με το αν το άτομο έμενε ακίνητο (Tipton & Bradford, 2014). Η θερμοκρασία του πυρήνα δύναται να μειωθεί κατά την άσκηση σε κρύο περιβάλλον, αν η ένταση της άσκησης είναι χαμηλή και να ανέβει σε θερμό περιβάλλον αν αυξηθεί η ένταση (Stromme et al., 1963; Lind, 1963). Η ένταση της άσκησης κι η μορφολογία του σώματος μπορεί να είναι παράγοντες που θα συντελέσουν στην διατήρηση της θερμικής ισορροπίας, ακόμη και σε κολύμβηση σε θερμοκρασία 17°C (Costill et al., 1967). Η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι χαμηλότερη όταν αυξάνεται η ένταση της άσκησης, γι αυτό και η αγωνιστική κολύμβηση γίνεται σε θερμοκρασία πισίνας 26-28°C (Kenney, Wilmore & Costill, 2015). Σε κολύμβηση σε θερμοκρασία νερού 5-20°C η θερμοκρασία πυρήνα μειώνεται περισσότερο από το αν το άτομο ήταν ακίνητο μέσα σε αυτό (Craig & Dvorak, 1968). Αντίθετα σε μέγιστη κολύμβηση και σε θερμοκρασία 17°C η θερμοκρασία πυρήνα ανέβηκε ελάχιστα, δείχνοντας ότι η παραγωγή θερμότητας μπορεί να υπερβεί την απώλειά της (Costill, Cahill & Eddy, 1967). Λόγω της μεγάλης αγωγιμότητας του νερού, η παραγωγή θερμότητας από τον μεταβολισμό δεν είναι αρκετή ακόμη και σε άσκηση μέτριας έντασης να διατηρήσει την θερμοκρασία του πυρήνα σταθερή (Nadel et al., 1974). Με την άσκηση μέσα στο νερό ή την κίνηση του νερού, υπάρχει μεγάλη απώλεια θερμότητας από το σώμα.

Σε άσκηση στο κυκλοεργόμετρο σε νερό 25°C το σώμα μειώνει την καρδιακή συχνότητα 10 με 20 παλμούς το λεπτό, μετά από μια αντανακλαστική ταχυκαρδία, αυξάνει την κατανάλωση οξυγόνου και την πίεση, έχοντας ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός της θερμορύθμισης, όπως εξηγήθηκε παραπάνω (McArdle et al., 1976; Tipton, 1989). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κάθετη άσκηση στο νερό σε εύρος θερμοκρασιών 25-31°C, προκαλεί μειωμένη VO₂max σε σχέση με την άσκηση στο έδαφος ή σε θερμο-ουδέτερο νερό, που πιθανόν να οφείλεται στη μειωμένη μέγιστη καρδιακή συχνότητα, η οποία εμποδίζει την μέγιστη καρδιακή παροχή (Bergh & Ekblom, 1979; Davies et al., 1975; Pirnay et al., 1979). Η πρόσληψη οξυγόνου έχει βρεθεί ότι είναι ίδια τόσο κατά την άσκηση με αυξανόμενο φορτίο στο κυκλοεργόμετρο στο νερό στους 33°C όσο και στο έδαφος σε 25-27°C, ενώ στους 25°C στο νερό είναι 9% πάνω από την τιμή στο θερμό νερό και στους 18°C στο νερό είναι 25.3%, περίπου 250-700ml υψηλότερη, αν και δεν φτάνει στο μέγιστο σημείο της στο κρύο νερό. Η καρδιακή συχνότητα ήταν 5 παλμούς το λεπτό χαμηλότερη από τους 25°C και 15

παλμούς χαμηλότερη από τους 33°C. Η άσκηση στους 18°C γίνεται με αυξημένο όγκο παλμού κατά 21% από την άσκηση στους 33°C και στο έδαφος και με μειωμένη καρδιακή συχνότητα κατά 19% σε μία αυξημένη πρόσληψη οξυγόνου, 2.4 λίτρα O₂/min. (McArdle et al., 1976; Rennie et al., 1971; Prynay et al., 1977).

Σε άσκηση στο κυκλοεργόμετρο στο νερό σε θερμοκρασία 30-40°C σε υπομέγιστα φορτία, η θερμοκρασία πυρήνα, έφτασε τους 38.8°C, ενώ στους 20°C τους 37.4°C. Όσον αφορά στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, παρατήρησαν ότι στους 20°C είναι χαμηλή και ότι κατά την άσκηση σε κρύο νερό δεν φτάνει στο ανώτατο επίπεδό της, αλλά αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού και του σώματος. Στους 40°C παρατηρείται πτώση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, παρά την αύξηση της θερμοκρασίας των μυών και αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα στους 39°C και της καρδιακής συχνότητας στους 201.4 παλμούς/λεπτό. Η καρδιακή συχνότητα αυξάνεται κατά την άσκηση στα θερμά νερά και παρουσιάζει αύξηση από 102-132.4 παλμούς/λεπτό κατά το πέρασμα από τους 20°C στους 40°C στην ελαφριά άσκηση και από τους 131.1 στους 150.8 παλμούς/λεπτό στο 50% της μέγιστης προσπάθειας (Prynay et al., 1977).

Σημαντικό ρόλο φαίνεται πως παίζει η θερμοκρασία του νερού και στη συγκέντρωση του γαλακτικού οξέως καθώς σε έρευνα των Mougios & Deligiannis (1993) παρατηρήθηκε πως η υψηλότερη συγκέντρωση γαλακτικού οξέως (19.8±2.9mmol/L) σημειώθηκε σε θερμοκρασία νερού 32° C, σε μέγιστο φορτίο κατά τη διάρκεια κολυμβητικής δοκιμασίας 100μ. ελεύθερο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης (16.1±4.2mmol/L) σημειώθηκαν στη μέγιστη κολυμβητική δοκιμασία που πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία νερού 20° C. Η καρδιακή συχνότητα στους 32°C ήταν κατά 22 παλμούς υψηλότερη (185±4 παλμοί/λεπτό) από τους 20°C (163±6 παλμοί/ λεπτό). Στα υπομέγιστα φορτία η καρδιακή συχνότητα στους 32°C ήταν 10 παλμούς υψηλότερη (144±4 παλμοί/λεπτό) από τους 20°C (134±4 παλμοί /λεπτό) ενώ οι τιμές του γαλακτικού δεν παρουσίασαν διαφορά (4.2±2.3 έναντι 4.6±2.4mmol/L). Οι διαφορετικές τιμές του γαλακτικού μπορεί να οφείλονται στη διαφορετική σύνθεση των μυϊκών ινών και των προπονητικών προγραμμάτων των αθλητών, καθώς τη μία ομάδα αποτελούσαν κολυμβητές ταχύτητας και την άλλη κολυμβητές αντοχής. Σε θερμοκρασίες 28°C και 36°C αξιολογήθηκαν οι καρδιο-αναπνευστικές αποκρίσεις σε ενήλικες γυναίκες, σε υπομέγιστα φορτία βάρδισης, στο δαπεδοεργόμετρο στο νερό και στο έδαφος, σε βάθος βύθισης μέχρι το στήθος. Η κατανάλωση οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα παρουσίασαν γραμμική αύξηση με την αύξηση της ταχύτητας. (Hall et al., 1998). Άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο σε νερό 30.5°C και 36.1°C, με βύθιση μέχρι τη μέση και αυξανόμενη ένταση και σύγκριση με άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος σε 24°C με 26.6°C έδειξε αυξημένη καρδιακή συχνότητα (156±4 παλμούς το λεπτό) στο ζεστό νερό έναντι 142±4 παλμούς το λεπτό στο έδαφος (Gleim & Nicholas, 1989). Με αύξηση της θερμοκρασίας από τους 20°C στους 40°C σε τρέξιμο σε βαθύ νερό, εργομετρικό ποδήλατο, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του γαλακτικού, της καρδιακής συχνότητας, της αντιλαμβανόμενης κόπωσης και της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου. Στους 40°C, όμως, η μέγιστη πρόσληψη

οξυγόνου αρχίζει να μειώνεται, καθώς οι απαιτήσεις του κυκλοφορικού αρχίζουν να γίνονται υπερβολικές (Buck et al., 2001, Brown et al., 1996). Η άσκηση στο νερό σε θερμοκρασίες 20°C έως 29 °C δίνει χαμηλότερες τιμές καρδιακής συχνότητας από την άσκηση στο έδαφος, ενώ στις θερμοκρασίες που θεωρούνται θερμοουδέτερες η καρδιακή συχνότητα δεν είναι σημαντικά χαμηλότερη από την άσκηση στο έδαφος, όταν η άσκηση είναι ήπια και χαμηλής έντασης (Arborelius et al., 1972; McArdel, 1992; Svedenhag & Seger). Η VO₂ είναι μικρότερη στις υπομέγιστες δοκιμασίες κατά την άσκηση στο νερό σε σύγκριση με αυτή στον αέρα (Svedenhag & Seger, 1992). Η εξοικείωση με την άσκηση στο βαθύ νερό μπορεί να δώσει χαμηλότερες τιμές καρδιακής συχνότητας και μικρότερη μείωση στην VO₂max (Bishop et al., 1989; Yamaji et al., 1990; Gehring et al., 1997; Azevedo, 2010). Οι Costill et al. (1967) μελέτησαν τις μεταβολικές αποκρίσεις κατά την κολύμβηση σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 17.4°C, 26.8°C και 33.1°C και βρήκαν χαμηλότερες τιμές καρδιακής συχνότητας κατά την αποκατάσταση μετά την άσκηση στους 17.4°C και υψηλότερες μετά την άσκηση στους 33.1°C. Το κρύο δέρμα από την έκθεση στο κρύο νερό προκάλεσε γρήγορη καρδιακή αποκατάσταση και απώλεια εσωτερικής θερμότητας. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα κατά την άσκηση βρέθηκε ανάλογη με τη θερμοκρασία του νερού. Βύθιση στο νερό και άσκηση σε κυκλοεργόμετρο έξω και μέσα στο νερό σε θερμοκρασίες 34.5 και 30°C εκτέλεσαν νέοι δοκιμαζόμενοι 22 ετών. Κατά τη βύθισή τους στους 30°C και 34.5°C βρέθηκε ότι η καρδιακή παροχή τους αυξήθηκε από 6.8 και 7.2 λίτρα το λεπτό αντίστοιχα έναντι 4.7 λίτρων το λεπτό στο έδαφος, εξαιτίας μάλλον της αύξησης του όγκου παλμού, που ήταν 108 ml και 99ml αντίστοιχα στο νερό και 64 ml στο έδαφος. Η καρδιακή συχνότητα ήταν αντίστοιχα 63 και 73 παλμοί/λεπτό στο νερό και 74 παλμοί/λεπτό στο έδαφος. Η συστολική πίεση ήταν για το νερό 124 και 121mmHg αντίστοιχα ενώ για το έδαφος ήταν 112mmHg και η διαστολική πίεση ήταν 85 και 78 mmHg για το νερό ενώ για το έδαφος ήταν 74 mmHg (Park et al., 1999).

Όμως, η προσαρμογή του ανθρώπου στο κρύο εκτός από τη μείωση στο μεταβολικό ρυθμό φαίνεται να έχει αρνητική επίδραση στην θερμοκρασία πυρήνα, καθώς πέφτει πολύ γρήγορα ως αποτέλεσμα της «υποθερμικής προσαρμογής» και του φαινομένου “insidious hypothermia” όπως συμβαίνει με τους επαγγελματίες δύτες. Αυτό οφείλεται σε αλλαγές στο κατώφλι που προκαλεί το τρέμουλο, χωρίς όμως να επηρεάζεται η ευαισθησία στη μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας και η αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου (Rees et al., 2002). Η άσκηση σε ζεστό περιβάλλον και σε υπομέγιστα φορτία αυξάνει το γαλακτικό, καθώς γίνεται αναδιανομή του αίματος από τους μύες στο δέρμα για αποβολή της συσσωρευμένης θερμότητας στο εσωτερικό, μετά από ενεργοποίηση του αναερόβιου μεταβολισμού. Σε μέγιστα φορτία η συνεχής άσκηση γίνεται πιο δύσκολη και μπορεί να εμποδιστεί και να πέσει η απόδοση. Το θερμικό στρες που υφίσταται ο οργανισμός εμποδίζει την παρατεταμένη άσκηση και μειώνεται ο χρόνος μέχρι την εξάντληση (Sawka et al., 2011). Γενικά, ο αριθμός των ερευνών δεν επαρκεί για να τεκμηριώσει ερευνητικά την επίδραση του νερού, ειδικά σε διαφορετικές θερμοκρασίες (Maxwell et al., 1996).

2.3.5. Φυσιολογικές αποκρίσεις κατά το βάδισμα/τρέξιμο στο νερό

Το τρέξιμο και το βάδισμα στο νερό την τελευταία 15ετία έχουν αρχίσει να κερδίζουν έδαφος στην προπονητική αθλημάτων και αθλοπαιδιών, ειδικότερα σε περιόδους αποκατάστασης από τραυματισμούς των κάτω άκρων αλλά και στη θεραπευτική άσκηση στο νερό. Η άσκηση σε ρηχό νερό γίνεται συνήθως με βύθιση μέχρι την ξιφοειδή απόφυση, όπου παρατηρούνται σημαντικές. Η κάθετη βύθιση στο νερό μέχρι το διάφραγμα προκαλεί τις ίδιες αλλαγές όπως όταν το άτομο βρίσκεται σε ύπτια θέση, με κυριότερη την αύξηση του όγκου καρδιάς κατά 130ml περίπου. Με τη βύθιση μέχρι τον αυχένα και λόγω της αύξησης της υδροστατικής πίεσης αυξάνεται η ενδοθωρακική πίεση και ο όγκος καρδιάς κατά 120 ακόμη ml καθώς και η κεντρική φλεβική πίεση της δεξιάς κοιλίας στα 12.8mmHg και μειώνεται η ζωτική χωρητικότητα των πνευμόνων κατά περίπου 8%, λόγω αύξησης του διαφράγματος και της ενδοπνευμονικού όγκου αίματος. Η αύξηση της βύθισης από τη σύμφυση μέχρι την ξιφοειδή απόφυση προκαλεί μείωση της καρδιακής συχνότητας κατά 16 παλμούς το λεπτό περίπου (Risch et al., 1978). Οι αποκρίσεις αυτές επηρεάζονται άμεσα από τη θερμοκρασία του νερού. Η έρευνα είναι περιορισμένη όσον αφορά στις διαφορές και τις προσαρμογές.

2.3.6. Συγκριτικές μελέτες φυσιολογικών επιδράσεων μεταξύ του τρεξίματος στο έδαφος, σε ρηχό και σε βαθύ νερό.

Η άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο και κυκλοεργόμετρο έξω και μέσα στο νερό είναι αρκετά δημοφιλής στην προπονητική αλλά και για την αποκατάσταση. Διάφορες έρευνες συγκρίναν τις μεταβολικές αποκρίσεις μεταξύ του τρεξίματος σε βαθύ νερό, σε δαπεδοεργόμετρο μέσα στο νερό και σε διάδρομο έξω από αυτό (Town & Bradley, 1991; Dowzer, 1999). Η άσκηση σε ίδιες ταχύτητες στο δαπεδοεργόμετρο μέσα στο νερό προκαλεί μεγαλύτερη αύξηση στην πρόσληψη οξυγόνου και την αντιλαμβανόμενη κόπωση από την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος, καθώς η πυκνότητα του νερού προκαλεί μεγαλύτερο φορτίο από ότι στον αέρα (Hall et al., 1998). Η καρδιακή συχνότητα σε βαθύ νερό (1.4μ.) 27.5°C και γρήγορου ρυθμού αερόβια άσκηση ήταν 113.5 παλμούς έναντι 154 παλμούς το λεπτό σε ρηχό νερό (0.8μ.) και 161.5 παλμούς στην ξηρά και το γαλακτικό σε βαθύ νερό και γρήγορου ρυθμού αερόβια άσκηση ήταν 1.75mmol.L έναντι 3.15mmol.L σε ρηχό νερό και 5.65 mmol.L στην ξηρά. Ο γρήγορος ρυθμός ήταν για τα 15 τελευταία λεπτά ο διπλάσιος (2.3Hz) των 15 πρώτων λεπτών (1.15Hz) (Benelli et al., 2004). Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με την έρευνα των Town & Bradley (1991) οι οποίοι μελέτησαν τις αποκρίσεις με τρέξιμο σε βαθύ, ρηχό νερό και διάδρομο στο έδαφος και πιθανόν να οφείλονται στην υδροστατική πίεση και το ιζώδες του νερού. Κατά την άσκηση στο κυκλοεργόμετρο στο νερό σε 33°C δεν βρέθηκε καμία διαφορά στη γραμμική σχέση πρόσληψης οξυγόνου-καρδιακής συχνότητας με αυτή στο κυκλοεργόμετρο στο έδαφος, ενώ σε θερμοκρασίες 25°C και 18°C βρέθηκε αντίστοιχα μείωση της καρδιακής συχνότητας κατά 10 και 15 παλμούς το λεπτό (McArdle, 1976). Παρόμοιες τιμές για καρδιακή συχνότητα, πρόσληψη οξυγόνου, επίπεδα

γαλακτικού, ενώ ο αερισμός (VE) και η αναπνευστική συχνότητα ήταν μεγαλύτερες μέσα στο νερό, έδειξαν μελέτες σε νεαρά άτομα σε μέγιστες προσπάθειες, κατά την άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο στο νερό και δαπεδοεργόμετρο. Η θερμοκρασία του νερού ήταν 28°C και η βύθιση στην ξιφοειδή απόφυση (Silvers et al., 2007).

2.3.7. Τρέξιμο σε βαθύ νερό

Το τρέξιμο στο βαθύ νερό διαφοροποιείται από το τρέξιμο στο ρηχό νερό στο ότι δεν υπάρχει πυθμένας πρόσκρουσης. Σε μελέτη που σύγκρινε τρέξιμο σε βαθύ νερό ως το λαιμό σε 28°C με τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο σε ισοδύναμη ταχύτητα βρέθηκε ότι η μέση πρόσληψη οξυγόνου 40.6 ± 2 έναντι 29.8 ± 3.5 ml.kg.min και η μέση καρδιακή συχνότητα 157 ± 7.3 έναντι 122 ± 9.7 παλμοί το λεπτό ήταν υψηλότερες έξω από το νερό. Στην έρευνα αυτή οι απόλυτες τιμές της πρόσληψης οξυγόνου ήταν 36% υψηλότερες στην άσκηση στο διάδρομο, παρά την ίδια τιμή στην αντιλαμβανόμενη κόπωση (Bishop et al., 1989). Χαμηλότερες τιμές καρδιακής συχνότητας κατά 15 έως 17 παλμούς το λεπτό κατά το τρέξιμο σε βαθύ νερό σε έντονο ρυθμό σε σύγκριση με το τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο στην ξηρά και παρόμοιες τιμές με το απλό τρέξιμο βρήκαν οι Ritchie & Hopkins (1991). Μελέτες που έγιναν σε άσκηση σε διάδρομο στο νερό στους 27°C έδειξαν μεγαλύτερη VO₂max από το τρέξιμο σε βαθύ νερό, αλλά η VO₂max στην άσκηση στο ρηχό νερό και στο βαθύ ήταν αντίστοιχα 90.3% και 73.5% της VO₂max σε διάδρομο έξω από το νερό, ενώ η μέγιστη καρδιακή συχνότητα ήταν αντίστοιχα 88.6% και 86% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας στο διάδρομο έξω από το νερό. Στα υπομέγιστα φορτία η σχέση ΚΣ-VO₂ είναι παρόμοια για την άσκηση στο νερό και έξω από αυτό (Town & Bradley, 1991). Οι Svedenhag & Seger (1992) βρήκαν ότι η σχέση ΚΣ-VO₂ σε υπομέγιστα φορτία είναι χαμηλότερη στο τρέξιμο μέσα στο νερό από το τρέξιμο σε διάδρομο έξω από αυτό, σε 25°C. Το πρωτόκολλο ήταν τέσσερα τετράλεπτα αυξανόμενο φορτίο με καρδιακές συχνότητες 115, 130, 145 και 160 παλμούς το λεπτό. Βρήκαν μικρότερες τιμές ΚΣ (172 έναντι 188 b/min) σε μέγιστη ένταση μέσα στο νερό μέχρι την εξάντληση, χαμηλότερη VO₂max (4.03 l.min⁻¹ έναντι 4.60 l.min⁻¹) και ο αερισμός, η αντιλαμβανόμενη κόπωση και το γαλακτικό να είναι υψηλότερα (4.57 ± 0.20 έναντι 1.47 ± 0.30 mmol.l⁻¹). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές βρήκαν μείωση του έργου με βάση τη σχέση καρδιακής συχνότητας-πρόσληψης οξυγόνου, κάτι που δεν παρατηρήθηκε σε άλλη έρευνα στους 25°C, πιθανόν επειδή σε χαμηλή ένταση η απώλεια θερμότητας είναι αυξημένη και οδηγεί σε αύξηση της σχέσης καρδιακής συχνότητας-πρόσληψης οξυγόνου, για λόγους θερμορύθμισης. Οι Gehring et al. (1997) σε 45 λεπτά τρέξιμο στο νερό με γιλέκο επίπλευσης, με δοκιμαζόμενους αθλητές δρομείς, βρήκαν παρόμοιες τιμές VO₂ στο τρέξιμο στο νερό, στο διάδρομο στο έδαφος και στο τρέξιμο με και χωρίς γιλέκο επίπλευσης. Η ομάδα των μη έμπειρων δρομέων έδωσε τιμές χαμηλότερες στην πρόσληψη οξυγόνου (27%), καρδιακής συχνότητας (23%), αερισμού (26%) και %VO₂max (27%) στο τρέξιμο με γιλέκο έναντι του δαπεδοεργόμετρου στο έδαφος. Οι Mercer & Jensen, (1998) αξιολόγησαν την ΚΣ και την VO₂ κατά το τρέξιμο σε βαθύ νερό (27°C), με πρόσδεση σε τροχαλία, χρήση ζώνης και βάρη σε κουβά και αύξηση της κλίσης και ταχύτητας στο δαπεδοεργόμετρο, για την

εκτέλεση μέγιστης δοκιμασίας βαθμιαίας επιβάρυνσης. Σε κάθε στάδιο του ενός λεπτού προστίθεντο βάρος 0.57kg, ώστε να επιτευχθεί αύξηση της καρδιακής συχνότητας κατά 10% περίπου και στο δαπεδοεργόμετρο αύξηση της κλίσης 3% αρχικά και 7,5% μέχρι το τέλος. Σύγκριναν τις τιμές στο 60, 80 και 100% της μέγιστης ΚΣ και VO₂ και βρήκαν ότι αυτές ήταν χαμηλότερες κατά την άσκηση μέσα στο νερό (η ΚΣ στο 60 και 80% ήταν 8 και 12 παλμούς/λεπτό χαμηλότερη). Με την παραπάνω έρευνα συμφωνούν και οι Frangolias et al. (1996) όπου παρατήρησαν υψηλότερες τιμές μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (59.7 έναντι 54.6 ml.kg.min), μέγιστης καρδιακής συχνότητας (190 έναντι 175 παλμούς/λεπτό), αναπνευστικού πηλίκου (1.20 έναντι 1.10) κατά την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος από το τρέξιμο στο νερό. Αντίθετα, στα υπομέγιστα φορτία η σχέση ΚΣ-πρόσληψης οξυγόνου είναι παρόμοια για την άσκηση στο νερό και έξω από αυτό. Σε αυτό το σημείο έρχονται σε αντίθεση οι παρατηρήσεις τους με τους Svedenhag & Seger (1992) οι οποίοι βρήκαν ότι η σχέση ΚΣ-VO₂ σε υπομέγιστα φορτία είναι χαμηλότερη στο τρέξιμο μέσα στο νερό, πιθανόν λόγω διαφορετικής έντασης, φορτίου και θερμοκρασίας στο πρωτόκολλο. Σε άλλη έρευνα σε θερμοκρασία νερού 32.5°C έγιναν δύο μέγιστες δοκιμασίες μέχρι εξάντλησης για την αξιολόγηση των μεταβολικών απαιτήσεων, μία με τρέξιμο σε βαθύ νερό με χρήση γιλέκου και η άλλη στο δαπεδοεργόμετρο στην ξηρά, σε θερμοκρασία 22.5±1.0°C (Nakanishi et al., 1999). Οι τιμές της VO₂max ήταν 20% χαμηλότερες (2.68±0.43 l/min vs 3.40±0.46 l/min), της καρδιακής συχνότητας 20 παλμούς/λεπτό χαμηλότερες (171.5±13.6 b/min vs 190.8±9.1 b/min), και ο αερισμός (98.5±13.9 vs 113.3±12.4) και η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα (10.44±2.73 vs 12.47±3.49 mmol/l) ήταν σημαντικά μικρότερες κατά την άσκηση στο νερό. Μάλιστα η εξήγηση για τις χαμηλές τιμές φαίνεται να είναι η επίδραση της υδροστατικής πίεσης και οι διαφορετικές μυϊκές ομάδες που επιστρατεύονται για την εκτέλεση των δοκιμασιών (Chu et al., 2002). Οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE) στα μέγιστα φορτία δεν έδειξαν καμία διαφορά και στις δύο δοκιμασίες. Ο Dowzer (1999) χρησιμοποιώντας τρέξιμο σε βαθύ νερό σύγκρινε τις τιμές με αυτές που πήρε από το τρέξιμο σε ρηχό νερό και σε δαπεδοεργόμετρο. Η VO₂max και ΚΣ ήταν χαμηλότερες κατά το τρέξιμο στο νερό και στα δύο βάθη σε σχέση με το δαπεδοεργόμετρο. Άλλη έρευνα με τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος και σε βαθύ νερό σε 28°C, με αυξανόμενη επιβάρυνση μέχρι εξάντληση πραγματοποίησαν Franfolias et al. (2000). Στο δαπεδοεργόμετρο η ταχύτητα αυξάνονταν κάθε λεπτό για τα 15 πρώτα λεπτά και μετά με 2% κλίση στο διάδρομο. Η επιβάρυνση στο νερό ήταν παρόμοια, ξεκινώντας με 750g και κάθε λεπτό επιβάρυνση 400g.min μέχρι το 15 λεπτό και έπειτα επιβάρυνση 750g.min μέχρι εξάντλησης. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (59.7 έναντι 54.2 ml.kg.min), καρδιακή συχνότητα (189.2 έναντι 174.4 παλμούς/λεπτό), ο αερισμός (109.3 έναντι 104.8 l.min) ήταν υψηλότερα στην άσκηση στο έδαφος, ενώ η αντιλαμβανόμενη κόπωση ήταν ίδια στο μέγιστο της άσκησης (20) και το γαλακτικό ελαφρώς λιγότερο στο νερό.

Οι έρευνες που έγιναν για να μελετήσουν τις φυσιολογικές αποκρίσεις κατά τη βύθιση στο νερό, μπορούμε να πούμε ότι έγιναν μετά από άσκηση σε βαθιά νερά και στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος και βρήκαν ότι η ανώτατη πρόσληψη οξυγόνου και η καρδιακή συχνότητα ήταν μεγαλύτερες στην άσκηση στο

δαπεδοεργόμετρο γύρω στους 15 παλμούς το λεπτό, η αντιλαμβανόμενη κόπωση όπου μετρήθηκε βρέθηκε να είναι ίδια, ενώ οι τιμές για το γαλακτικό ήταν αντιφατικές (Glass, 1987; Butts et al, 1991; Town & Bradley, 1991; Svedenahg & Seger, 1992; Michaud et al, 1995; Frangolias & Rhodes, 1995, 1996; Reilly, 2003).

Συνοψίζοντας όλες τις παραπάνω μελέτες που έγιναν στο έδαφος, σε ρηχό και βαθύ νερό, μπορούμε να συμπεράνουμε τα παρακάτω: α) συγκρίνοντας άσκηση με καθορισμένη ταχύτητα δαπεδοεργόμετρου έξω και μέσα στο νερό, η άσκηση μέσα στο νερό είναι πιο δύσκολη στα υπομέγιστα φορτία και επιφέρει μεγαλύτερη καρδιακή συχνότητα και κατανάλωση οξυγόνου σε ίδιο έργο. Αυτή η δυσκολία αυξάνεται ανάλογα με το βάθος βύθισης του ανθρώπου και οφείλεται στη μεγαλύτερη αντίσταση του νερού β) συγκρίνοντας υπομέγιστη άσκηση έξω από το νερό με άσκηση σε βαθύ νερό το ισοδύναμο έργο δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια. Όμως οι περισσότερες έρευνες σε μέγιστο έργο δείχνουν χαμηλότερη καρδιακή συχνότητα 15 με 17 παλμούς το λεπτό, χαμηλότερη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και γαλακτικό στο νερό, ενώ οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης είναι ίδιες με το έδαφος. Σε υπομέγιστο έργο η σχέση της καρδιακής συχνότητας με την πρόσληψη οξυγόνου βρέθηκε να είναι χαμηλή ή και ίδια με το έδαφος γ) συγκρίνοντας άσκηση σε ρηχό και βαθύ νερό, η καρδιακή συχνότητα και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου είναι χαμηλότερες στο βαθύ νερό, όμως η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και η μέγιστη καρδιακή συχνότητα δεν επηρεάζονται.

Σε όλες τις παραπάνω έρευνες που συγκρίνουν τρέξιμο μέσα και έξω από το νερό, υπάρχουν δύο σοβαρά μεθοδολογικά προβλήματα: πρώτον, η αδυναμία εξίσωσης των θερμοκρασιών μέσα κι έξω από το νερό, που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την πρόσληψη οξυγόνου και την καρδιακή συχνότητα και δεύτερον, η αδυναμία εξίσωσης των ασκησιογόνων ερεθισμάτων όσον αφορά στα φορτία και την ταχύτητα/συχνότητα διασκελισμού, καθώς οι ιδιότητες του νερού τα επηρεάζουν δραματικά.

2.3.8. Βύθιση στο νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Οι Craig & Dvorak (1966), μελέτησαν τις αποκρίσεις σε βύθιση στο νερό με το κεφάλι έξω από αυτό σε 9 διαφορετικές θερμοκρασίες, από τους 24-37°C. Σε κάθε θερμοκρασία οι δοκιμαζόμενοι έμεναν σε βύθιση για μία ώρα. Μείωση στην κεντρική θερμοκρασία του σώματος παρατηρήθηκε κάτω από τους 35°C, ενώ στις θερμοκρασίες κάτω των 30°C παρατηρήθηκε έντονη αύξηση παραγωγής ενέργειας. Πάνω από τους 36°C, λόγω του θερμικού στρες ανέβηκε η καρδιακή συχνότητα και η πίεση. Στους 28-30°C απλή βύθιση στο νερό μέχρι το λαιμό, ο Rennie (1971) παρατήρησε μείωση της ΚΣ κατά 20% περίπου, της καρδιακής παροχής κατά 12% εξαιτίας της μείωσης της ΚΣ. Μια άλλη έρευνα που έκανε ο Fujishima, 1986, κατά τη βύθιση σε 43°C, για 8 λεπτά, σε ύπτια θέση και με συνεχή κίνηση του νερού τριγύρω, έδειξε αύξηση στην κατανάλωση οξυγόνου κατά 30% περίπου μετά τη βύθιση, εξαιτίας της υπερθερμίας. Οι Tikuisis et al. (1988) μελέτησαν την θερμοκρασία πυρήνα, κατά τη βύθιση σε θερμοκρασία νερού 20°C και 28°C για μία ώρα και βρήκαν ότι η θερμοκρασία του πυρήνα

έπεσε 0.9 και 0.5°C αντίστοιχα. Τις φυσιολογικές παραμέτρους με βύθιση στο νερό μέχρι τους ώμους και σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, 25°C, 34°C και 40°C μέτρησαν οι Choukroun & Varene (1990). Η καρδιακή παροχή βρέθηκε να μην επηρεάζεται από το κρύο νερό ενώ αυξήθηκε κατά πολύ στο ζεστό νερό. Η πρόσληψη οξυγόνου αυξήθηκε στο κρύο νερό, ενώ η καρδιακή συχνότητα εμφάνισε βραδυκαρδία. Συγκεκριμένα η καρδιακή παροχή στον αέρα ήταν 4.75dm³.min⁻¹, στους 25 και 34°C αυξήθηκε 18%, και στους 40°C αυξήθηκε 41%. Η καρδιακή συχνότητα ήταν στον αέρα 95±14 παλμοί/λεπτό, στους 25°C ήταν 71±13 παλμοί/λεπτό, στους 34°C 75±13παλμοί/λεπτό και στους 40°C 110±15 παλμοί/λεπτό. Κάποιοι άλλοι ερευνητές μελέτησαν τις αποκρίσεις μετά από βύθιση σε θερμοκρασία 14°C για μία ώρα, 3 φορές την εβδομάδα, για 4-6 συνεχόμενες εβδομάδες (Jansky et al., 1996). Παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία του σώματος τείνει να αυξηθεί στην αρχή, στα πρώτα 20 λεπτά της βύθισης, έπειτα μειώνεται κατά 0.75°C, όταν και η μέγιστη μεταβολική απόκριση αγγίζει το 100% στο τέλος της διαδικασίας βύθισης. Οι Toner et al.(1999), μελέτησαν τις αποκρίσεις σε γυναίκες με περισσότερο και λιγότερο ποσοστό λίπους μετά από βύθιση σε 17°C για 120 λεπτά και βρήκαν επίσης ότι οι χαμηλού λίπους γυναίκες είχαν και χαμηλότερη θερμοκρασία πυρήνα.

2.3.9. Άσκηση σε ρηχό νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες

Η βασική έρευνα που εστιάζει στην επίδραση της θερμοκρασίας του νερού κατά την άσκηση σε αυτό, έχει βασιστεί αρχικά στην κολύμβηση και τα τελευταία 20 έτη και στην άσκηση στο νερό σε κάθετη θέση, σε κυκλοεργόμετρα και δαπεδοεργόμετρα.

Ο McArdle (1976) μελέτησε την επίδραση τριών θερμοκρασιών στην καρδιακή συχνότητα κατά την άσκηση στο κυκλοεργόμετρο στο νερό (18°C, 25°C και 33°C) και στο κυκλοεργόμετρο στο έδαφος (25°C-27°C), σε μέγιστο αυξανόμενο πρωτόκολλο 5 λεπτών άσκησης και 10 λεπτά ξεκούρασης ανάμεσα στα στάδια. Παρατήρησε ότι σε όλες τις συνθήκες η σχέση της πρόσληψης οξυγόνου ήταν γραμμική με την αύξηση του φορτίου και ήταν παρόμοια στους 33°C και στον αέρα, ενώ στα υπομέγιστα φορτία στους 18 και 25°C η πρόσληψη οξυγόνου ήταν μεγαλύτερη από τους 33°C. Μειωμένη ΚΣ κατά 5 παλμούς στους 18°C από τους 25°C, ενώ έως και 15 παλμούς χαμηλότερη από τους 33°C. Στους 33°C και στον αέρα υπήρξε έντονη αύξηση του όγκου παλμού με την αύξηση της πρόσληψης οξυγόνου, κάνοντας πλατό στα μέγιστα φορτία. Στους 18°C παρατηρήθηκε ο μεγαλύτερος όγκος παλμού, με ταχεία μείωσή του όμως στα μέγιστα φορτία, τείνοντας να πλησιάσει τον όγκο παλμού των 33°C και του αέρα. Παράλληλα, υπήρξε αύξηση της καρδιακής συχνότητας, ώστε να κρατηθεί σταθερή η καρδιακή παροχή, καθώς αυτή είναι το γινόμενο του όγκου παλμού, δηλαδή της ποσότητας αίματος που εξωθεί η καρδιά σε κάθε συστολή με την καρδιακή συχνότητα. Η αύξηση της καρδιακής συχνότητας στους 33°C και οι παρόμοιες θερμοκρασίες με αυτές κατά την άσκηση στον αέρα οφείλονται όχι στην αύξηση του έργου αλλά στην προσπάθεια του σώματος να αποβάλλει τη θερμοκρασία. Οι Pymay et al.(1977) μελέτησαν την επίδραση των θερμοκρασιών (20°C-40°C) κατά την άσκηση σε κυκλοεργόμετρο στο νερό για 15 λεπτά σε υπομέγιστα φορτία, στην πρόσληψη O₂ και την θερμοκρασία πυρήνα και μυών.

Βρήκαν ότι η VO_{2max} δεν φτάνει στα ανώτερα επίπεδα στις χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού και του σώματος. Στους $40^{\circ}C$ θερμοκρασίας νερού βρήκαν ότι η θερμοκρασία πυρήνα αυξάνεται υπερβολικά ενώ η πρόσληψη O_2 μειώνεται. Σε έρευνα που πραγματοποίησαν οι Avellini et al., (1983) σε θερμοκρασίες νερού $32^{\circ}C$ και $20^{\circ}C$, με νεαρούς άντρες, σε βύθιση μέχρι το λαιμό, πραγματοποιήθηκε άσκηση στο κυκλοεργόμετρο, μέσα κι έξω από το νερό, στο 75% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, με μία ώρα άσκηση την ημέρα. Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου καθορίστηκε στο κυκλοεργόμετρο και δαπεδοεργόμετρο, 4 εβδομάδες πριν την άσκηση και μετά. Κατά την περίοδο της προπόνησης η καρδιακή συχνότητα κατά την άσκηση στους $20^{\circ}C$ ήταν 20 παλμούς το λεπτό χαμηλότερη από την άσκηση στο έδαφος και 10 παλμούς το λεπτό χαμηλότερη από την άσκηση στο νερό σε θερμοκρασία $32^{\circ}C$, παρά το γεγονός ότι δούλευαν στην ίδια πρόσληψη οξυγόνου (75% VO_{2max}). Επίσης, η VO_{2max} παρουσίασε βελτίωση 16% κατά την άσκηση στο έδαφος, 13% κατά την άσκηση στο νερό σε θερμοκρασία $32^{\circ}C$ και 15% σε θερμοκρασία $20^{\circ}C$. Οι McArdle et al. (1984) μελέτησαν τις αποκρίσεις σε άντρες και γυναίκες κατά την άσκηση για μία ώρα σε 36-W στο κυκλοεργόμετρο σε $20^{\circ}C$, $24^{\circ}C$ και $28^{\circ}C$ στο νερό και στο έδαφος. Βρήκαν ότι οι άντρες που είχαν περίπου 28% λίπος διατήρησαν τις ίδιες τιμές σε όλες τις θερμοκρασίες για την θερμοκρασία πυρήνα και την κατανάλωση οξυγόνου με αυτές στον αέρα. Για τις γυναίκες με λίπος περίπου 25.2% και κάτω, παρατηρήθηκε σταθερή μείωση στη θερμοκρασία του πυρήνα σε όλες τις θερμοκρασίες. Σε σύγκριση με τους άντρες με τα ίδια ποσοστά λίπους οι γυναίκες η θερμοκρασία του πυρήνα έπεσε σημαντικά στους $20^{\circ}C$ και $24^{\circ}C$, κάτι που μπορεί να οφείλεται στο βαθμό ευαισθησίας στην αντίδραση της θερμογένεσης, στις διαφορές του σωματικού βάρους και στο πηλίκο επιφάνειας/μάζα ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες. Οι Whitley et al.(1987) μέτρησαν την καρδιακή συχνότητα σε νεαρές γυναίκες κατά την βάδιση στο νερό και βύθιση μέχρι τη μέση (25 με $27^{\circ}C$) και την σύγκριναν με τις τιμές που πήραν από την βάδιση στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος, σε θερμοκρασία αέρα $25^{\circ}C$ μέχρι $29^{\circ}C$. Οι δοκιμαζόμενες εκτέλεσαν βάδιση 200μ. στο νερό σε αυξανόμενες ταχύτητες (2.55, 2.77, 3.02 και 3.31 km/hr) με δίλεπτο διάλειμμα ανάμεσα σε κάθε αλλαγή ταχύτητας. Την ίδια απόσταση και με τις ίδιες ταχύτητες έκαναν στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος. Σε αυτό το βάθος βύθισης, οι τιμές της ΚΣ ήταν υψηλότερες κατά τη βύθιση στο νερό, καθώς αυξάνονταν η ταχύτητα, φτάνοντας αύξηση 135% και 96 παλμούς το λεπτό από την ηρεμία,σε αντίθεση με το περπάτημα στο έδαφος που έφτασε το 19% και 13 παλμούς το λεπτό. Οι Gleim & Nicholas (1989), μελέτησαν την επίδραση στην καρδιακή συχνότητα και την πρόσληψη οξυγόνου κατά την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο με βύθιση μέχρι τη μέση, σε θερμοκρασίες $30.5^{\circ}C$ και $36.1^{\circ}C$, στις ίδιες ταχύτητες και διαπίστωσαν ότι η θερμοκρασία μπορεί να αποτελέσει θερμικό φορτίο στο καρδιαγγειακό σύστημα. Βρήκαν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στη VO_2 στις υψηλές ταχύτητες κατά την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο μέσα κι έξω από το νερό στους $30.5^{\circ}C$, ενώ όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο μειώνεται η VO_2 . Η ΚΣ αυξήθηκε σημαντικά κατά την άσκηση στους $36.1^{\circ}C$, προφανώς ως αποτέλεσμα του μηχανισμού της θερμικής συσσώρευσης στον πυρήνα λόγω της αδυναμίας

αποβολής της θερμότητας από το δέρμα. Σύμφωνα με έρευνες άλλων ερευνητών (Evans et al., 1978; Whitley & Schoene, 1987), η καρδιακή συχνότητα και η πρόσληψη οξυγόνου αυξάνουν κατά τη βάδιση με βύθιση στη μέση, σε σχέση με την άσκηση ιδίων ταχυτήτων στο διάδρομο. Οι Shimizu et al. (1998) μέτρησαν την επίδραση τριών θερμοκρασιών (25°C, 30°C και 35°C) στις αποκρίσεις κατά την βάδιση μιας ώρας στον διάδρομο στο νερό, σε βύθιση μέχρι το στήθος, με ταχύτητες στο 50% της VO₂ max κάθε ατόμου. Στην θερμοκρασία των 35°C παρατηρήθηκε αύξηση στην ΚΣ, λόγω της αυξημένης απαίτησης παροχής αίματος στο δέρμα, όπως και αύξηση της ΚΣ στους 25°C σε σχέση με τους 30°C, λόγω της αντίδρασης του συμπαθητικού από τα σημάδια κρύου από το δέρμα, στην προσπάθεια για θερμογένεση. Όμοια, οι Hall et al. (1998) με άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο στο νερό και στην ξηρά σε θερμοκρασίες 28°C και 36°C βρήκαν ΚΣ στο ζεστό νερό υψηλότερη (115 παλμούς/λεπτό) σε σχέση με το κρύο νερό (99 παλμούς/λεπτό) και την ξηρά (100 παλμούς/λεπτό), αύξηση της συστολικής πίεσης μετά την άσκηση στο ζεστό νερό (124.75 έναντι 98) και μείωση της διαστολικής πίεσης (54 έναντι 66).

Συνοπτικά, μπορούμε να πούμε ότι τα αίτια αύξησης της καρδιακής συχνότητας είναι η ένταση της άσκησης, η αυξημένη θερμοκρασία κατά την οποία εκτελείται η άσκηση για την αποβολή θερμότητας και το κρύο για τη θερμογένεση.

2.3.10. Αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά την άσκηση στο ρηχό νερό

Η αντιλαμβανόμενη κόπωση είναι ένας δείκτης υποκειμενικής έντασης στην άσκηση, η οποία μετριέται με την κλίμακα του Borg (1982). Η κλίμακα παρουσιάζει γραμμική κορύφωση ανάλογα με την ένταση της άσκησης, από το 6 μέχρι το 20, σε μια αντιστοιχία καρδιακής συχνότητας από το 60-200 παλμούς/λεπτό (περίπου 1 βαθμός της κλίμακας αντιστοιχεί σε 10 καρδιακούς παλμούς). Ενώ αρχικά αναφέρθηκε συσχέτιση $r=0.85$ ανάμεσα στην καρδιακή συχνότητα και την αντιλαμβανόμενη κόπωση, ωστόσο υπάρχουν παράγοντες όπως η πρόσληψη οξυγόνου, ο αερισμός, οι κατεχολαμίνες και η γλυκόζη στο αίμα, που συμβάλλουν στο γενικό αίσθημα της κόπωσης (Mihevic, 1981). Η κλίμακα του Borg για την αντιλαμβανόμενη κόπωση δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την ηλικία, το φύλο, το είδος της άσκησης και την φυσική κατάσταση (Boutcher et al. 1989; Demello et al. 1987; Faulkner et al. 2007; Eston et al. 2012).. Η αξιολόγηση στην κλίμακα 10-11 αντιστοιχεί στο κατώφλι γαλακτικού, το 11-13 αντιπροσωπεύει την μέτριας έντασης άσκηση ενώ η 13-15 αφορά άσκηση με μεγαλύτερη ένταση στο δεύτερο γαλακτικό κατώφλι (Hetzler et al., 1991; Boutcher et al., 1989). Μετά το 14 στην κλίμακα έχουμε εισαγωγή αναερόβιας ενέργειας (Zippers et al., 2007). Η άσκηση στο 13 της κλίμακας Borg γίνεται σχετικά ευχάριστα. Σε έρευνα που έγινε σε προσδεμένη κολύμβηση βρέθηκε συσχέτιση ανάμεσα στην ΚΣ, την VO₂ και το γαλακτικό (Ueda & Kurokawa, 1995). Σημαντική συσχέτιση $r=0.99$ ανάμεσα στην ΚΣ και την αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά το περπάτημα στο δαπεδοεργόμετρο στο νερό βρήκαν οι Shono et al. (2000) ενώ κατά το τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο στο

νερό με βύθιση μέχρι τη μέση βρέθηκε μεγαλύτερη RPE σε σχέση με το τρέξιμο στο δαπεδοεργόμετρο στην ξηρά, σε υπομέγιστη ένταση, λόγω της μεγαλύτερης ενεργειακής απαίτησης και της αντίστασης στο νερό (Lazzari & Meyer, 1997). Όμοια οι Hall et al. (1998) βρήκαν μεγαλύτερες τιμές RPE κατά το τρέξιμο σε δαπεδοεργόμετρο στο νερό. Άλλοι ερευνητές δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά το τρέξιμο σε βαθύ νερό και στο στίβο (11έναντι 15.2) και στο τρέξιμο στο βαθύ νερό και στο δαπεδοεργόμετρο (9.60 έναντι 9.65) (Denadai et al., 1997; Nakanishi et al., 1999).

Μια άλλη ομάδα ερευνητών (Hamer et al., 1997) μελέτησαν την σχέση ανάμεσα στην HR και την RPE κατά το τρέξιμο μέσα στο νερό και στο έδαφος. Νεαροί εθελοντές έτρεξαν στο δαπεδοεργόμετρο, με τη χρήση μετρονόμου για τον καθορισμό της ταχύτητας, ξεκινώντας από 60 βηματισμούς το λεπτό, 64, 68, 72, 76 και έφτασαν μέχρι τους 80 βηματισμούς το λεπτό, διατηρώντας την κάθε ταχύτητα για 4 λεπτά και 8 λεπτά περπάτημα αποκατάστασης ενδιάμεσα. Η θερμοκρασία της πισίνας ήταν 27°C. Οι ταχύτητες στο δαπεδοεργόμετρο βρέθηκαν μετά από πιλοτική έρευνα να είναι αντίστοιχες των βηματισμών στο δαπεδοεργόμετρο και ορίστηκαν αντίστοιχα σε 7, 8, 9, 10, 11, 12 km.h-1. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν μια γραμμική σχέση ανάμεσα στην ΚΣ και RPE και στους δύο τρόπους τρεξίματος. Δηλαδή, οι τιμές της καρδιακής συχνότητας ανεβαίνουν καθώς ανεβαίνει και η RPE, αλλά δεν είναι οι ίδιες για μια δοσμένη τιμή της RPE μέσα στο νερό κι έξω από αυτό. Οι Nakanishi, Kimura & Yoko (1999) βρήκαν ότι η καρδιακή συχνότητα και αντιλαμβανόμενη κόπωση αποτελούν δείκτες καθορισμού της έντασης της άσκησης στο περπάτημα στο νερό σε ηλικιωμένους άντρες ενώ οι Shono et al. (2000) μέτρησαν, σε ηλικιωμένες γυναίκες, την συσχέτιση ανάμεσα στην καρδιακή συχνότητα και την αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά το περπάτημα μέσα στο νερό, σε βύθιση μέχρι την ξιφοειδή απόφυση και θερμοκρασία νερού 30°C. Βρέθηκε ότι η καρδιακή συχνότητα και η VO₂ αυξάνονται ανάλογα με την αύξηση της ταχύτητας, έχουν γραμμική σχέση μεταξύ τους καθώς και γραμμική είναι και η σχέση ανάμεσα στην καρδιακή συχνότητα και αντιλαμβανόμενη κόπωση. Μετρήθηκαν οι φυσιολογικές αποκρίσεις μετά από άσκηση στο νερό στο δαπεδοεργόμετρο, σε εντάσεις που καθορίστηκαν βάση της αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE 13), για 20 λεπτά, σε βάθος βύθισης μέχρι την ξιφοειδή απόφυση και σε δύο θερμοκρασίες νερού, 31° C και 35°C (Fujishima & Shimizu, 2003). Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές στην VO₂ και ΚΣ ανάμεσα στα δύο είδη άσκησης, κάτι που δείχνει ότι και η αντιλαμβανόμενη κόπωση μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο δείκτη για τον καθορισμό της έντασης της άσκησης στο νερό, για τους ηλικιωμένους, μόνο στις συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Ωστόσο, επειδή η καρδιακή συχνότητα είναι μικρότερη κατά τη βύθιση στο νερό (McArdle et al., 1976, Shimizu et al., 1998), η ένταση της άσκησης πρέπει να καθορίζεται όχι μόνο με την καρδιακή συχνότητα, αλλά και με βάση την σχέση ανάμεσα στην καρδιακή συχνότητα και την αντιλαμβανόμενη κόπωση. Σε έρευνά τους οι Silvers et al. (2007) σε αυξανόμενα φορτία μέγιστης έντασης μέχρι εξάντλησης σε δαπεδοεργόμετρο στο νερό, σε βύθιση μέχρι την ξιφοειδή απόφυση και σε νερό 28°C, με αυξημένη αντίσταση από πίδακες νερού και στο έδαφος, σε επικλινές διάδρομο, δεν βρήκαν διαφορά στην αντιλαμβανόμενη κόπωση κατά την άσκηση

μέσα κι έξω από το νερό στα δαπεδοεργόμετρα. Ίσως αυτό να εξηγείται από το γεγονός ότι μέσα στο νερό υπήρχε αντίστοιχη αντίσταση του νερού όπως και στο έδαφος υπήρχε κλίση στο δαπεδοεργόμετρο. Οι Alberton et al. (2010) σε άλλη έρευνα με νεαρές γυναίκες βρήκαν υψηλή συσχέτιση ($r=0.65$) ανάμεσα στην καρδιακή συχνότητα και την αντιλαμβανόμενη κόπωση και την πρόσληψη οξυγόνου και αντιλαμβανόμενη κόπωση ($r=0.60$).

2.3.11. Μεταβολικές αποκρίσεις γαλακτικού και γλυκόζης

Τα επίπεδα γαλακτικού στο αίμα κατά την ηρεμία είναι περίπου 1 έως 2 mmol/L αλλά με την έντονη άσκηση μπορεί να ξεπεράσουν και τα 20mmol/L, καθώς ο ρυθμός παραγωγής του ξεπερνάει το ρυθμό απομάκρυνσής του. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την άσκηση συμβάλλει στα επίπεδα γαλακτικού, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται κατά την άσκηση στο κρύο (Doubt, 1991). Τα επίπεδα γαλακτικού κατά την άσκηση σε θερμό-ουδέτερο περιβάλλον αυξάνονται ανάλογα με την αύξηση του φορτίου. Καθώς η μυϊκή θερμοκρασία και ο ρυθμός γλυκόλυσης είναι αντιστρόφως ανάλογα, τα επίπεδα γαλακτικού αυξάνονται κατά την άσκηση στο κρύο (Doubt & Hsieh, 1991; Jacobs et al., 1984,1985). Τα επίπεδα γαλακτικού, όμως, είναι αυξημένα στο κρύο νερό από τον κρύο αέρα, δείχνοντας αναερόβια συμμετοχή στο έργο (Goodman et al., 1985; Pendergast, 1988).

Σε άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο στο νερό μέχρι την εξάντληση και θερμοκρασία νερού 28°C και βύθιση μέχρι την ξιφοειδή απόφυση, έχει βρεθεί ότι τα επίπεδα γαλακτικού ήταν παρόμοια ή ελαφρά χαμηλότερα από την άσκηση στο δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος (12.1 έναντι 12.2 mmol/L) (Silvers et al., 2007). Σε συμφωνία με τους προηγούμενους ερευνητές βρίσκονται και οι Nakanishi et al.,1999; Azevedo et al., 2010; Chu et al., 2002; Frangolias & Rhodes., 1995.1996; Glass et al., 1995, οι οποίοι σύγκριναν τις τιμές στο τρέξιμο σε βαθύ νερό με ζώνη επίπλευσης με το δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος και άλλοι ερευνητές, οι οποίοι δεν χρησιμοποίησαν ζώνη επίπλευσης στο βαθύ νερό (Town & Bradley, 1991). Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές ήταν ελαφρά χαμηλότερες στο νερό χωρίς να δίνουν στατιστική σημαντικότητα. Σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες κολύμβησης 20, 26 και 32°C και μέγιστες και υπομέγιστες ταχύτητες, τα επίπεδα του γαλακτικού στο αίμα έφτασαν στο ανώτατο επίπεδο (19mmol/L) στις μέγιστες ταχύτητες και στους 32°C, ενώ στις υπομέγιστες ταχύτητες οι τιμές κυμάνθηκαν από 4.2 έως 5.2 mmol/L ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία, δείχνοντας την επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση (Mougiou & Deligiannis, 1993).

Η γλυκόζη είναι το κύριο σάκχαρο του αίματος κι η κυριότερη πηγή ενέργειας για τον οργανισμό μας. Οι φυσιολογικές τιμές αναφοράς της γλυκόζης στο πλάσμα/ορό αίματος του ανθρώπου κυμαίνονται από 60 έως 110 mg/dl, δηλαδή 3.5 έως 6 mmol/L. Η ελάττωση της γλυκόζης κάτω από αυτά τα επίπεδα χαρακτηρίζεται ως υπογλυκαιμία και είναι ένα χαρακτηριστικό της έντονης μυϊκής άσκησης.

Τα επίπεδα γλυκόζης δεν φαίνεται να επηρεάζονται από το κρύο, καθώς σε άσκηση στο κυκλοεργόμετρο στο νερό σε 18 και 28°C για μία ώρα, δεν

έδειξαν διαφορά στα επίπεδα συγκέντρωσης ή και μείωσής της (Doubt, 1991). Αλλά και κατά την απλή βύθιση σε κρύο νερό τα επίπεδα γλυκογόνου στο αίμα παρέμειναν φυσιολογικά (Young et al., 1989). Κατά την άσκηση σε κρύο περιβάλλον δεν άλλαξαν τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα ενώ η άσκηση σε θερμότερο περιβάλλον ρίχνει τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα (Doubt, 1991).

III. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στη συγκεκριμένη μελέτη που αφορούσε στο τρέξιμο σε βαθύ νερό σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, 24°C και 31°C, πραγματοποιήθηκαν προκαταρκτικές μετρήσεις και μετρήσεις πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, οι οποίες καταγράφηκαν, αναλύθηκαν και μελετήθηκαν διεξοδικά. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν σε 9 υγιείς άρρενες και αφορούσαν στο ύψος, βάρος, ηλικία, ποσοστό % λίπους, μέτρηση τριών δερματοπτυχών (στήθους, κοιλιάς, μηρού), καρδιακής συχνότητας, αντιλαμβανόμενης κόπωσης, γαλακτικού, γλυκόζης, διαστολικής και συστολικής πίεση, θερμοκρασίας σώματος,

3.1. Δοκιμαζόμενοι

Το δείγμα αποτελούνταν από 9 υγιείς (N=9) και αθλητικά ενεργούς άρρενες, με μέσο όρο ηλικίας 22.2±3.1 ετών, βάρους 72.8±5.3kg και ύψους 178.5±5.1cm και με σωματικά χαρακτηριστικά παρόμοια, ώστε να έχουμε περίπου την ίδια κατανομή λίπους σε όλους (6.9±1.7%). Οι δοκιμαζόμενοι ενημερώθηκαν προφορικά και γραπτά για την διαδικασία εκτέλεσης και τη διάρκεια του πρωτοκόλλου λεπτομερώς, τους δόθηκαν εξηγήσεις για τον ορθό τρόπο εκτέλεσής του και αφού συμφώνησαν, υπέγραψαν το έντυπο ενημέρωσης και συγκατάθεσης των δοκιμαζομένων για την συμμετοχή τους στη συγκεκριμένη έρευνα. Επίσης, συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο υγείας δοκιμαζομένων και το ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας. Όλες οι μετρήσεις έγιναν σύμφωνα με τις αρχές της Επιτροπής Δεοντολογίας του ΠΜΣ «Φυσική Αγωγή και Αθλητισμού» του ΕΚΠΑ. Οι δοκιμαζόμενοι πραγματοποίησαν τις μετρήσεις και την εκτέλεση του πρωτοκόλλου στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες με διαφορά μιας εβδομάδας μεταξύ τους.

3.2. Όργανα μέτρησης

3.2.1. Ανθρωπομετρήσεις

Πριν την εκτέλεση των πρωτοκόλλων άσκησης στους δοκιμαζόμενους μετρήθηκαν το ύψος, το βάρος, το ποσοστό λίπους % και καταγράφηκε η ηλικία τους. Η μέτρηση του βάρους έγινε με ζυγαριά ακριβείας στο Εργαστήριο του Υγρού Στίβου, ΣΕΦΑΑ Αθηνών και του ύψους στο ίδιο μέρος. Η μέτρηση του υποδόριου λιπώδους ιστού στους δοκιμαζόμενους έγινε με το δερματοπτυχόμετρο ακριβείας HARPENDEN, με συλλογή δειγμάτων από τρία σημεία, το στήθος, την κοιλιακή χώρα κι το μηρό, στη δεξιά πλευρά του σώματος. Έγιναν δύο μετρήσεις σε κάθε δερματοπτυχή και υπολογίστηκε η μέση τιμή τους. Αν οι τιμές παρουσίαζαν πάνω από 2 χιλιοστά διαφορά, ξαναγινόταν κι άλλη μέτρηση, μετά το πέρας των μετρήσεων των άλλων δερματοπτυχών. Οι δοκιμαζόμενοι στέκονταν όρθιοι με τα χέρια χαλαρά. Η μέτρηση για το στήθος έγινε διαγώνια, στο μισό της απόστασης της πρόσθιας μασχालιαίας γραμμής με τη θηλή, για την κοιλιακή χώρα στα 2 εκ. δεξιά και πλάγια του ομφαλού και για τον μηρό, η μέτρηση έγινε κατακόρυφα, στο μέσο της απόστασης από τις αρθρώσεις ισχίου-γονάτου. Για να γίνει η μέτρηση της κάθε δερματοπτυχής, πιάναμε με τον δείκτη και αντίχειρα την συγκεκριμένη πτυχή του δέρματος και τραβούσαμε προς τα έξω, προσέχοντας να μην πιάσουμε τον μυ. Αφού εφαρμόζαμε τις δαγκάνες πάνω

στην πτυχή, αφήναμε τα δάχτυλα και μετά από 4 δευτερόλεπτα, καταγράφαμε την τιμή σε mm. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της σωματικής πυκνότητας είναι η εξίσωση Jackson & Pollock (1978): $BD = 1.10938 - (0.0008267 \times \text{sum of chest, abdomen and thigh skinfolds in mm}) + (0.0000016 \times \text{square of the sum of chest, abdomen and thigh}) - (0.0002574 \times \text{age})$ και για την μετατροπή της πυκνότητας λίπους σε % λίπους η εξίσωση Siri (1961): $(4.95/\text{πυκνότητα}-4.5)*100$.

3.2.2. Μέτρηση καρδιακής συχνότητας

Η μέτρηση της καρδιακής συχνότητας, η οποία και αποτέλεσε βασική παράμετρο μέτρησης για την σωστή ερμηνεία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από το πρωτόκολλο, καταμετρούνταν κατά τη βύθιση στο νερό σε ηρεμία, πριν την έναρξη της άσκησης, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της άσκησης μέσα στο νερό και στις δύο θερμοκρασίες (24°C και 31°C) και για τρία λεπτά μετά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, με βύθιση στο νερό, αφού ο δοκιμαζόμενος εξήλθε από το νερό. Για την καταγραφή της καρδιακής συχνότητας χρησιμοποιήθηκε τηλεμετρική καταγραφή με πομπό που εφαρμόζεται στον δοκιμαζόμενο και δέκτη (Hosand Telemetry Heart Rate Monitoring Systems), το οποίο ήταν συνδεδεμένο ασύρματα με τον υπολογιστή και κατέγραφε και αποθήκευε συνεχώς τις τιμές ΚΣ του κάθε δοκιμαζόμενου. Στους δοκιμαζόμενους πριν εισέλθουν στο νερό τους τοποθετούνταν στο στήθος το σύστημα μέτρησης της ΚΣ και φορώντας ένα αθλητικό μπούστο στήριζαν τον πομπό, ώστε να μην ενοχλεί και να βρίσκεται σε σταθερή θέση κατά τη διάρκεια της άσκησης, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος απώλειάς του. Τα δεδομένα της ΚΣ αποστέλλονταν στον υπολογιστή, καθώς γινόταν ασύρματη λήψη τους, καταγράφονταν και αποθηκεύονταν, ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους και η επεξεργασία τους. Πριν την έναρξη της οριστικής καταγραφής της ΚΣ για κάθε δοκιμαζόμενο, έγιναν δοκιμές ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος καταγραφής της ΚΣ και η ολοκληρωμένη διεξαγωγή των μετρήσεων. Το καρδιοσυχνόμετρο που χρησιμοποιήθηκε διαθέτει εγκυρότητα και αξιοπιστία και έχει χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της ΚΣ από πληθώρα δημοσιευμένων ερευνών (Hosand, TM200, Hosand Technology, Verbania, Italy).

3.2.3. Μέτρηση γαλακτικού, γλυκόζης και θερμοκρασίας σώματος

Η μέτρηση του γαλακτικού και της γλυκόζης στο αίμα έγινε αμέσως πριν και ένα λεπτό μετά το πέρας της κάθε δοκιμασίας, από την άκρη του δαχτύλου των δοκιμαζομένων. Για τη μέτρηση του γαλακτικού χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής άμεσης ανάλυσης Lactate Scout+, ο οποίος και αποδίδει τις τιμές του γαλακτικού σε mmol/L, 10 δευτερόλεπτα μετά την εισαγωγή της ταινίας, εμποτισμένης με το αίμα του κάθε δοκιμαζόμενου (Bonaventura, 2015). Για τη μέτρηση της γλυκόζης αίματος χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής άμεσης ανάλυσης Freestyle freedom, ο οποίος δίνει τις τιμές της γλυκόζης 5 δευτερόλεπτα μετά την εισαγωγή της ταινίας σε μηχανήμα και παρείχε τη δυνατότητα σύνδεσης με τον υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων (Thomas et al., 2008). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με αυτή του γαλακτικού. Για τη λήψη σταγόνας αίματος από κάθε δοκιμαζόμενο χρησιμοποιήθηκαν αποστειρωμένες βελόνες μιας

χρήσης, βαμβάκι, πλαστικά γάντια μιας χρήσης και καλάθια σκουπιδιών, οινόπνευμα για απολύμανση, όλα σύμφωνα με το πρωτόκολλο υγείας για την ασφαλή διεξαγωγή των μετρήσεων.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος πριν και μετά τη βύθιση στο νερό, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό θερμόμετρο μασχάλης Omron, το οποίο και απολυμαίνονταν μετά τη χρήση από κάθε δοκιμαζόμενο.

3.2.4. Μέτρηση πίεσης

Για τη μέτρηση της συστολικής και διαστολικής πίεσης, πριν και μετά τη δοκιμασία, χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρονικό πιεσόμετρο ακριβείας OMRON. Το συγκεκριμένο πιεσόμετρο μετρά και καταγράφει στη μνήμη τη συστολική, τη διαστολική πίεση αλλά και τους παλμούς ανά λεπτό.

3.2.5. Συντήρηση ηλεκτρονικών οργάνων

Στα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα και λειτουργούσαν με μπαταρία (Lactate Scout+, Omron), έγινε αλλαγή μπαταρίας από την αρχή, πριν τη χρησιμοποίησή τους, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία τους κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

3.2.6. Μέτρηση αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE)

Η αντιλαμβανόμενη κόπωση είναι ένας δείκτης υποκειμενικής έντασης στην άσκηση, η οποία μετρείται με την κλίμακα του Borg (1982) και χρησιμοποιείται ευρέως σε ασκήσεις αυξανόμενης έντασης. Η κλίμακα παρουσιάζει γραμμική κορύφωση ανάλογα με την ένταση της άσκησης, από το 6 μέχρι το 20, σε μια αντιστοιχία καρδιακής συχνότητας από το 60-200 παλμούς/λεπτό (περίπου 1 βαθμός της κλίμακας αντιστοιχεί σε 10 καρδιακούς παλμούς) και δείχνει το πώς νιώθει ο κάθε δοκιμαζόμενος, μετά την ολοκλήρωση της κάθε προσπάθειάς του. Στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιήθηκε η δεκαβάθμια κλίμακα Borg για την αντιλαμβανόμενη κόπωση, η οποία και αποτελεί εξέλιξη της 20βαθμιας κλίμακας, η οποία επιδεικνυόταν στους δοκιμαζόμενους μετά την ολοκλήρωση κάθε τρίλεπτης δοκιμασίας.

3.2.7. Ζώνη επίπλευσης

Για να μπορέσουν οι δοκιμαζόμενοι να διατηρήσουν μια σωστή στάση σώματος μέσα στο νερό και να κρατήσουν το κεφάλι και τους ώμους έξω από το νερό, κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, χρησιμοποιήθηκε ζώνη επίπλευσης, κατάλληλη για άσκηση στο νερό (AquaJogger). Οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με τη ζώνη και το τρέξιμο στο βαθύ νερό μία μέρα προηγούμενη των μετρήσεων, για τη σωστή τοποθέτηση και ρύθμισή της, ώστε να μπορέσουν να εκτελέσουν το πρωτόκολλο χωρίς την παραμικρή ενόχληση. Η ζώνη τοποθετήθηκε γύρω από τη μέση και προσαρμόστηκε σωστά από τον κάθε δοκιμαζόμενο ο οποίος έκρινε το πόσο σφιχτά θα είναι, μετά την εφαρμογή των ιμάντων και την ασφάλισή της.

3.2.8. Μετρονόμος

Ο μετρονόμος χρησιμοποιήθηκε ώστε οι δοκιμαζόμενοι να μπορέσουν να κρατήσουν τον ρυθμό που τους υποδεικνύονταν, καθώς αυξάνονταν η ταχύτητα

της άσκησης μέσα στο νερό, μέχρι να φτάσουν στην εξάντληση (Korg CA-1 Chromatic Tuner). Ο μετρονόμος συνδέθηκε με τα ηχεία του κασετοφώνου ώστε οι δοκιμαζόμενοι να έχουν καλή ακουστική του ρυθμού που υποδείκνυε, αποφεύγοντας ηχητικές συγχύσεις.

3.2.9. Χρονόμετρο

Για την ακριβή διεξαγωγή των μετρήσεων στη συγκεκριμένη έρευνα και την σωστή εκτέλεση του πρωτοκόλλου, χρησιμοποιήθηκε χρονόμετρο χειρός (Casio HS-80TW-1EF).

3.2.10. Βαράκια

Για τις ανάγκες του πρωτοκόλλου που αφορούσε στην αυξανόμενη επιβάρυνση σε kg, χρησιμοποιήθηκαν δύο βαράκια καρπού Energetics 0,5 kg το καθένα, τα οποία και εφαρμόστηκαν στο τρίλεπτο που υπαγόρευε το συγκεκριμένο πρωτόκολλο, όπως επίσης και μία ζώνη κατάδυσης, στην οποία τοποθετήθηκαν βάρη 2 kg και η οποία εφαρμόστηκε στους ώμους του δοκιμαζόμενου, τη στιγμή που υπαγόρευε το πρωτόκολλο, για να δημιουργήσει επιπλέον επιβάρυνση κατά την εκτέλεση της μέγιστης αυτής δοκιμασίας. Η ζώνη κατάδυσης δεν τοποθετήθηκε στη μέση για δύο λόγους: πρώτον, επειδή ο δοκιμαζόμενος φορούσε από την αρχή της βύθισής του στο νερό τη ζώνη επίπλευσης και δεύτερον, επειδή ο δοκιμαζόμενος θα δεχόταν την επιβάρυνση κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, χωρίς να σταματήσει, πλησιάζοντας απλά στην άκρη της πισίνας.

3.3. Περιγραφή των δοκιμασιών

Οι 9 δοκιμαζόμενοι μερικές μέρες πριν την εκτέλεση του πρωτοκόλλου, εκπαιδεύτηκαν σχετικά με τον σωστό τρόπο τρεξίματος μέσα στο νερό, φοράοντας ζώνη επίπλευσης, ώστε να μπορούν να κρατήσουν το σώμα και το κεφάλι τους στη σωστή θέση μέσα κι έξω από το νερό. Η τεχνική αυτή τρεξίματος που μοιάζει με το τρέξιμο στην ξηρά, απαιτεί μεγαλύτερη κάμψη του γονάτου και πελματιαία κάμψη του άκρου ποδιού, το κεφάλι σε ευθεία με τον κορμό και οι ώμοι στην ευθεία με τα ισχία (Καραμανίδου, 2013). Επίσης τους δείχτηκε ο σωστός τρόπος χρήσης των χεριών, κατά το επιτόπιο τρέξιμο μέσα στο νερό και η χρησιμότητα του μετρονόμου, ώστε να μπορέσουν να κρατήσουν τον ρυθμό τρεξίματος, ακολουθώντας τον ρυθμό που υποδεικνύει κάθε φορά. Αν δεν μπορέσουν να κρατήσουν τον ρυθμό που υποδείκνυε ο μετρονόμος, οι δοκιμαζόμενοι έπρεπε να σταματήσουν. Σκοπός ήταν να φτάσουν στο μέγιστο της προσπάθειάς τους μέσα στο νερό.

Πριν την εκτέλεση των πρωτοκόλλων έγινε πιλοτική έρευνα και οι ταχύτητες μέσα στο νερό ορίστηκαν έτσι ώστε τα φορτία να ήταν μέγιστα και οι δοκιμαζόμενοι να φτάσουν μέχρι την εξάντληση. Οι δοκιμαζόμενοι χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, των 4 και 5 ατόμων και εκτέλεσαν το πρωτόκολλο σε crossover design. Το πρωτόκολλο σε νερό δύο διαφορετικών θερμοκρασιών 24°C και 31°C, έγινε σε διαφορετικές πισίνες, με διαφορά μίας εβδομάδας το ένα από το άλλο. Η πισίνα με νερό 24°C ήταν η 25άρα πισίνα του ΣΕΦΑΑ, ΕΚΠΑ στη Δάφνη και αυτή των 31°C, ήταν το κλειστό καταδυτήριο του ΟΑΚΑ. Η

θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν αντίστοιχα 30°C και 27°C, η βαρομετρική πίεση 1013 και 1014, ενώ η υγρασία στο χώρο του κολυμβητηρίου ήταν 55% και 75% αντίστοιχα για την πισίνα του ΣΕΦΑΑ και του ΟΑΚΑ. Η πρώτη ομάδα των δοκιμαζόμενων εκτέλεσε πρώτα το πρωτόκολλο στο κρύο νερό και η άλλη στο ζεστό και με μία εβδομάδα διαφορά εκτέλεσαν και το αντίθετο πρωτόκολλο. Οι δοκιμαζόμενοι προσήλθαν στο προκαθορισμένο χώρο σε ορισμένη ώρα, ενώ από πριν τους είχαν δοθεί οδηγίες να απέχουν από κάπνισμα, ξενύχτι ή δραστηριότητα υψηλού στρες, που πιθανά θα επηρέαζε την καρδιακή συχνότητα. Έπειτα, υπέγραψαν το έντυπο ενημέρωσης και συγκατάθεσης των δοκιμαζομένων για την συμμετοχή τους στη συγκεκριμένη έρευνα, συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο υγείας δοκιμαζομένων και το ερωτηματολόγιο φυσικής δραστηριότητας και ενημερώθηκαν ότι, αν δεν αισθάνονταν καλά κατά τη διάρκεια της άσκησης, μπορούσαν να διακόψουν, αν και αυτό δεν θα ήταν το επιθυμητό. Κατόπιν, έγινε η μέτρηση και καταγραφή του βάρους, του ύψους και των δερματοπτυχών στήθους, κοιλιάς και μηρού, όπως προαναφέρθηκε στις ανθρωπομετρήσεις, για τον υπολογισμό του ποσοστού % λίπους. Στη συνέχεια, έγινε αιμοληψία από το δάχτυλο και μέτρηση και καταγραφή της τιμής του γαλακτικού και της γλυκόζης, καθώς επίσης και μέτρηση της συστολικής και διαστολικής πίεσης και θερμοκρασίας του σώματος. Αφού τοποθετήθηκε ο πομπός και ο δέκτης του καρδιοσυχνόμετρου στους δοκιμαζόμενους, έγινε δοκιμή της λειτουργίας της τηλεμετρίας, και κατόπιν έγινε η τρίλεπτη μέτρηση της ΚΣ σε ηρεμία έξω από το νερό. Στη συνέχεια, αφού τοποθετήθηκε στους δοκιμαζόμενους η ζώνη επίπλευσης, βυθίστηκαν στο νερό και μετρήθηκε η ΚΣ για ακόμη ένα τρίλεπτο (Kruel et al., 2009). Οι δοκιμαζόμενοι εξοικειώθηκαν με τη χρήση της ζώνης επίπλευσης και το τρέξιμο στο νερό, όπως τους είχε υποδειχθεί νωρίτερα, επιβεβαίωσαν την καλή ακουστική του μετρονόμου, και ξεκίνησαν ζέσταμα με τρέξιμο με την συγκεκριμένη τεχνική. Όταν αισθάνθηκαν έτοιμοι για να ξεκινήσουν τη δοκιμασία κλιμακούμενου τρεξίματος σε βαθύ νερό, έδωσαν το σήμα για την έναρξη της καταγραφής της ΚΣ. Το πρωτόκολλο ήταν αυξανόμενη προσπάθεια ξεκινώντας το με το στάδιο 1: με ρυθμό μετρονόμου στους 120 b/min, το στάδιο 2: με ρυθμό μετρονόμου στους 140 b/min, το στάδιο 3: με 140 b/min συν την τοποθέτηση 2kg βάρους στους ώμους τους, το στάδιο 4: με 150 b/min +2kg, το στάδιο 5: με 60 b/min +2kg, το στάδιο 6: με 168 b/min +2kg + 1kg (0,5 +0,5 kg βάρος στα χέρια), το στάδιο 7: με 176 b/min +2kg +1kg, το στάδιο 8: με 184 b/min +2kg +1kg, το στάδιο 9: με 192 b/min +2kg +1kg, το στάδιο 10: με 200 b/min +2kg +1kg, το στάδιο 11: με ρυθμό μετρονόμου 208 b/min +2kg +1kg μέχρι να φτάσουν σε εξάντληση. Στο τέλος κάθε τρίλεπτου οι δοκιμαζόμενοι επέλεγαν από μία πλαστικοποιημένη 10-βάθμια κλίμακα Borg το βαθμό που καλύτερα αντιστοιχούσε στην αντιλαμβανόμενη κόπωση στις στιγμές, η οποία και καταγράφονταν, στο ατομικό τους δελτίο. Επίσης, οι δοκιμαζόμενοι ειδοποιούνταν για την επικείμενη αλλαγή ρυθμού, με τη λήξη του κάθε τρίλεπτου. Οι δοκιμαζόμενοι έτρεχαν σε ένα περιορισμένο νοητό τετράγωνο, έτσι ώστε να υπάρχει η αίσθηση της προώθησης αλλά και να μην απομακρύνονται πολύ για την τοποθέτηση του βάρους στους ώμους και τα χέρια τους. Πλησίαζαν στην άκρη της πισίνας, χωρίς να σταματάνε τη δοκιμασία και είτε τους τοποθετούνταν αντίστοιχα τα βάρη πάνω τους είτε έπαιρναν στα χέρια

τους τα βαράκια. Αφού εκτέλεσαν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αυξανόμενης ταχύτητας μέχρι εξάντλησης και σταμάτησαν, οι δοκιμαζόμενοι βγήκαν έξω από την πισίνα, και έγινε η καταγραφή της ΚΣ στο τρίτο λεπτό κατά την επαναφορά. Με την έξοδο τους και το κάθισμα τους σε καρέκλα γινόταν η συλλογή 2 σταγόνων αίματος από το δάχτυλο, για την άμεση μέτρηση του γαλακτικού και της γλυκόζης. Ακολουθούσε η μέτρηση της αρτηριακής πίεσης και της θερμοκρασίας του σώματος και στη συνέχεια απομακρύνονταν από το χώρο της πισίνας, ώστε να μην έλθουν σε επαφή με τον επόμενο δοκιμαζόμενο και τον επηρεάσουν ψυχολογικά. Κάθε φορά ήταν μόνο ένας δοκιμαζόμενος στο χώρο της πισίνας. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε επακριβώς και στις δύο δοκιμασίες, στο κρύο και στο ζεστό νερό.

3.3.1. Κλιμακούμενη άσκηση μέχρι εξάντλησης

Για να πούμε ότι έχουμε πετύχει την μέγιστη τιμή της πρόσληψης οξυγόνου πρέπει η πρόσληψη αυτή να φτάσει στο σημείο όπου δεν μπορεί πια να αυξηθεί άλλο, καθώς αυξάνεται η ένταση της προσπάθειας, να φτάσει δηλαδή σε πλατό. Όμως υπάρχουν και δευτερεύοντα κριτήρια επίτευξης της μέγιστης κόπωσης, όπως η υποκειμενική κόπωση να είναι στο 10 στη δεκαβάθμια κλίμακα Borg (Gibson et al, 1979; Hammond & Froelicher, 1984), η συγκέντρωση γαλακτικού στο αίμα να είναι 10mmol.l-1 (Shephard et al, 1968), η καρδιακή συχνότητα να είναι μην έχει διαφορά πάνω από 10 παλμούς/λεπτό από την προβλεπόμενη ΚΣ με βάση την ηλικία (Gibson et al, 1979). Γενικά, η διαδικασία επιβάρυνσης πρέπει να ακολουθεί κάποια κριτήρια όπως να είναι συνεχής ή διαλειμματική, η διάρκεια του κάθε σταδίου να είναι 1-3 λεπτά και να μπορεί να ακολουθεί το ρυθμό επιβάρυνσης του σταδίου για πάνω από ένα λεπτό.

3.3.2. Πρωτόκολλο επιβάρυνσης

Μετά από πιλοτικές μελέτες το πρόγραμμα σταδιακής επιβάρυνσης με τρέξιμο στο βαθύ νερό, διαμορφώθηκε αναλυτικά ως εξής (Πίνακας 3.1):

Πίνακας 3.1. Πρωτόκολλο επιβάρυνσης

Κλιμακούμενη άσκηση με τρέξιμο σε βαθύ νερό σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες 24°C και 31°C			
Στάδιο	Χρόνος (λεπτά)	Συχνότητα διασκελισμού (strides/min)	Επιβάρυνση (kg)
1	3	60	0
2	6	70	0
3	9	70	2
4	12	75	2
5	15	80	2
6	18	84	3
7	21	88	3
8	24	92	3
9	27	96	3
10	30	100	3

Η τοποθέτηση των αρχικών δύο κιλών έγινε στους ώμους και το άλλο ένα κιλό μοιράστηκε στα χέρια αντίστοιχα, για την ισομερή εφαρμογή τους και την αποφυγή ενόχλησης στους δοκιμαζόμενους, κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου.

3.3. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση περιλαμβάνει: α) περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των δοκιμαζομένων (mean±SD) β) σύγκριση ανάμεσα στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες για τις καρδιακές συχνότητες και την αντιλαμβανόμενη κόπωση με διπλή ανάλυση διασποράς (two-way Anova) για εξαρτημένα δείγματα και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (mean±SE) γ) post hoc ανάλυση με Bonferroni test και δ) πολλαπλές δοκιμασίες ελέγχου t για εξαρτημένα δείγματα (paired t-test) όπου εντοπίστηκαν διαφορές ε) ανάλυση συντελεστή συσχέτισης Pearson (r) μεταξύ ΚΣ και RPE και στ) πολλαπλή παλινδρόμηση. Οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με τα πρόγραμμα SPSS 22.0, τα σχήματα με το πρόγραμμα Graph pad-Prism και το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε στο $p < 0.05$.

IV. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρατίθενται πίνακες με τα φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων, τις τιμές μετρήσεων των μεταβλητών και γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων τους.

4.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων

Οι τιμές στα φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων παρουσιάζονται στον πίνακα με τους μέσους όρους (Μ.Ο.) και την τυπική απόκλιση (SD) ενώ οι τιμές στις μεταβλητές της καρδιακής συχνότητας, αντιλαμβανόμενης κόπωσης, αρτηριακής πίεσης, γαλακτικού και γλυκόζης, θερμοκρασίας σώματος και χρόνου μέχρι την εξάντληση, στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού, παρουσιάζονται στους πίνακες με τους μέσους όρους (Μ.Ο.) και το τυπικό σφάλμα (SE).

Στον παρακάτω πίνακα 4.1. παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων που αφορούν στην ηλικία, το ύψος, το βάρος και το ποσοστό % του λίπους τους.

Πίνακας 4.1. Φυσικά χαρακτηριστικά των δοκιμαζόμενων.

Δοκιμαζόμενοι	Ηλικία (έτη)	Ύψος (cm)	Βάρος (kg)	Λίπος (%)
S.T	19	179	64	4.7
E.D	28	180	68	5.3
M.M	21	187	79	5.1
K.M	20	178	80	8.9
D.G	23	174	75	6.6
T.T	20	186	77	6.1
K.O	22	175	70	8.9
N.M	20	176	70	8.9
N.S	26	172	73	8
Mean	22.1	178.5	72.8	6.9
SD	3.0	5.1	5.3	1.7

Στον πίνακα 4.2. παρουσιάζονται οι τιμές της καρδιακής συχνότητας και της αντιλαμβανόμενης κόπωσης ανά στάδιο κλιμακούμενης άσκησης έως την εξάντληση σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού.

Πίνακας 4.2. Καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) και Αντιλαμβανόμενη κόπωση (RPE) σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού.

Πρωτό- κολλο	Κλιμακούμενη άσκηση έως την εξάντληση σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού												
		0 Ηρεμία έδαφος	0 Ηρεμία νερό	1 (3)	2 (6)	3 (9)	4 (12)	5 (15)	6 (18)	7 (21)	8 (24)	9 (27)	10 (30)
ΚΣ (παλμοί /λεπτό)	24°C	76.94±6.34 (9)*	70.47±5.82 (9)	120±9.72 (9)	138.1±10 (9)	145.2±11.84 (9)	155.7±7.83 (9)	163.2±7.47 (8)	162.78±8.26 (6)	168.4±1.84 (4)	173.9±0.67 (3)	175.8 (1)	179.8 (1)
	31°C	66.75±4.65 (9)	67.04±4.88 (9)	127.74±4.2 (9)	141±5.46 (9)	157.33±5.47 (9)	166.9**±6.3 (8)	170.88±4.8 (8)	172.54±5.61 (5)	176.23±4.35 (3)	185.5 (1)		
RPE (#)	24°C	0	0	1.7 ±0.36	3.67±0.62	5.89±0.65	6.77±0.66	7.63±0.70	8.42±0.79	9±0.70	10	10	10
	31°C	0	0	1.56±0.44	3.56±0.5	5.66±0.60	6.37±0.49	8.13±0.51	8.80±0.48	9.33±0.66	10		

Σημείωση: * αριθμός δοκιμαζόμενων που ολοκλήρωσαν το στάδιο

**στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών νερού.

Ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης της άσκησης και το στάδιο στο οποίο εμφανίστηκε η ανώτατη καρδιακή συχνότητα, σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού φαίνονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3. Συνολικός χρόνος εκτέλεσης της άσκησης και στάδιο κατά το οποίο σημειώθηκε η ανώτατη καρδιακή συχνότητα (ΚΣ).

	24°C	31°C
Συνολικός χρόνος άσκησης (λεπτά)	19.16±1.83*	16.61±1.51
Στάδιο εμφάνισης ανώτατης ΚΣ(#)	6.55±0.62**	5.77±0.46

Σημείωση: * στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του χρόνου άσκησης στο κρύο και ζεστό νερό $p<0.05$

** στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σταδίων όπου εμφανίστηκε η ανώτατη καρδιακή συχνότητα στις δύο θερμοκρασίες νερού $p<0.05$.

Στον πίνακα 4.4. παρουσιάζονται τα επίπεδα γαλακτικού και γλυκόζης στο αίμα πριν και μετά την άσκηση σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού.

Πίνακας 4.4. Επίπεδα γαλακτικού και γλυκόζης αίματος (mmol/L).

		24°C	31°C
Γαλακτικό (mmol/L)	Πριν	3.5±0.74	3.64±0.62
	Μετά	9.31±1.34*	10.87±0.95**
Γλυκόζη (mmol/L)	Πριν	97.25±2.48	103.88±2.80
	Μετά	103.37±6.53	95.22±8.23

Σημείωση: *στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ηρεμίας και άσκησης στο κρύο νερό ($p<0.05$)

**στατιστικά σημαντική διαφορά στα επίπεδα γαλακτικού μεταξύ επιπέδου ηρεμίας και άσκησης στο ζεστό νερό $p=0.000$.

Οι τιμές της αρτηριακής πίεσης και της θερμοκρασίας του σώματος, πριν και μετά την άσκηση σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5. Αρτηριακή πίεση (mmHg) και θερμοκρασία σώματος (°C).

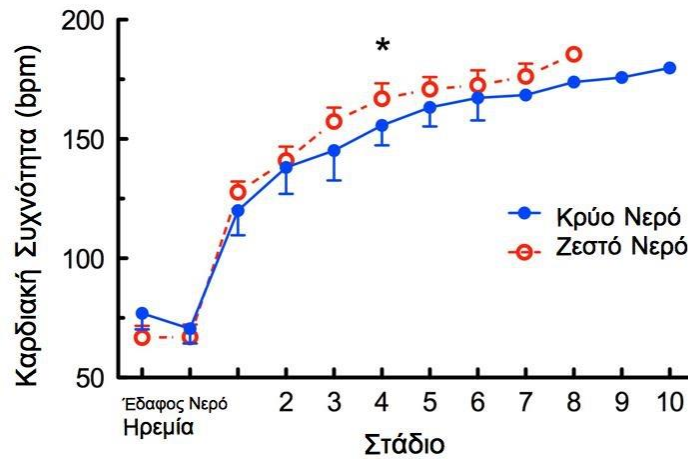
		24°C	31°C
Συστολική Πίεση (mmHg)	Πριν	127.22±6.62	128.77±4.67
	Μετά	129.88±7.48	145.66±6.51*
Διαστολική πίεση (mmHg)	Πριν	86±6.99	84.55±2.99
	Μετά	79.88±2.80	93.33±7.69
Θερμοκρασία σώματος (°C)	Πριν	36.58±0.05	36.28±0.09
	Μετά	35.91±0.14**	36.17±0.23

Σημείωση: *στατιστικά σημαντική διαφορά στη συστολική πίεση μεταξύ επιπέδου ηρεμίας και άσκησης στο ζεστό νερό ($p=0.008$) και στατιστικά σημαντική διαφορά στη συστολική πίεση μετά την άσκηση ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες ($p=0.032$).

** στατιστικά σημαντική διαφορά στη θερμοκρασία σώματος μεταξύ επιπέδου ηρεμίας και άσκησης στο κρύο νερό ($p=0.001$).

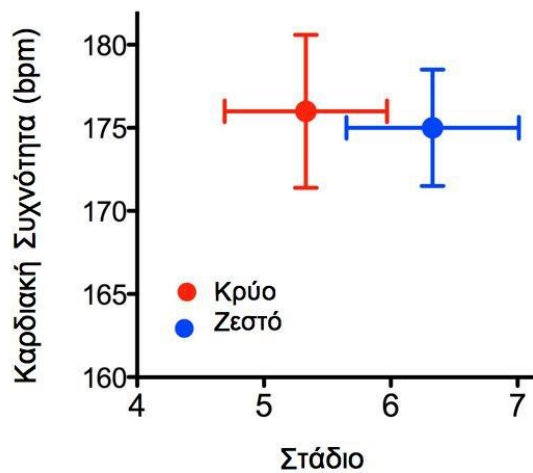
4.2. Καρδιακή συχνότητα.

Στον πίνακα 4.2 φαίνονται οι μέσες τιμές και το τυπικό σφάλμα της ΚΣ και RPE, οι οποίες και αποτελούν το μέσο όρο του τρίτου λεπτού, των ατόμων που εκτέλεσαν το πρωτόκολλο στο κρύο και το ζεστό νερό. Στο ζεστό νερό οι δοκιμαζόμενοι άρχισαν να εγκαταλείπουν την προσπάθεια πιο νωρίς από τους δοκιμαζόμενους στο κρύο νερό. Υπάρχει μια τάση να είναι πιο υψηλές οι τιμές στο ζεστό νερό αλλά η μόνη στατιστική σημαντικότητα που παρατηρήθηκε είναι στο τέταρτο στάδιο ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες $p<0.05$. Ωστόσο, η διπλή ανάλυση διασποράς (2-way ANOVA) για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, δεν έδειξε καμία στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα στην ΚΣ στις δύο θερμοκρασίες, ανά στάδιο (Σχήμα 1). Η στατιστική ανάλυση με t-test επίσης έδειξε σημαντικότητα ανάμεσα στις μέγιστες ΚΣ που σημειώθηκαν στις δύο θερμοκρασίες.



Σχήμα 1. Καρδιακή συχνότητα ανά στάδιο στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού

Στο Σχήμα 2. φαίνονται οι ανώτατες τιμές της καρδιακής συχνότητας και στις δύο θερμοκρασίες, στο κρύο και το ζεστό νερό και τα στάδια στα οποία εμφανίστηκαν οι ανώτατες τιμές. Για το ζεστό νερό η ανώτατη καρδιακή συχνότητα εμφανίστηκε νωρίτερα έναντι του κρύου νερού στο στάδιο 5.56 ± 0.53 έναντι 6.78 ± 0.68 με $p=0.005$. Η απόλυτη ανώτατη ΚΣ ανεξάρτητα από στάδιο δεν διέφερε 175 ± 4.5 έναντι 174 ± 3.4 παλμούς/λεπτό ($p=0.88$). Τα στάδια στα οποία εμφανίζεται η ανώτατη καρδιακή συχνότητα εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες, στο κρύο και ζεστό νερό με ($p=0.043$) (Πίνακας 4.5).

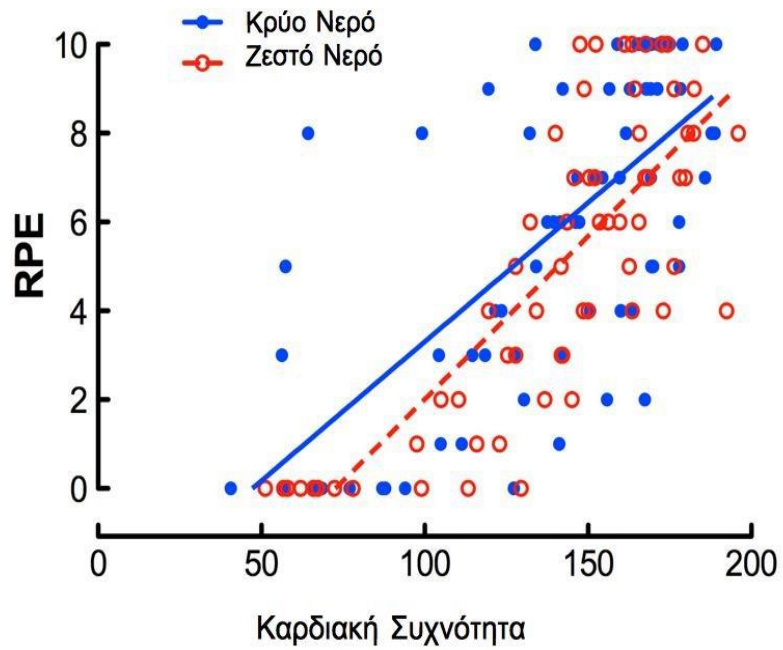


Σχήμα 2. Ανώτατες τιμές καρδιακής συχνότητας και στάδιο εμφάνισης στις δύο θερμοκρασίες

4.3. Αντιλαμβανόμενη κόπωση

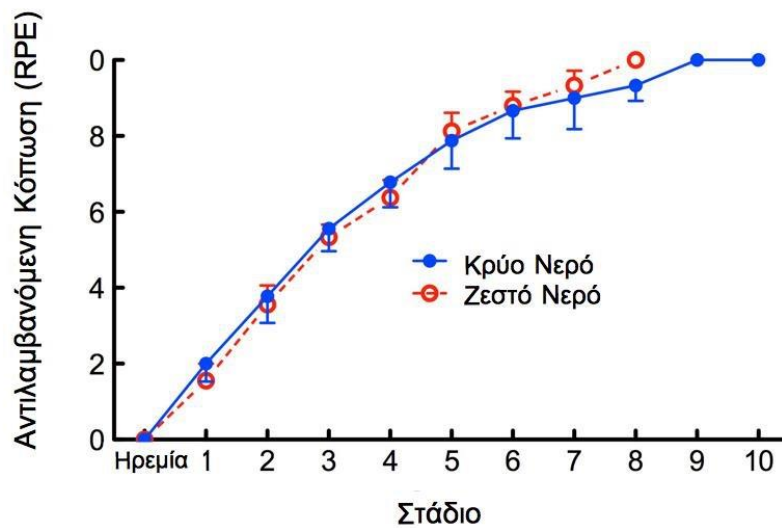
Οι επαναλαμβανόμενοι έλεγχοι με t-test για εξαρτημένα δείγματα έδειξαν στατιστική σημαντικότητα ανάμεσα στις τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες νερού, ανάμεσα στα στάδια. Συγκεκριμένα, στην αντιλαμβανόμενη κόπωση στο κρύο νερό και στο ζεστό νερό βρέθηκε σημαντικότητα $p < 0.05$ μεταξύ των σταδίων, από το στάδιο ηρεμίας μέσα στο νερό μέχρι το στάδιο πέντε. Και στις δύο συνθήκες νερού οι δοκιμαζόμενοι έφτασαν στην εξάντληση με την αντιλαμβανόμενη κόπωση στο 10 της δεκαβάθμιας κλίμακας Borg. Δεν βρέθηκε στατιστική σημαντικότητα στα στάδια ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες.

Στο Σχήμα 3. εμφανίζονται οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης και στις δύο θερμοκρασίες νερού, όπου φαίνεται ότι οι τιμές στο ζεστό νερό είναι αρκετά χαμηλές σε σχέση με τις τιμές στο κρύο νερό, παρά τις αυξανόμενες τιμές της καρδιακής συχνότητας.



Σχήμα 3. Αντιλαμβανόμενη κόπωση και καρδιακή συχνότητα σε δύο θερμοκρασίες

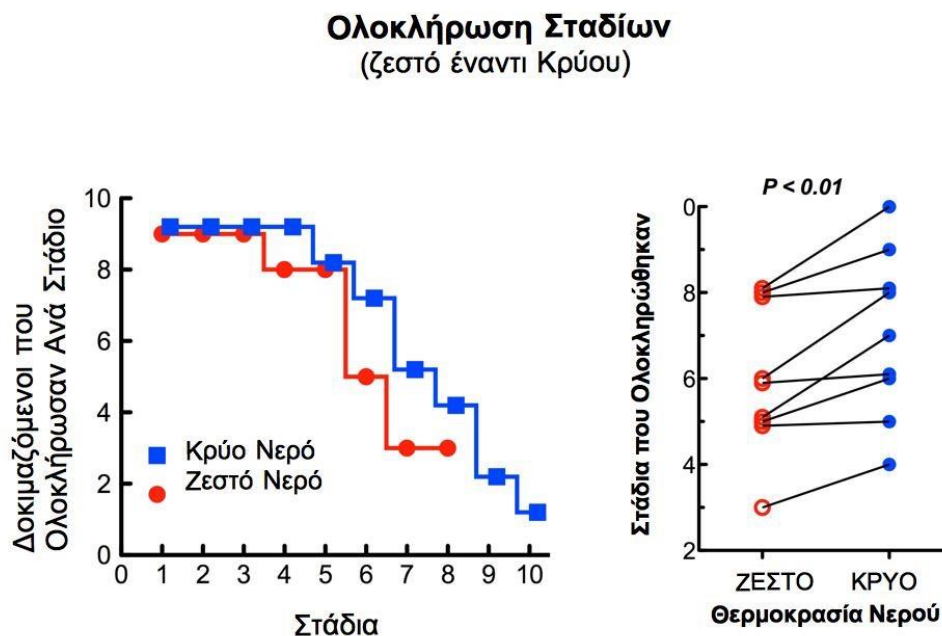
Στο Σχήμα 4. παρουσιάζονται οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης ανά στάδιο άσκησης και στις δύο θερμοκρασίες νερού, στο κρύο και στο ζεστό, να έχουν παράλληλη πορεία, να μην παρουσιάζουν όμως στατιστική σημαντικότητα. Στα τελευταία μόνο στάδια στο ζεστό νερό φαίνονται να διαφοροποιούνται οι τιμές, καθώς φτάνουν στην εξάντληση οι δοκιμαζόμενοι νωρίτερα σε σχέση με το κρύο νερό.



Σχήμα 4. Αντιλαμβανόμενη κόπωση ανά στάδιο άσκησης στις δύο θερμοκρασίες νερού

4.4. Συνολικός χρόνος άσκησης

Ο χρόνος μέχρι την εξάντληση κατά την εκτέλεση του πρωτοκόλλου μέσα στο ζεστό είναι σημαντικά μικρότερος (16.61 ± 1.51 λεπτά) σε σχέση με το χρόνο άσκησης στο κρύο νερό (19.16 ± 1.83 λεπτά), με στατιστική σημαντικότητα $p=0.036$ (Πίνακας 4.3). Το στάδιο στο οποίο εμφανίστηκε η ανώτατη ΚΣ ήταν για το κρύο νερό το 6.55 ± 0.62 ενώ για το ζεστό νερό το 5.77 ± 0.46 (Σχήμα 2), με στατιστική σημαντικότητα $p=0.043$ (Πίνακας 4.3). Η ανάλυση των παραπάνω τιμών έγινε με t-test. Στο Σχήμα 5 φαίνεται η ολοκλήρωση των σταδίων στο ζεστό νερό σε σχέση με το κρύο και η τάση των δοκιμαζόμενων να εξαντλούνται πιο νωρίς στην άσκηση στο ζεστό νερό.



Σχήμα 5. Ολοκλήρωση των σταδίων από τους δοκιμαζόμενους στις δύο θερμοκρασίες

4.5. Επίπεδα γαλακτικού και γλυκόζης στο αίμα

Τα επίπεδα γαλακτικού στο αίμα μετά από ανάλυση με t-test παρουσίασαν στατιστική σημαντικότητα στην άσκηση στο κρύο νερό $p=0.002<0.05$ (3.5 ± 0.74 έναντι 9.31 ± 1.34 mmol/L) και στο ζεστό νερό $p=0.000$ (3.64 ± 0.62 έναντι 10.87 ± 0.95 mmol/L). Οι τιμές της γλυκόζης δεν έδειξαν σημαντικότητα σε καμία από τις δύο θερμοκρασίες νερού (Πίνακας 4.4).

4.6. Αρτηριακή πίεση και θερμοκρασία σώματος

Οι τιμές της συστολικής και της διαστολικής πίεσης και η θερμοκρασία σώματος και στις δύο θερμοκρασίες νερού αναλύθηκαν με t-test (Πίνακας 4.5). Στατιστική σημαντικότητα $p=0.008<0.05$ παρουσίασαν οι τιμές της συστολικής πίεσης στο ζεστό νερό (128.77 ± 4.67 έναντι 145.66 ± 6.51 mmHg) ανάμεσα στην ηρεμία και την άσκηση και η θερμοκρασία σώματος ανάμεσα στην ηρεμία και την άσκηση στο κρύο νερό με στατιστική σημαντικότητα $p=0.001<0.05$ (36.58 ± 0.05 έναντι $35.91\pm 0.14^{\circ}\text{C}$).

Συνοπτικά, μετά την ανάλυση των τιμών των μεταβλητών που μετρήσαμε στις δύο θερμοκρασίες 24°C και 31°C , μπορούμε να πούμε ότι δεν παρουσιάστηκε διαφορά στις τιμές της ΚΣ, της αντιλαμβανόμενης κόπωσης, της γλυκόζης, της διαστολικής πίεσης. Η ανώτατη ΚΣ εμφανίστηκε νωρίτερα στο ζεστό έναντι του κρύου νερού (στάδιο 5.56 ± 0.53 έναντι 6.78 ± 0.68) με στατιστική σημαντικότητα $p=0.005$. Όμως η απόλυτη Ανώτατη ΚΣ ανεξάρτητα από στάδιο δεν διέφερε 175 ± 4.5 έναντι 174 ± 3.4 παλμούς/λεπτό με $p=0.88$. Αντίθετα, βρέθηκε στατιστική σημαντικότητα στις τιμές της συστολικής πίεσης στην άσκηση στο ζεστό νερό ($p=0.008$), στη θερμοκρασία σώματος στο κρύο νερό ($p=0.001$), στα επίπεδα γαλακτικού στο κρύο ($p=0.002$) και ζεστό νερό ($p=0.000$), στο στάδιο στο οποίο σημειώθηκε η μέγιστη ΚΣ ($p=0.043$) και ο χρόνος μέχρι την εξάντληση ($p=0.036$).

V. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της έρευνας ήταν να διερευνηθεί αν ένα τεστ κλιμακούμενης έντασης έως την εξάντληση, σε θερμοκρασία εντός της θερμό-ουδέτερης ζώνης (31°C), θα διαφοροποιήσει τις καρδιαγγειακές αποκρίσεις, την αντιλαμβανόμενη κόπωση αλλά και τον χρόνο εξάντλησης, σε σχέση με μικρότερη θερμοκρασία κατά το τρέξιμο σε βαθύ νερό. Για το σκοπό αυτό επιλέγησαν ορισμένα φυσιολογικά χαρακτηριστικά για να αξιολογηθούν οι προσαρμογές τους μετά την άσκηση με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το συνεχόμενο κλιμακούμενο τρέξιμο στο νερό έως την εξάντληση, σε θερμό-ουδέτερο νερό 31°C, επιταχύνει την εμφάνιση των ανώτατων τιμών της καρδιακής συχνότητας (ΚΣ), προκαλεί ταχύτερα το σημείο εξάντλησης σε σχέση με άσκηση στους 24°C ενώ δε διαφοροποιεί την αντιλαμβανόμενη κόπωση (Σχήμα 1,2,3,4). Η σημαντικότητα αυτών των ευρημάτων έχει εφαρμογή αμφότερα στους κολυμβητές ανοιχτής θάλασσας που συχνά κολυμπούν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε θερμές θερμοκρασίες, καθώς και κατά την κλινική αποκατάσταση όπου η θερμοκρασία των 31°C, αποτελεί μία συνήθη θερμοκρασία. Η σημαντικότητα της παρούσας έρευνας επίσης βασίζεται στην πρωτοτυπία του ότι δεν υπάρχει προηγούμενη έρευνα κλιμακούμενης και προοδευτικής έντασης άσκησης έως την εξάντληση που να συγκρίνει τις καρδιαγγειακές ή/και άλλες αποκρίσεις δύο διαφορετικών θερμοκρασιών με τρέξιμο σε βαθύ νερό. Λόγω του ότι η θερμορύθμιση μέσα στο νερό τροποποιείται ριζικά υπάρχει αναγκαιότητα συγκριτικών ερευνών μεταξύ όλων των θερμοκρασιών που μπορεί να συμμετέχει ενεργά ένας κολυμβητής αγωνιστικά, ή ένας ασθενής κατά την αποκατάσταση του στο νερό.

5.1. Καρδιαγγειακές Αποκρίσεις κατά το Τρέξιμο σε Βαθύ Νερό σε Δύο Διαφορετικές Θερμοκρασίες

Στην παρούσα έρευνα ο ρυθμός αύξησης της καρδιακής συχνότητας ήταν ταχύτερος στους 31°C από ότι στους 24°C. Κι ενώ υπάρχει μία πληθώρα ερευνών που ερευνά τις φυσιολογικές επιδράσεις σε ζεστό νερό, στην κολύμβηση και στην άσκηση σε ρηχό νερό, υπάρχουν μεθοδολογικοί περιορισμοί όπως η χρήση πισίνας με διαφορετικά βάθη, η διαφορετική διάρκεια άσκησης, οι διαφορετικοί τύποι άσκησης στο νερό, οι διαφορετικές θερμοκρασίες νερού και περιβάλλοντος, που όλα δυσκολεύουν την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, και τη δημιουργία κριτηρίων όσον αφορά τη σύσταση άσκησης σε ζεστό νερό.

Όμως αυτό το φαινόμενο της τάσης αύξησης του ρυθμού ή/και των τιμών της ΚΣ έχει παρατηρηθεί στις περιορισμένες και διαφοροποιημένες ως προς τα πρωτόκολλα έρευνες που εξετάζουν τις επιδράσεις της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού. Οι Costill et al.(1967), παρατήρησαν ότι μετά από 20 λεπτά σταθερής έντασης κολύμβησης σε 3 διαφορετικές θερμοκρασίες (17.4, 26.8 και 33.1 °C), κατά την αποκατάσταση στη συνθήκη με το πιο ψυχρό νερό, η θερμοκρασία του δέρματος ήταν χαμηλότερη και η καρδιακή επαναφορά γρηγορότερη με ταχύτερη αποβολή της θερμότητας, ενώ παρατήρησαν το αντίθετο στην άσκηση στους 33.1°C. Οι Holmer et al., (1974), εξετάζοντας τις μεταβολικές και θερμικές αποκρίσεις της κολύμβησης σε τρεις διαφορετικές

θερμοκρασίες (18, 26, και 34°C), σε δοκιμασίες 20 λεπτών σταθερής έντασης, και σε μία κλιμακούμενης ταχύτητας προσπάθειας έως εξάντλησης, 8 λεπτών, βρήκαν κατά την παρατεταμένη άσκηση στη θερμότερη θερμοκρασία μία αύξηση 8 παλμών ανά λεπτό. Αυτή η αύξηση ήταν ανάλογη της αύξησης της θερμοκρασίας του δέρματος που παρατηρήθηκε στους 34°C, ενώ η θερμοκρασία του πυρήνα αυξήθηκε ελάχιστα σε σχέση με άσκηση έξω από το νερό. Κατά την κλιμακούμενης έντασης κολύμβηση η αύξηση της ΚΣ που παρατηρήθηκε στους 34°C, ήταν ανάλογη με την αύξηση της θερμοκρασίας του οισοφάγου και ήταν πιο αυξημένη από την μέγιστη κολύμβηση σε χαμηλότερες δοκιμασίες. Οι McArdle et al., (1976), μελέτησαν την καρδιακή παροχή και τις μεταβολικές και καρδιοαγγειακές αποκρίσεις σε όμοιο έργο -άσκηση σε δαπεδοεργόμετρο έξω και μέσα στο νερό (στο βάθος του πρώτου θωρακικού σπονδύλου) σε 2 διαφορετικές θερμοκρασίες (18, 25 και 33°C). Σε γενικές γραμμές βρήκαν ότι σε ένα όμοιο επίπεδο VO₂, ο όγκος παλμού (SV), ήταν σημαντικά μεγαλύτερος στο νερό στους 18 και 25 °C από ότι στους 33°C ή στην άσκηση στο έδαφος και ότι η πτώση της ΚΣ που παρατηρείται αντισταθμίζεται με την ανάλογη αύξηση του όγκου παλμού έτσι ώστε η καρδιακή παροχή να διατηρείται σταθερή στο ίδιο ενεργειακό επίπεδο στο έδαφος και στις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι Glen & Nicholas (1981) παρατήρησαν ότι ο ρυθμός αύξησης της ΚΣ σε αντιστοιχία με τη πρόσληψη οξυγόνου, στο περπάτημα σε ρηχό νερό στους 36.1°C, ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερος από ότι στο περπάτημα στους 30.5°C. Οι παραπάνω συμπεράναν ότι η προβλεπόμενη ανακατανομή των υγρών προς τον πυρήνα του σώματος που επιφέρει η είσοδος σε ψυχρότερο νερό υποσκελιζεται με το θερμικό ερέθισμα και την επακόλουθη αύξηση της ΚΣ και της κυκλοφορίας του αίματος πάλι προς την περιφέρεια (δέρμα).

5.2.Θερμορυθμιστικοί Παράγοντες στην Άσκηση σε Κρύο, Δροσερό, Χλιαρό έως Θερμό νερό.

Οι προσαρμοστικές αποκρίσεις του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος έξω από το νερό στη ξηρά, έχουν εξελιχτεί έτσι ώστε να λειτουργούν σε θερμό-ουδέτερο ξηρό αέρα (26°C- 28°C), κατά τον οποίο η εξάτμιση του ιδρώτα και η δερματική αγγειοδιαστολή είναι οι αποτελεσματικές εκτελεστικές αποκρίσεις για την αποβολή της θερμότητας από το σώμα προς το περιβάλλον. Όταν όμως κάποιος κολυμπάει σε χλιαρό νερό η αδυναμία εφίδρωσης μπορεί να αντισταθμισθεί από το γεγονός ότι το σώμα είναι βυθισμένο στο νερό το οποίο έχει μεγάλη αγωγιμότητα ειδικά αν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του δέρματος και του νερού (αν δηλαδή είναι ψυχρότερο το νερό από το δέρμα). Καθώς όμως αυτό το διαφορικό θερμοκρασίας δέρματος-ύδατος στενεύει, όλο και λιγοστεύει η θερμοκρασία που μπορεί να αποβληθεί στο νερό. Και εάν η θερμοκρασία του νερού υπερέχει του δέρματος, τότε δια μέσω της αγγειοδιαστολής γίνεται πρόσληψη θερμότητας από το δέρμα προς τον πυρήνα με αποτέλεσμα την υπερθερμία. Όμως στο κρύο νερό όπως οι αποκρίσεις στον κρύο αέρα ο ανθρώπινος οργανισμός είναι καλύτερα προστατευμένος στην ομοιοστασία και διατήρηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος. Πιο συγκεκριμένα χρειάζεται πέντε φορές περισσότερο χρόνο για να μειωθεί η θερμοκρασία του πυρήνα ενός ατόμου μέσα σε 15 °C νερό από τους 37°C στους

25°C από ότι χρειάζεται να αυξηθεί η θερμοκρασία του σώματος από τους 37°C στους 40°C. Αυτό κατά κάποιον τρόπο αποδεικνύει ότι η φυσιολογία του ανθρώπου είναι λιγότερο εκτεθειμένη στην προσαρμογή με το κρύο, ειδικότερα κατά την άσκηση από ότι με τις θερμές θερμοκρασίες. (Tipton & Bradford, 2014). Στην παρούσα έρευνα δε μετρήθηκαν οι θερμοκρασίες του δέρματος και του πυρήνα του σώματος αλλά μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διαφορά στο χρόνο εξάντλησης στους 31°C (Πίνακας 4.3), οφείλεται στον ανταγωνισμό της ροής του αίματος μεταξύ των συμμετεχόντων μυών και της αγγειοδιαστολής του δέρματος στην προσπάθεια να αποβάλλει την συσσωρευμένη και αυξημένη θερμότητα.

5.3. Θερμικό Στρες και Καρδιοαγγειακές Προσαρμογές κατά την Άσκηση σε Θερμό νερό

Η ταχύτερη εμφάνιση της ανώτατης καρδιακής συχνότητας και η μειωμένη διάρκεια κλιμακούμενης έντασης τρεξίματος έως την εξάντληση της παρούσας έρευνας θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι οφείλεται στο θερμικό στρες που προκάλεσε το θερμότερο νερό κατά το τρέξιμο στο βαθύ νερό (Σχήμα 1). Κατά τη διάρκεια του θερμικού στρες, η προφόρτιση και το μεταφορτίο της καρδιάς αυξάνονται ενώ η ινοτροπία -η δύναμη συστολής της- με επακόλουθη αύξηση της καρδιακής συχνότητας αυξάνεται, για να διατηρηθεί ή να αυξηθεί ο όγκος παλμού. Η συνδυαστική αύξηση της καρδιακής συχνότητας και του όγκου παλμού αυξάνουν σημαντικά την καρδιακή παροχή κατά τη διάρκεια ενός θερμικού στρες (Alonzo-Gonzalez, 2010).

Με την άσκηση ο μεταβολισμός αυξάνεται έως και 15 φορές για να παρέχει στους σκελετικούς μύες την απαραίτητη ενέργεια, απελευθερώνοντας θερμότητα κατά 70% περίπου και αυξάνοντας τη θερμοκρασία του πυρήνα, που φυσιολογικά είναι 37°C. Η αυξημένη αυτή θερμότητα πρέπει να διοχετευτεί προς το δέρμα και μετά στο περιβάλλον, ώστε να διατηρηθεί η ισορροπία ανάμεσα στην παραγωγή και την απώλεια θερμότητας για τη σωστή φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού. Αν δεν επιτευχθεί αυτό, τότε ο οργανισμός θα εμφανίσει υπερθέρμανση, κράμπες, θερμοπληξία και μπορεί ακόμα και να οδηγηθεί στο θάνατο. Η άσκηση στη ζέστη αποτελεί μία σοβαρή απειλή στον καρδιοαγγειακό έλεγχο και την επαρκή παροχή οξυγόνου στους ασκούμενους μύες και στα ζωτικά όργανα λόγω των αυξημένων θερμορυθμιστικών απαιτήσεων του δέρματος συνδυαστικά με την αφυδάτωση και την υπερθερμία που προκαλούνται. Η αυξημένη απαίτηση σε αίμα προς τους μύς και το δέρμα και η αυξημένη εφίδρωση δύνανται να μειώσουν τον όγκο πλάσματος και αίματος, να οδηγήσουν σε μειωμένη καρδιακή πλήρωση κι ως αντιστάθμισμα αυτού τη μειωμένη ροή αίματος στα σπλάχνα, την αύξηση της συσταλτικότητας της καρδιάς, την αύξηση της καρδιακής συχνότητας για να αντισταθμίσουν τον μειωμένο καρδιακό όγκο. Η αύξηση της ροής του αίματος προς το δέρμα αυξάνει τη θερμοκρασία του, και μειώνει το διαφορικό θερμοκρασίας με τον πυρήνα του σώματος με αποτέλεσμα να δυσχεραίνει την απώλεια της θερμότητας και να οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα και υπερθερμία που σε συνδυασμό με τη μειωμένη ροή αίματος στους μύες θα ρίξει την απόδοση και θα οδηγήσει σε εξάντληση κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον. Σε άσκηση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 43.3°C

παρατηρήθηκε αύξηση της ΚΣ, μείωση της καρδιακής παροχής και του όγκου παλμού κατά 16% αλλά σταθερή πρόσληψη οξυγόνου (Asmussen, 1940; Williams, 1962; Rowell et al., 1965). Η μείωση του όγκου αίματος που οφείλεται στην αναδιανομή του αίματος προς την περιφέρεια για τις ανάγκες της θερμορύθμισης και η μείωση του όγκου παλμού, προκαλούν την μείωση στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Η θερμική καταπόνηση από την άσκηση σε θερμό περιβάλλον αποτελεί έναν επιπρόσθετο παράγοντα επιβάρυνσης για το καρδιαγγειακό σύστημα, καθώς αυτό προσπαθεί να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία του σώματος σταθερή, μεταφέροντας με το αίμα προς το δέρμα την υπερβολική μεταβολική θερμότητα που παράγεται κατά την άσκηση αλλά και να αιματώσει σωστά τα όργανα, όπως τον εγκέφαλο, την καρδιά κι τους ενεργούντες μύες.

5.4. Η Επίδραση του Τύπου και της Διάρκεια της Άσκησης σε Ζεστό Νερό

Κατά την άσκηση σε ζεστό νερό, η διατήρηση της θερμοκρασίας του πυρήνα γίνεται κυρίως με την απώλεια της θερμότητας με τη διαδικασία της μεταφοράς και της αγωγιμότητας από το δέρμα αφού δεν μπορεί να επιτευχθεί η εξάτμιση. Άρα, όταν αφαιρείται η κατεξοχήν οδός καταπολέμησης της υπερθερμίας κατά την άσκηση -η εξάτμιση- όλες οι καρδιαγγειακές και θερμορυθμιστικές αποκρίσεις θα επιταχυνθούν μέσα στο νερό σε φάσεις ασκησιογενής και περιβαλλοντικής υπερθερμίας.

Πολύ λίγες έρευνες έχουν γίνει όσον αφορά τις φυσιολογικές αποκρίσεις σε υψηλής έντασης προσπάθειας σε ζεστό νερό, αν και η δημοτικότητα του έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία και κατά την αποκατάσταση αλλά και κατά την διάρκεια αγώνων ανοιχτής θάλασσας. Τα αγωνίσματα ανοιχτής θάλασσας κυμαίνονται μεταξύ 5-10 χιλιόμετρα απαιτούν από τους κολυμβητές να είναι μέσα στο νερό για πάνω από δύο ώρες και οι θερμοκρασίες στις θάλασσες της μέσης Ανατολής αλλά και στη θάλασσα της Νότιας Κίνας φθάνουν έως και 32°C. Κι ενώ αυτές οι θερμοκρασίες εν ηρεμία, βρίσκονται κάτω από το αναφερόμενο ως θερμό-ουδέτερο εύρος και είναι ευχάριστες και δροσερές η επίδραση της αύξησης σε υψηλούς μεταβολικούς ρυθμούς και τα όρια διαταραχής της θερμικής ομοιοστασίας και θερμορύθμισης (αμφότερα συμπεριφοριστική και αυτόνομη) ως προς την ασφαλή κολύμβηση ή/και άσκηση στο νερό δεν έχουν διερευνηθεί διεξοδικά.

Η πορεία των γεγονότων που μπορούν να οδηγήσουν σε υπερθερμία και *Καρδιαγγειακό Στρες*, διαφέρει και εξαρτάται από τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης. Αρχικά με την αύξηση της έντασης εκδηλώνεται με μείωση της καρδιακής παροχής, μείωση της αιμάτωσης του δέρματος και της ροής τους αίματος στους συμμετέχοντες στην άσκηση μύες, με επακόλουθη μειωμένη συστηματική και μυϊκή οξυγόνωση. Στη συνέχεια με την αύξηση της διάρκειας αλλά και σε ένα επίπεδο άνω του 50% της VO₂max, η αφυδάτωση με τη μείωση του όγκου αίματος αρχίζει και επιταχύνει τα συμπτώματα της υπερθερμίας με όλα τα επακόλουθα τόσο στην απόδοση όσο και στην απειλή της για την φυσιολογική ομοιοστασία. Σε συνδυασμό με την αφυδάτωση και την συνεπαγόμενη υπερθερμία προκαλείται έντονη καρδιαγγειακή προσπάθεια και στρες, που

χαρακτηρίζεται από μειωμένη καρδιακή παροχή κι όγκο παλμού, μειωμένη αρτηριακή πίεση και αιμάτωση του εγκεφάλου, του δέρματος και των ενεργούντες μυών, μειώνοντας την προσπάθεια, επηρεάζοντας την αθλητική απόδοση ή ακόμη και οδηγώντας στο θάνατο (Sawka & Wenger, 1988; Crandall & Gonzalez-Alonso, 2010, 2012). Αν το θερμό περιβάλλον συνδυαστεί με αυξημένη υγρασία και μειωμένη ταχύτητα αέρα, τότε η απώλεια θερμότητας με εφίδρωση μειώνεται και η υπερθερμία σε συνδυασμό με την αφυδάτωση, οδηγούν σε κάματο και μειωμένη αθλητική απόδοση (Nybo, 2010). Ο συνεχής χρόνος εκτέλεσης της προσπάθειας σε θερμό και υγρό περιβάλλον μειώνεται, ο ρυθμός της ΚΣ, η θερμοκρασία του δέρματος και του πυρήνα αυξάνονται ενώ μειώνεται η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (Gupta et al., 1980; Maxwell, Aitchison & Nimmo, 1996).

Στην παρούσα έρευνα η επιλογή του ερεθίσματος έγινε σκόπιμα έτσι ώστε να διερευνήσουμε την επίδραση μία κλιμακούμενης προς μέγιστη προσπάθεια έως εξάντλησης, με μικρή διάρκεια χρόνου που δε θα επέφερε μεγάλη απώλεια υγρών και αφυδάτωση, αν και δεν μετρήθηκαν παράμετροι που θα μπορούσαν να ορίσουν αυτό.

5.5. Κλιμακούμενη Άσκηση στο Νερό

Οι απαιτήσεις της δυναμικής άσκησης σε εντάσεις έως της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ($VO_2 \max$), επικεντρώνονται κυρίως στις απαιτήσεις της ροής του αίματος, α) προς τους ενεργούς μύες και το μυοκάρδιο έτσι ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις και οι απαιτήσεις του οξυγόνου για μυϊκή δραστηριότητα και β) προς το δέρμα για να ανταποκριθεί προς τις θερμορυθμιστικές ανάγκες της άσκησης. Υπάρχει ένα όριο στο οποίο μπορεί να ανταποκριθεί ο οργανισμός σε αυτή τη διπλή ανάγκη κάλυψης των αναγκών της θερμορύθμισης και έντονης άσκησης. Πάνω από αυτό το όριο, είτε θα μειωθεί η ροή αίματος στο δέρμα και θα αρχίσουν τα συμπτώματα της υπερθερμίας συμπεριλαμβανομένου και επίδραση στον κεντρικού νευρικού συστήματος με αύξηση της θερμοκρασίας στον εγκέφαλο, είτε θα μειωθεί η ροή στους μύες που θα περιορίσει την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης. Στην παρούσα έρευνα σημειώθηκε το δεύτερο χωρίς βέβαια να γνωρίζουμε τι έγινε στο επίπεδο του δέρματος ή/και του εγκεφάλου.

5.6. Αντιλαμβανόμενη Κόπωση

Σχετικά με την αντιλαμβανόμενη κόπωση (Πίνακας 4.2), οι τιμές ήταν χαμηλότερες σε κάθε στάδιο κατά την άσκηση στο ζεστό νερό, δίνοντας έτσι την εντύπωση της ευκολότερης εκτέλεσης της άσκησης, κάτι που είναι αναληθές, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές της ΚΣ και συγκρίνοντάς τες με αυτές του κρύου νερού. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού έχει σαν συνέπεια την ελάττωση της πυκνότητας του νερού και την κατά συνέπεια μείωση της αντίστασης, κάνοντας πιο εύκολη την κίνηση σε αυτό. Λίγο πριν την εξάντληση και καθώς αυξάνονταν η καρδιακή συχνότητα, οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης ήταν ίδιες και στις δύο θερμοκρασίες νερού, αφού οι δοκιμαζόμενοι έδωσαν 10 στη δεκαβάθμια κλίμακα Borg, κάτι που τονίζει το υφιστάμενο καρδιαγγειακό στρες. Την εικόνα της αντιλαμβανόμενης κόπωσης τη δίνει όχι μόνο η καρδιακή συχνότητα, αλλά

και τα επίπεδα γαλακτικού και γλυκόζης στο αίμα, ο αερισμός, η πρόσληψη οξυγόνου κι οι κατεχολαμίνες (Mihevic, 1981). Τα επίπεδα άγχους αυξάνουν τα επίπεδα των κατεχολαμινών στο αίμα κι αυτά με τη σειρά τους την καρδιακή συχνότητα, κάτι που κάνει εμφανές πως δεν επηρεάζουν την απόδοση μόνο οι φυσιολογικοί παράγοντες αλλά και οι ψυχολογικοί (Kaplan & Sadock, 1988). Σε μελέτες που σύγκριναν άσκηση σε βαθύ νερό με δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος, οι τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης σχετίζονταν με την ένταση της άσκησης και ήταν παρόμοιες (Frangolias et al., 2000) ενώ οι Ritchie & Hopkins (1991) και Svedenhag & Seger (1992) και οι Brown et al. (1996) έδωσαν μεγαλύτερες τιμές για το τρέξιμο στο βαθύ νερό από το δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος, κάτι που ίσως να εξηγείται από την εξοικείωση ή όχι με το τρέξιμο στο νερό και τον αντίστοιχο καθορισμό της έντασης μέσα στο νερό, που είναι σχετικός και δύσκολος να καθοριστεί αναλογικά λόγω των ιδιοτήτων του νερού, αλλά κι από την αντίσταση του νερού και την υδροστατική του πίεση που καθιστούν το τρέξιμο στο νερό δυσκολότερο από το τρέξιμο στο έδαφος (Matthews & Airey, 2001).

Στην παρούσα έρευνα ενώ δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην αντιλαμβανόμενη κόπωση μεταξύ των δύο θερμοκρασιών ανά στάδιο (Σχήμα 4), το γεγονός ότι υπήρχε η τάση η αντιλαμβανόμενη κόπωση να είναι χαμηλότερη στη θερμότερη δοκιμασία (31°C), που ήταν και αυτή που εγκατέλειψαν γρηγορότερα την άσκηση λόγω κόπωσης, θα πρέπει να μας προβληματίζει. Υπάρχουν ερευνητικά δεδομένα που υποδεικνύουν ότι η αντίληψη της θερμικής αίσθησης ή/και αντιλαμβανόμενης κόπωσης μέσα στο νερό, δεν γίνεται το ίδιο αντιληπτή στην άσκηση είτε σε κρύο είτε σε ζεστό νερό. Σαν αποτέλεσμα ο άνθρωπος δεν μπορεί να αντιληφθεί έγκαιρα αυτές τις αλλαγές στη θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος έτσι ώστε να “αμυνθεί” με το να αποκριθεί θερμορυθμιστικά όταν κολυμπάει μέσα στο νερό (Tipton & Shattuck, 2014).

Η *ύπουλη υπερθερμία (insidious hyperthermia)* είναι ένα φαινόμενο το οποίο έχει μελετηθεί ελάχιστα σε σχέση με την παρατεταμένη κολύμβηση αλλά θεωρείται ότι μπορεί να συμβεί σε κολυμβητές μεγάλων αποστάσεων σε θερμό νερό ή/και το αντίθετο σε κρύο νερό (Tipton & Shattuck, 2014; Cabanac et al., 1972). Ο όρος υπονοεί ότι η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος μπορεί να ανέρχεται τόσο αργά και σταδιακά που μπορεί να επηρεάσει την αντίληψη της θερμικής κατάστασης και τα κίνητρα για να μειώσει την ένταση ή το χρόνο κολύμβησης το άτομο και έτσι να φθάσει τον εαυτό του σε θερμοπληξία και πνιγμό. Το ίδιο έχει παρατηρηθεί και με την ύπουλη υποθερμία στο νερό (*insidious hypothermia*), που μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις σοβαρής υποθερμίας, κι ενώ κολυμπάει ο κολυμβητής που σε μία καταγεγραμμένη περίπτωση συνέχιζε να κολυμπά ο κολυμβητής, με σοβαρή υποθερμία και με απώλεια συνείδησης, που τελικά οδήγησε στον θάνατο του (Tipton & Shattuck, 2014). Άλλωστε ο συμπεριφοριστικός θερμορυθμιστικός έλεγχος θεωρείται μία από τις πλέον πρωτόγονες αποκρίσεις στην προσαρμογή του ανθρώπου στην εναλλαγή των περιβαλλοντολογικών συνθηκών και επηρεάζεται άμεσα από τη θερμική αίσθηση και τη θερμική δυσφορία. Ο συμπεριφοριστικός θερμορυθμιστικός έλεγχος σε μεταβατικές περιόδους που επηρεάζονται από το

έργο αλλά και το περιβάλλον δεν συμβαδίζει ταυτόχρονα με τον φυσιολογικό ρυθμιστικό έλεγχο και υπάρχει ελλιπής αλληλοεπίδραση ερεθισμάτων και αντιδράσεων με δυσκολία πολλές φορές να αντιδράσει επαρκώς το άτομο που υφίσταται τα ερεθίσματα (Sawka 1988). Μία εξήγηση που δίνεται για αυτό το φαινόμενο κατά την παρατεταμένη κολύμβηση ή/και άσκηση στο νερό είναι ότι η θερμοκρασία του δέρματος παίζει έναν πιο σημαντικό ρόλο στη συμπεριφοριστική θερμορύθμιση από ότι στην αυτόνομη θερμορύθμιση. Αυτό σαν επακόλουθο θέτει τους κολυμβητές ανοιχτής θάλασσας σε μεγαλύτερο θερμικό ρίσκο θερμοπληξίας και επακόλουθου πνιγμού λόγω του ότι ορισμένα σημαντικά συμπεριφοριστικά συνθήματα διαφοροποιούνται σε συνθήκες ζεστού νερού επειδή η θερμοκρασία του δέρματος με τη θερμοκρασία του νερού εξισορροπούνται (clamped skin temperature) (Bradford et al., 2013). Και είναι τέτοια η επίδραση της εξισορρόπησης αυτής που μέσα στο νερό όχι μόνο δε φαίνεται να υπάρχει περιθώριο εγκλιματισμού με προπόνηση σε θερμό νερό αλλά αντίθετα υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορεί να αυξάνεται η εφίδρωση που παρατηρείται με τον εγκλιματισμό, και να επιταχύνει την απώλεια υγρών και την αφυδάτωση μέσα στο ζεστό νερό (Tipton & Shattuck, 2014).

5.7. Μεταβολικές Αποκρίσεις

Διάφορες έρευνες συσχετίζουν την άσκηση σε ζεστά περιβάλλοντα με διαφοροποίηση του μεταβολισμού των υδατανθράκων και της παραγωγής του γαλακτικού. Τα δεδομένα δεν παρουσιάζουν ομοφωνία και η έρευνα σε αυτό το θέμα είναι περιορισμένη.

Όσον αφορά στο γαλακτικό στην παρούσα έρευνα (Πίνακας 4.4), οι τιμές παρουσίασαν σημαντική αύξηση μετά από την άσκηση και στις δύο θερμοκρασίες νερού σε σχέση με τα επίπεδα ηρεμίας, οι τιμές όμως μετά από την άσκηση στο ζεστό νερό ήταν στατιστικά σημαντικά υψηλότερες από το κρύο (10.87 ± 0.95 έναντι 9.31 ± 1.34 mmol/L). Αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τους Buck et al. (1977) οι οποίοι αναφέρουν ότι οι τιμές του γαλακτικού αυξάνονταν με την αύξηση της θερμοκρασίας αλλά έρχεται σε αντίθεση με τους Galbo et al. (1979) οι οποίοι ανέφεραν υψηλότερες τιμές γαλακτικού στους 21°C από τους 33°C σε ίδιας έντασης κολύμβηση μιας ώρας. Άλλες μελέτες που συγκρίνουν την άσκηση σε βαθύ νερό με το δαπεδοεργόμετρο στο έδαφος, δίνουν υψηλότερες τιμές γαλακτικού στην άσκηση στο νερό (Svedenhag & Seger, 1992; Michaud et al., 1995b), χαμηλότερες (Town & Bradley, 1991) ή παρόμοιες (Frangolias & Rhodes, 1995). Τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα (Πίνακας 4.4) σημείωσαν μικρή αύξηση στο κρύο νερό και μικρή μείωση στο ζεστό χωρίς ωστόσο να παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα με τα επίπεδα ηρεμίας. Τα επίπεδα γλυκόζης ήταν αναμενόμενα καθώς η ένταση και η διάρκεια του τρεξίματος σε βαθύ νερό δεν θα απειλούσαν το αποθηκευμένο γλυκογόνο (Nielsen et al., 1990; Hardgreaves et al., 1996).

5.8. Αρτηριακή Πίεση

Οι τιμές της διαστολικής πίεσης (Πίνακας 4.5) δεν παρουσίασαν στατιστική σημαντικότητα σε καμία συνθήκη νερού αλλά η συστολική πίεση

παρουσίασε σημαντικότητα μετά από την άσκηση στο ζεστό νερό ανάμεσα στις τιμές της ηρεμίας και μετά την άσκηση και ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες (Πίνακας 4.5). Σε συμφωνία με τα παραπάνω αποτελέσματα είναι οι Hall et al (1998) οι οποίοι βρήκαν τιμές συστολικής πίεσης μετά την άσκηση σε 35.8°C μεγαλύτερες από τους 28.2°C (124.75 έναντι 118.75mmHg). Σύμφωνα με τους Arborelius et al.(1972), κατά τη βύθιση στο νερό με το κεφάλι έξω παρατηρείται αύξηση της κεντρικής φλεβικής πίεσης από 3 μέχρι 15mmHg λόγω της αύξησης του κεντρικού όγκου αίματος κατά 700ml. Σε άσκηση όπου συμμετέχουν μεγάλες μυϊκές ομάδες, όπως είναι και η άσκηση στο βαθύ νερό, παρατηρούνται δύο μεταβολικές ανάγκες, σε ανταγωνισμό η μία με την άλλη. Πρέπει να εξασφαλιστεί η σωστή αιμάτωση των σκελετικών μυών και η κατάλληλη πίεση ώστε να μπορέσει να γίνει σωστά και επαρκώς η αιμάτωση των λειτουργούντων μυών και άλλων ζωτικών οργάνων. Σε βαριά άσκηση το συμπαθητικό σύστημα διατηρεί την αρτηριακή πίεση σε κάποια ελάχιστα επίπεδα των 100mmHg, ώστε να είναι εφικτή η αιμάτωση ζωτικών οργάνων, συμπεριλαμβανομένου και του εγκεφάλου. Η πίεση του αίματος μπορεί να αυξηθεί κατά την άσκηση και σε μερικές περιπτώσεις 30 έως 40%, σε δυναμικές ασκήσεις και σε ορισμένες ομάδες ατόμων, κάτι που οφείλεται στην αγγειοδιαστολή των μυών και την ανάγκη για περισσότερη ροή αίματος. Η διαστολική πίεση μπορεί να μειωθεί λόγω της προαναφερθείσας αγγειοσυστολής στους ενεργούντες μύες και η συστολική να αυξηθεί λόγω της αύξησης του όγκου παλμού. Αντίθετα, κατά την αγγειοσυστολή η αρτηριακή πίεση θα αυξηθεί κατά περίπου 8% με μία μείωση 10% της ροής του αίματος προς τους μύες (Joyner & Casey, 2011). Σε μια απλή βύθιση στο νερό με το κεφάλι έξω από αυτό στους 28° μέχρι την ξιφοειδή απόφυση, λόγω της υδροστατικής πίεσης, παρατηρείται αύξηση της καρδιακής παροχής κατά 32% και όγκου παλμού κατά 35%, μείωση της καρδιακής συχνότητας 8 παλμούς περίπου το λεπτό, αύξηση της κεντρικής φλεβικής πίεσης και συνεπαγόμενη αύξηση της αρτηριακής πίεσης (Wilcock et al., 2006; Arborelius et al., 1972).

5.9. Θερμοκρασία του Σώματος

Η θερμοκρασία σώματος (Πίνακας 4.5) μειώθηκε μετά από την άσκηση στο κρύο νερό σε σχέση με τον αέρα και αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τους Fujishima et al.(2000) οι οποίοι βρήκαν χαμηλότερες τιμές στην κολύμβηση στους 23°C και υψηλότερες στους 33°C σε σχέση με τον αέρα. Έρευνες σχετικά με το αν η θερμοκρασία σώματος επηρεάζει την παρατεταμένη άσκηση στη ζέστη, έδειξαν ότι η κόπωση κατά την άσκηση αρχίζει σε μια θερμοκρασία σώματος 37 με 37.2°C και καρδιακή συχνότητα 196 με 198 παλμούς το λεπτό. Ο χρόνος εξάντλησης είναι συντομότερος όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία σώματος, καθώς είναι ένδειξη υψηλής θερμοκρασίας πυρήνα (González-Alonso, 1999). Σε συμφωνία με τους παραπάνω ερευνητές βρίσκεται κι η έρευνα αυτή, όπου οι δοκιμαζόμενοι έφτασαν σε συντομότερο χρόνο στην εξάντληση στην άσκηση στο ζεστό νερό (Πίνακας 4.3).

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης στηρίζουν την υπόθεση αναφορικά με τη θερμοκρασία του νερού ότι προκαλεί διαφορετικές καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις,

διαφορές στην καρδιακή συχνότητα από στάδιο σε στάδιο, στα επίπεδα γαλακτικού στο αίμα, στην αρτηριακή πίεση, στο χρόνο εκτέλεσης του πρωτοκόλλου μέχρι την εξάντληση και στις τιμές της αντιλαμβανόμενης κόπωσης σε σχέση με την αύξηση της καρδιακής συχνότητας σταδιακά.

VI. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα μελέτη θα μπορούσε να αποτελέσει το εφαλτήριο για περαιτέρω έρευνα στο τομέα της θερμορύθμισης στο ζεστό νερό, μελετώντας ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών του νερού έτσι ώστε να επαναπροσδιορίσει τη θερμό-ουδέτερη ασφαλή ζώνη άσκησης στο νερό ανάλογα με την ένταση και τη διάρκεια της άσκησης. Σε περαιτέρω έρευνα είναι σημαντικό να μετρηθούν επίσης η θερμοκρασία του πυρήνα του σώματος και η θερμοκρασία του δέρματος κατά τη διάρκεια της άσκησης καθώς επίσης και η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου, ο αερισμός και η μέτρηση ψυχολογικών παραμέτρων (moodstate), ώστε να μπορέσουν να μετρηθούν και να αναλυθούν σημαντικές φυσιολογικές αποκρίσεις, ικανές να καταστήσουν την άσκηση σε ζεστό νερό ασφαλή και να επαναπροσδιορίσουν τη θερμό-ουδέτερη θερμοκρασία, πάνω και κάτω από την οποία οι μεταβολικές και καρδιαγγειακές αποκρίσεις δεν θα παρουσιάζουν μεταβολές.

VII. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alberton, C. L., Antunes, A. H., Pinto, S. S., Tartaruga, M. P., Silva, E. M., Cadore, E. L., & Krueel, L. F. M. (2011). Correlation between rating of perceived exertion and physiological variables during the execution of stationary running in water at different cadences. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 155-162.
- Alberton, C. L., Tartaruga, M. P., Pinto, S. S., Cadore, E. L., Silva, E. M., & Krueel, L. F. M. (2009). Cardiorespiratory responses to stationary running at different cadences in water and on land. *J Sports Med Phys Fitness*, 49(2), 142-51.
- Almeling, M., Schega, L., Witten, F., Lirk, P., & Wulf, K. (2006). Validity of cycle test in air compared to underwater cycling. *Undersea and Hyperbaric Medical Society*, 33(1), 45-53.
- Avellini, B. A., Shapiro, Y., & Pandolf, K. B. (1983). Cardio-respiratory physical training in water and on land. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 50(2), 255-263.
- Barbosa, T. M., Marinho, D. A., Reis, V. M., Silva, A. J., & Bragada, J. A. (2009). Physiological assessment of head-out aquatic exercises in healthy subjects: a qualitative review. *Journal of sports science & medicine*, 8(2), 179.
- Barela, A. M., Stolf, S. F., & Duarte, M. (2006). Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(3), 250-256.
- Beck, C. (1976). *Aqua yoga*. Drake Publishers.
- Benelli, P., Ditroilo, M., & Vito, G. (2004). Physiological responses to fitness activities: A comparison between land based and water aerobics exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 18.4, 719-722.
- Benham, L., Hall, A., & Barney, D. (2013). Zumba: From Secondary Physical Education Classes to Adulthood Workouts: Staying Up to Date with the Growing Trends of Physical Activity In and Out of the Schools. *Strategies*, 26(5), 39-42.
- Bishop, P. A. (1989). Physiologic responses to treadmill and water running. *Physician and sports medicine*, 17(2), 87.
- Bocalini, D. S., Serra, A. J., Murad, N., & Levy, R. F. (2008). Water-versus land-based exercise effects on physical fitness in older women. *Geriatrics & gerontology international*, 8(4), 265-271.
- Bonaventura, J. M., Sharpe, K., Knight, E., Fuller, K. L., Tanner, R. K., & Gore, C. J. (2015). Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *Journal of sports science & medicine*, 14(1), 203.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*, 14(5), 377-381.
- Brown, S. P., Chitwood, L. F., Beason, K. R., & McLemore, D. R. (1996). Perceptual responses to deep water running and treadmill exercise. *Perceptual and motor skills*, 83(1), 131-139.
- Bruce, R. A. (1974). Methods of exercise testing: step test, bicycle, treadmill, isometrics. *The American journal of cardiology*, 33(6), 715-720.

- Bruce, R., Kusumi, F., & Hosmer, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American heart journal*, 85(4), 546-562.
- Buck, K., McNaughton, L., Sherman, R., Bentley, D. J., & Batterham, A. M. (2001). Physiological response to treadmill walking in water at different speeds and temperatures.
- Burns S.B. & Burns J.L. (1997). Hydrotherapy. *J Altern Complem Med*, 3(2), 105-107.
- Cassady, S. L., & Nielsen, D. H. (1992). Cardiorespiratory responses of healthy subjects to calisthenics performed on land versus in water. *Physical Therapy*, 72(7), 532-538.
- Choukroun, M. L., & Varene, P. (1990). Adjustments in oxygen transport during head-out immersion in water at different temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 68(4), 1475-1480.
- Costill, D.L., Cahill, P.J., & Eddy, D. (1967). Metabolic responses to submaximal exercise in three water temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 22, 628-632.
- Craig, A. B., & Dvorak, M. (1966). Thermal regulation during water immersion. *Journal of Applied Physiology*, 21(5), 1577-1585.
- Crandall, C. G., & González-Alonso, J. (2010). Cardiovascular function in the heat-stressed human. *Acta physiologica*, 199(4), 407-423.
- Darby, L. A., & Yaekle, B. C. (2000). Physiological responses during two types of exercise performed on land and in the water. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 40(4), 303-311.
- Datta, A., & Tipton, M. (2006). Respiratory responses to cold water immersion: neural pathways, interactions, and clinical consequences awake and asleep. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 2057-2064.
- Davidson, K., & McNaughton, L. (2000). Deep Water Running Training and Road Running Training Improve Vo₂ max in Untrained Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(2), 191-195.
- DeMaere, J. M., & Ruby, B. C. (1997). Effects of deep water and treadmill running on oxygen uptake and energy expenditure in seasonally trained cross country runners. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 37(3), 175-181.
- Dowzer, C. N., Reilly, T., Cable, N. T., & Neville, A. (1999). Maximal physiological responses to deep and shallow water running. *Ergonomics*, 42(2), 275-281.
- Dulcy, F. H. (1983). Aquatic programs for disabled children: An overview and an analysis of the problems. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 3(1), 1-20.
- Epstein, M., Pins, D. S., & Miller, M. (1975). Suppression of ADH during water immersion in normal man. *Journal of applied physiology*, 38(6), 1038-1044.
- Evans, B. W., Cureton, K. J., & Purvis, J. W. (1978). Metabolic and circulatory responses to walking and jogging in water. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 49(4), 442-449.

- Faull, K. (2005). A pilot study of the comparative effectiveness of two water-based treatments for fibromyalgia syndrome: Watsu and Aix massage. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 9(3), 202-210.
- Flouris, A. D., & Schlader, Z. J. (2015). Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(S1), 52-64.
- Frangolias, D. D., Rhodes, E. C., Taunton, J. E., & Belcastro, A. N. (2000). Metabolic responses to prolonged work during treadmill and water immersion running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(4), 476-492.
- Frangolias, D. D., & Rhodes, E. C. (1995). Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(7), 1007-1013.
- Fujishima, K. (1986). Thermoregulatory responses during exercise and a hot water immersion and the affective responses to peripheral thermal stimuli. *International journal of biometeorology*, 30(1), 1-19.
- Fujishima, K., & Shimizu, T. (2003). Body temperature, oxygen uptake and heart rate during walking in water and on land at an exercise intensity based on RPE in elderly men. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 22(2), 83-88.
- Galasso, L., & Alvarez, P. J. (2002). *U.S. Patent No. 6,383,121*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Gauer O.H. (1975). Recent advances in the physiology of whole body immersion. *Acta Astronautica*, 2(1), 31-39.
- Gehring, M. M., Keller, B. A., & Brehm, B. A. (1997). Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(10), 1374-1378.
- Girard, O., Brocherie, F., & Bishop, D. J. (2015). Sprint performance under heat stress: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(S1), 79-89.
- Gleim, G. W., & Nicholas, J. A. (1989). Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *The American journal of sports medicine* 17.2, 248-252.
- González-Alonso, J., Crandall, C. G., & Johnson, J. M. (2008). The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *The Journal of physiology*, 586(1), 45-53.
- González-Alonso, J. (2012). Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Experimental physiology*, 97(3), 340-346.
- González-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T., & Nielsen, B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of applied physiology*, 86(3), 1032-1039.
- Graef, F. I., & Kruel, L. F. M. (2006). Heart rate and perceived exertion at aquatic environment: differences in relation to land environment and applications for exercise prescription-a review. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 12.4, 221-228.

- Gupta, J. S., Swamy, Y. V., Dimri, G. P., & Pichan, G. (1980). Physiological responses during work in hot humid environments. *Indian journal of physiology and pharmacology*, 25(4), 339-347.
- Hall, J., Macdonald, I. A., Maddison, P. J., & O'Hare, J. P. (1998). Cardiorespiratory responses to underwater treadmill walking in healthy females. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77(3), 278-284.
- Hamer, P., & Slocombe, B. (1997). The psychophysical and heart rate relationship between treadmill and deep-water running. *Australian Journal of Physiotherapy*, 43(4), 265-271.
- Hand, P. H., Saunders, W. J., Goldstein, E., Watson, J. B., Lockwood, J. C., & Alsup, J. D. (1994). *U.S. Patent No. 5,290,210*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Hargreaves, M., Angus, D., Howlett, K., Conus, N. M., & Febbraio, M. (1996). Effect of heat stress on glucose kinetics during exercise. *Journal of applied physiology*, 81(4), 1594-1597.
- Holmer, I. & Bergh, U. (1974). Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 37.5, 702-705.
- Holmer, I., Stein, E. M., Saltin, B., Ekblom, B., & Astrand, P. O. (1974). Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running. *Journal of Applied Physiology*, 37(1), 49-54.
- Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British journal of nutrition*, 40(03), 497-504.
- Janský, L., Janáková, H., Uličný, B., Šrámek, P., Hošek, V., Heller, J., & Pařízková, J. (1996). Changes in thermal homeostasis in humans due to repeated cold water immersions. *Pflügers Archiv*, 432(3), 368-372.
- Jones, R. (2011). *U.S. Patent Application No. 14/111,426*.
- Joyner, M. J., & Casey, D. P. (2015). Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. *Physiological reviews*, 95(2), 549-601.
- Kaminsky, L. A., Wehrli, K. W., Mahon, A. D., Robbins, G. C., Powers, D. L., & Whaley, M. H. (1993). Evaluation of a shallow water running test for the estimation of peak aerobic power. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(11), 1287-1292.
- Kenney, W.L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). Physiology of Sport and Exercise. *Human Kinetics*
- Kestin, J., Sokolov, M., & Wakeham, W. A. (1978). Viscosity of liquid water in the range— 8 C to 150 C. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 7(3), 941-948.
- Lazar, J. M., Morris, M., Qureshi, G., Jean-Noel, G., Nichols, W., Qureshi, M. R., & Saliccioli, L. (2008). The effects of head-out-of-water immersion on arterial wave reflection in healthy adults. *Journal of the American Society of Hypertension*, 2(6), 455-461.
- Lepore, M., Gayle, G. W., & Stevens, S. (1998). *Adapted Aquatics Programming: A Professional Guide*. Human Kinetics.

- Macaluso, F., Barone, R., Isaacs, A. W., Farina, F., Morici, G., & Di Felice, V. (2013). Heat stroke risk for open-water swimmers during long-distance events. *Wilderness & environmental medicine, 24*(4), 362-365.
- Masumoto, K., Hamada, A., Tomonaga, H. O., Kodama, K., Amamoto, Y., Nishizaki, Y., & Hotta, N. (2009). Physiological and perceptual responses to backward and forward treadmill walking in water. *Gait & posture, 29*(2), 199-203.
- Masumoto, K., Shono, T., Hotta, N., & Fujishima, K. (2008). Muscle activation, cardiorespiratory response, and rating of perceived exertion in older subjects while walking in water and on dry land. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 18*(4), 581-590.
- Masumoto, K., Shono, T., Takasugi, S. I., Hotta, N., Fujishima, K., & Iwamoto, Y. (2007). Age-related differences in muscle activity, stride frequency and heart rate response during walking in water. *Journal of electromyography and kinesiology, 17*(5), 596-604.
- Maxwell, N. S., Aitchison, T. C., & Nimmo, M. A. (1996). The effect of climatic heat stress on intermittent supramaximal running performance in humans. *Experimental physiology, 81*(5), 833-845.
- Maw, G. J., Boutcher, S. H., & Taylor, N. A. (1993). Ratings of perceived exertion and affect in hot and cool environments. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 67*(2), 174-179.
- McArdle, W. D., Magel, J. R., Gergley, T. J., Spina, R. J., & Toner, M. M. (1984). Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women. *Journal of Applied Physiology, 56*(6), 1565-1571.
- McArdle, W. D., Magel, J. R., Lesmes, G. R., & Pechar, G. S. (1976). Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33 degrees C. *Journal of Applied Physiology, 40*(1), 85-90.
- McArdle, W. D., Toner, M. M., Magel, J. R., Spinal, R. J., & Pandolf, K. B. (1992). Thermal responses of men and women during cold-water immersion: influence of exercise intensity. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 65*(3), 265-270.
- Mekjavic, I. B., & Bligh, J. (1989). The increased oxygen uptake upon immersion. *European journal of applied physiology and occupational physiology, 58*(5), 556-562.
- Mercer, J. A., & Jensen, R. L. (1997). Reliability and validity of a deep water running graded exercise test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science, 1*(4), 213-222.
- Mercer, J. A., & Jensen, R. L. (1998). Heart Rates at Equivalent Submaximal Levels of VO₂ Do Not Differ Between Deep Water Running and Treadmill Running. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 12*(3), 161-165.
- Meredith-Jones, K., Waters, D., Legge, M., & Jones, L. (2011). Upright water-based exercise to improve cardiovascular and metabolic health: a qualitative review. *Complementary therapies in medicine, 19*(2), 93-103.

- Nakanishi, Y., Kimura, T., & Yokoo, Y. (1999). Maximal physiological responses to deep water running at thermoneutral temperature. *Applied Human Science*, 18(2), 31-35.
- Newman D.J. (1995). Moving Through Fluids. *Biomechanics*.
- Nielsen, B., Savard, G., Richter, E. A., Hargreaves, M., & Saltin, B. (1990). Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 1040-1046.
- Nielsen, B., & Davies, C. T. M. (1976). Temperature regulation during exercise in water and air. *Acta Physiologica Scandinavica*, 98(4), 500-508.
- Noonan, V., & Dean, E. (2000). Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Physical therapy*, 80(8), 782-807.
- Nuttamonwarakul, A., Amatyakul, S., & Suksom, D. (2012). Twelve weeks of aqua-aerobic exercise improve health-related physical fitness and glycemic control in elderly patients with type 2 diabetes. *Journal of Exercise Physiology Online*, 15(2), 64-71.
- Nybo, L., & Nielsen, B. (2001). Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *Journal of Applied Physiology*, 91(5), 2017-2023.
- Nybo, L., Rasmussen, P., & Sawka, M. N. (2014). Performance in the Heat—Physiological Factors of Importance for Hyperthermia-Induced Fatigue. *Comprehensive Physiology*.
- Nybo, L., & Secher, N. H. (2004). Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Progress in neurobiology*, 72(4), 223-261.
- Nybo, L. (2010). Cycling in the heat: performance perspectives and cerebral challenges. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(s3), 71-79.
- Park, K. S., Choi, J. K., & Park, Y. S. (1999). Cardiovascular regulation during water immersion. *Applied human science: journal of physiological anthropology*, 18(6), 233-241.
- Persaki, M., Apostolides, N., Soultanakis, H., & Center, A. S. (2014). Aqua Pilates vs land Pilates: physical fitness outcomes. In *Conference Poster & Research Presentation Sessions* (Vol. 13, p. 22).
- Pirnay, F., Deroanne, R., & Petit, J. M. (1977). Influence of water temperature on thermal, circulatory and respiratory responses to muscular work. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 37(2), 129-136.
- Raffaelli, C., Lanza, M., Zanolla, L., & Zamparo, P. (2010). Exercise intensity of head-out water-based activities (water fitness). *European Journal of Applied Physiology*, 109(5), 829-838.
- Rees, A., Eglin, C., Taylor, N., Hetherington, M., Mekjavic, I., & Tipton, M. (2002). The nature of human adaptation to cold.
- Reilly, T., Dowzer, C. N., & Cable, N. T. (2003). The physiology of deep-water running. *Journal of Sports Science*, 21(12), 959-972.
- Reilly, T., Drust, B., & Gregson, W. (2006). Thermoregulation in elite athletes. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 9(6), 666-671.

- Rimmer, J., & Schiller, W. (2006). Future directions in exercise and recreation technology for people with spinal cord injury and other disabilities: Perspectives from the rehabilitation engineering research center on recreational technologies and exercise physiology for people with disabilities. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 11(4), 82-93.
- Risch, W. D., Koubenec, H. J., Beckmann, U., Lange, S., & Gauer, O. H. (1978). The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. *Pflügers Archiv*, 374(2), 115-118.
- Ritchie, S. E., & Hopkins, W. G. (1991). The intensity of exercise in deep-water running. *International Journal of Sports Medicine*, 12(1), 27-29.
- Rowell, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological reviews*, 54(1), 75-159.
- Rowell, L. B., Marx, H. J., Bruce, R. A., Conn, R. D., & Kusumi, F. (1966). Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *Journal of Clinical Investigation*, 45(11), 1801.
- Sawka, M. N., Cheuvront, S. N., & Kenefick, R. W. (2015). Hypohydration and Human Performance: Impact of Environment and Physiological Mechanisms. *Sports Medicine*, 45(1), 51-60.
- Sawka, M. N., Montain, S. J., & Latzka, W. A. (2001). Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 128(4), 679-690.
- Sawka, M. N. (1992). Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Med Sci Sports Exerc*, 24(6), 657-670.
- Sawka, M. N., Francesconi, R. P., Young, A. J., & Pandolf, K. B. (1984). Influence of hydration level and body fluids on exercise performance in the heat. *Jama*, 252(9), 1165-1169.
- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European journal of applied physiology*, 113(1), 147-155.
- Shay-McEntee, A. Course Title: Essential Aqua Pilates.
- Sheldahl, L. M., Tristani, F. E., Clifford, P. S., Hughes, C. V., Sobocinski, K. A., & Morris, R. D. (1987). Effect of head-out water immersion on cardiorespiratory response to dynamic exercise. *Journal of the American College of Cardiology*, 10(6), 1254-1258.
- Shephard, R. J. (1984). Tests of maximum oxygen intake a critical review. *Sports Medicine*, 1(2), 99-124.
- Shigematsu, R., Ueno, L. M., Nakagaichi, M., Nho, H., & Tanaka, K. (2004). Rate of perceived exertion as a tool to monitor cycling exercise intensity in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 12(1), 3-9.
- Shimizu, T., Kosaka, M., & Fujishima, K. (1998). Human thermoregulatory responses during prolonged walking in water at 25, 30 and 35 C. *European*

- journal of applied physiology and occupational physiology*, 78(6), 473-478.
- Shono, T., Fujishima, K., Hotta, N., Ogaki, T., & Masumoto, K. (2001). Cardiorespiratory response to low-intensity walking in water and on land in elderly women. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 20(5), 269-274.
- Shono, T., et al. (2000). Physiological responses and RPE during underwater treadmill walking in women of middle and advanced age. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 19(4), 195-200.
- Silvers, W. M., Rutledge, E. R., & Dolny, D. G. (2007). Peak cardiorespiratory responses during aquatic and land treadmill exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(6), 969.
- Siri, W. E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Techniques for measuring body composition*, 61, 223-44.
- Strong, L. H., Gee, G. K., & Goldman, R. F. (1985). Metabolic and vasomotor insulative responses occurring on immersion in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 58(3), 964-977.
- Svedenhag, J., & Seger, J. (1992). Running on land and in water: comparative exercise physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(10), 1155-1160.
- Taylor, N., Mekjavic, I., & Tipton, M. (2008). *The physiology of acute cold exposure, with particular reference to human performance in the cold* (pp. 359-378). Churchill Livingstone Elsevier.
- Tikusis, P., Gonzalez, R. R., & Pandolf, K. B. (1988). Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 64(2), 719-727.
- Tikusis, P., Jacobs, I., Moroz, D., Vallerand, A. L., & Martineau, L. (2000). Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water. *Journal of Applied Physiology*, 89(4), 1403-1411.
- Tipton, M. J., Stubbs, D. A., & Elliott, D. H. (1991). Human initial responses to immersion in cold water at three temperatures and after hyperventilation. *Journal of applied physiology*, 70(1), 317-322.
- Tipton, M., Pandolf, K., Sawka, M., Werner, J., & Taylor, N. (2008). Physiological adaptation to hot and cold environments.
- Tipton, M., & Bradford, C. (2014). Moving in extreme environments: open water swimming in cold and warm water. *Extreme physiology & medicine*, 3(1), 12.
- Town, G. P., & Bradley, S. S. (1991). Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(2), 238-241.
- Whitley, J. D., & Schoene, L. L. (1987). Comparison of heart rate responses water walking versus treadmill walking. *Physical therapy*, 67(10), 1501-1504.
- Wilder, R. P., Brennan, D., & Schotte, D. E. (1993). A standard measure for exercise prescription for aqua running. *The American journal of sports medicine*, 21(1), 45-48.

- Wilder, R. P., & Brennan, D. K. (1994). Fundamentals and techniques of aqua running for athletic rehabilitation. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 4(4), 287-296.
- Wilmore, J. & Costill, D. (2004). Physiology of Sport and Exercise. *Human Kinetics*, 308.
- Wilson, P. E. (2002). Exercise and sports for children who have disabilities. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 13(4), 907-923.
- Windle, C. M., Hampton, I. F. G., Hardcastle, P., & Tipton, M. J. (1994). The effects of warming by active and passive means on the subsequent responses to cold water immersion. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 68(3), 194-199.
- Yavelow, A. (1999). Finding yourself in warm water: the spiritual possibilities of Watsu.
- Young, A. J., Sawka, M. N., Neuffer, P. D., Muza, S. R., Askew, E. W., & Pandolf, K. B. (1989). Thermoregulation during cold water immersion is unimpaired by low muscle glycogen levels. *US Army Research Institute of Environmental Medicine*, 1809-1816.

VIII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις και αντιλαμβανόμενη κόπωση με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες

Καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις και αντιλαμβανόμενη κόπωση με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες

Καρδιαγγειακές και μεταβολικές αποκρίσεις και αντιλαμβανόμενη κόπωση με τρέξιμο σε βαθύ νερό, σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες

