

Φυσιολογικές Αποκρίσεις στην Άπνοια με Βύθιση του Προσώπου

Σύλβια Κωνσταντινίδου, Νικόλαος Μπεϊντάρης, & Ελένη Σουλτανάκη
ΣΕΦΑΑ, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Περίληψη

Η άπνοια προκαλεί φυσιολογικές αποκρίσεις ειδικότερα κατά τη βύθιση του προσώπου. Εξετάζουμε τις καρδιοαναπνευστικές αποκρίσεις μετά από υπομέγιστη άπνοια για πρώτη φορά σε δέκα κολυμβητές. Η άπνοια έγινε κατά τη βύθιση του προσώπου σε κρύο νερό ($10 \pm 1.05^\circ\text{C}$) με προκαθορισμένη διάρκεια 40 δευτερόλεπτα. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος διατηρήθηκε στους 25°C . Η μέση τιμή της καρδιακής συχνότητας στην ηρεμία ήταν 80.95 ± 17.75 (bpm), ενώ κατά την άπνοια 64.35 ± 14.56 και η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0.02$). Η συστολική πίεση στην ηρεμία ήταν 124 ± 8.76 (mmHg) και μετά την άπνοια 138 ± 6.33 ($p < 0.000$). Η κατανάλωση οξυγόνου στην ηρεμία ήταν 375.6 ± 118.51 (ml/min), ενώ μετά την άπνοια 598.3 ± 155.38 ($p < 0.009$). Η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά την ηρεμία 377.7 ± 208.31 (ml/min) και μετά την άπνοια 621.7 ± 130.28 ($p < 0.015$). Τα αποτελέσματα ενισχύουν τη θεωρία ενεργοποίησης του καταδυτικού αντανακλαστικού μετά από βύθιση του προσώπου στις προαναφερθείσες φυσιολογικές παραμέτρους.

Λέξεις Κλειδιά: *άπνοια, καρδιαγγειακές αποκρίσεις, αναπνευστικές αποκρίσεις, καταδυτικό αντανακλαστικό*

Physiological Responses to Apnea with Face Immersion

Sylvia Konstantinidou, Nikolaos Mpeintaris, & Eleni Soultanaki
School of Physical Education and Sports Sciences, University of Athens, Hellas

Abstract

Apnea provokes a number of physiological responses especially with face immersion. We examine for the first time the cardio respiratory responses after sub-maximal apnea in ten swimmers. Apnea was performed during face immersion in cold water ($10 \pm 1.05^\circ\text{C}$) and with pre-determined duration of 40 seconds. The room temperature was maintained at 25°C . The heart rate average value at rest was 80.95 ± 17.75 (bpm) whereas after the apnea 64.35 ± 14.56 and the difference is statistically significant ($p < 0.02$). The systolic blood pressure at rest was 124 ± 8.76 (mmHg) and after the apnea 138 ± 6.33 ($p < 0.000$). The oxygen consumption at rest was 375.6 ± 118.51 (ml/min) whilst after the apnea 598.3 ± 155.38 ($p = 0.009$). The carbon dioxide production at rest was 377.7 ± 208.31 (ml/min) and after the apnea 621.7 ± 130.28 ($p < 0.015$). Results support the notion of the activation of the dive reflex after face immersion in the aforementioned physiological parameters.

Keywords: *apnea, cardiovascular responses, respiratory responses, dive reflex*

Εισαγωγή

Η βύθιση του προσώπου σε κρύο νερό μειώνει την καρδιακή συχνότητα, ενώ παράλληλα προκαλεί αύξηση στην αρτηριακή πίεση (Ferretti, 2001). Επισημαίνουμε ότι, η έκθεση σε κρύο νερό χωρίς άπνοια, ενεργοποιεί την απόκριση στο κρύο (Tipton, 1989). Αντίθετα, εάν έχουμε έκθεση σε κρύο νερό και άπνοια, τότε ενεργοποιείται το καταδυτικό αντανακλαστικό. Συγκεκριμένα, οι Jay, Julia, Christensen και White (2007), υποστηρίζουν ότι η θερμοκρασία του νερού παίζει καθοριστικό ρόλο όσον αφορά στην ταυτόχρονη ενεργοποίηση των δύο αντανακλαστικών. Ειδικότερα, η πειραματική τους μελέτη κατέδειξε ότι όταν η βύθιση του προσώπου γίνεται σε 10°C, τότε παρατηρείται μόνο το καταδυτικό αντανακλαστικό και καμία απόκριση στο κρύο.

Το κύριο χαρακτηριστικό του καταδυτικού αντανακλαστικού είναι η βραδυκαρδία (Lin, 1982), λόγω της αυξημένης διέγερσης του καρδιακού βηματοδότη από το παρασυμπαθητικό σύστημα. Σε αθλητές άπνοιας έχει καταγραφεί μείωση της καρδιακής συχνότητας μέχρι και 20-30 χτύπους ανά λεπτό (Alboni, Alboni, & Gianfranchi 2011; Ferrigno et al., 1997). Υπάρχει επίσης εμφανής μείωση της αιματικής ροής στα άκρα λόγω αγγειοσυστολής, η οποία οφείλεται στην αυξημένη δραστηριότητα των συμπαθητικών νεύρων, τα οποία τροφοδοτούν τις αρτηρίες στα χέρια και στα πόδια (Gooden, 1994).

Δεδομένης της κύριας λειτουργίας του καταδυτικού αντανακλαστικού για την εξοικονόμηση οξυγόνου (Alboni et al., 2011), αυτό κυριαρχεί ως προς τις θερμορυθμιστικές αποκρίσεις σε συνθήκες άπνοιας (Andersson, Schagatay, Gilson, & Holm, 2000). Παρά ταύτα, άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι σε συνθήκες έκθεσης στο κρύο με βύθιση του προσώπου κυριαρχεί η επίδραση του ψύχους, παρόλο που ενεργοποιείται παράλληλα και το καταδυτικό αντανακλαστικό (Hayward, Hay, Matthews, Overweel, & Radford, 1984; Tipton, 1989). Ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι το αντανακλαστικό ενεργοποιείται με προσαγωγή ερεθίσματα από περιφερικούς υποδοχείς στο πρόσωπο ή στους θωρακικούς μύς. Αντίθετα, άλλοι το αποδίδουν σε αλλαγές στα μηχανικά και αιμοδυναμικά χαρακτηριστικά του καρδιαγγειακού συστήματος (Foster & Sheel, 2005). Ο μηχανισμός κατά τον οποίο το κράτημα της αναπνοής ενεργοποιεί την αύξηση της μέσω αναπνευστικών νευρικών ωθήσεων παραμένει άγνωστος (Whitelaw, McBride, Amar, & Corbet 1981). Οι Heath και Downy (1990), θεωρούν ότι η βύθιση του προσώπου σε κρύο νερό μπορεί εξίσου να ενεργοποιήσει το καταδυτικό αντανακλαστικό όπως η βύθιση του σώματος. Έρευνα όμως στην συγχρονισμένη κολύμβηση σε θερμότερο νερό προσθέτει αντιφατικά αποτελέσματα αποδίδοντας τη βραδυκαρδία στην άπνοια και όχι στη βύθιση του προσώπου (Greco & Quaranta, 1996). Η αύξηση της μέσης αρτηριακής πίεσης (MAP) συνιστά ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του καταδυτικού αντανακλαστικού το οποίο όμως εμφανίζεται και ως απόκριση σε έκθεση στο ψύχος (Frey, Selm, & Walther, 1980; Tipton, 1989).

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξετάσει την πιθανή ενεργοποίηση του καταδυτικού αντανακλαστικού με βύθιση μόνο του προσώπου σε κρύο νερό σε κολυμβητές. Προηγούμενες έρευνες εφάρμοσαν παρόμοια πρωτόκολλα σε άλλους πληθυσμούς όπως αθλητές αντοχής ή απνοιστές. Επιλέξαμε τους κολυμβητές, θεωρώντας ότι συνιστούν μια ομάδα μερικώς εξοικειωμένη σε συνθήκες άπνοιας χωρίς όμως να φτάνει τα επίπεδα των αθλητών άπνοιας.

Μέθοδος

Δοκιμαζόμενοι

Δέκα κολυμβητές συμμετείχαν εθελοντικά σε αυτή την έρευνα και αποτέλεσαν ταυτόχρονα την πειραματική και την ομάδα ελέγχου, εκτελώντας μια άπνοια διάρκειας 40 δευτερόλεπτων. Επιλέξαμε τα 40 δευτερόλεπτα ως επαρκή χρόνο για την πλήρη εκδήλωση του αντανακλαστικού δεδομένου ότι στην υπάρχουσα βιβλιογραφία αναφέρεται ότι μετά τα 30 δευτερόλεπτα εμφανίζεται σταθεροποίηση της καρδιακής συχνότητας (Γελαδάς, 2008). Καταγράψαμε το αθλητικό τους προφίλ, τα σωματομετρικά τους χαρακτηριστικά και αξιολογήσαμε την αερόβια ικανότητα τους σε δαπεδοεργόμετρο με τη δοκιμασία Bruce (Πίνακες 1 & 2).

Οι δοκιμαζόμενοι προσήλθαν στο εργαστήριο 3 ώρες μετά από γεύμα ή/και καφεϊνούχα ποτά. Επίσης τους ζητήθηκε εκ των προτέρων να μην καταναλώσουν αλκοόλ, τουλάχιστον 24 ώρες πριν από τις εργαστηριακές μετρήσεις. Έπρεπε επίσης να απέχουν από έντονη άσκηση δύο μέρες πριν από την προσέλευση τους στο εργαστήριο, χωρίς όμως να αλλάξουν δραματικά το προπονητικό τους πρόγραμμα στην περίοδο των μετρήσεων η οποία διήρκεσε δύο εβδομάδες.

Πρωτόκολλο

Ζητήσαμε από τους δοκιμαζόμενους να προσέλθουν στο εργαστήριο δύο φορές, με μια εβδομάδα περίπου κενό ανάμεσα τους. Η πρώτη επίσκεψη αφορούσε στην ενημέρωση τους και την γνωριμία τους με το

εργαστήριο και τις προγραμματισμένες μετρήσεις. Επιπροσθέτως τους ζητήθηκε γραπτή συγκατάθεση για τη συμμετοχή τους στην έρευνα, καθώς και να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο «Φυσικής Ικανότητας» PAR-Q *Validation Report* (Chisholm, Collins, Kulak, Davenport, & Gruber 1975). Κατόπιν, μετρήσαμε και καταγράψαμε τα το σωματικό τους βάρος με ζυγαριά ακριβείας 100 γραμμαρίων (SECA, USA) και το σωματικό τους ύψος (αναστημόμετρο, SECA, USA). Μετρήσαμε και καταγράψαμε τέσσερις δερματοπτυχές (δερματοπτυχόμετρο Harpenden, UK). Το ποσοστό σωματικού λίπους υπολογίστηκε με εφαρμογή εξίσωσης για άρρενες πληθυσμούς (Durnin & Womersley; 1974). Τέλος, υπολογίσαμε τη μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) εφαρμόζοντας το πρωτόκολλο Bruce σε δαπεδοεργόμετρο.

Η δεύτερη επίσκεψη των δοκιμαζόμενων στο εργαστήριο αφορούσε στην κύρια πειραματική διαδικασία όπου τους ζητήθηκε να εκτελέσουν μια υπομέγιστη άπνοια διάρκειας 40 δευτερολέπτων, με ταυτόχρονη βύθιση του προσώπου τους σε κρύο νερό ($10 \pm 1.05^{\circ}C$). Είχαμε συνεχή καταγραφή της καρδιακής τους συχνότητας (Polar, S610i, Sweden) και του κορεσμού οξυγόνου (παλμικό οξύμετρο MD200C1, Beijing Choice Electronic Tech Co. Ltd, China). Η αρτηριακή πίεση μετρήθηκε τόσο πριν όσο και μετά την άπνοια με χειροκίνητο μανόμετρο (Medel, France). Συλλέξαμε τα αναπνευστικά τους αέρια πριν και αμέσως μετά την άπνοια με φορητό εργοσπιρόμετρο (VO2000, Breeze Lite, Medical Graphics Corp., U.S.A.).

Αναλυτικότερα, η χρονική σειρά των πειραματικών διαδικασιών συνιστούσε την καθιστή θέση σε κατάσταση ηρεμίας για δέκα λεπτά, όπου στα τελευταία πέντε μετρήσαμε την αρτηριακή τους πίεση, ενώ συλλέξαμε τα αναπνευστικά αέρια στα τελευταία δύο λεπτά. Κατόπιν οι δοκιμαζόμενοι ξάπλωσαν σε στρώμα σε πρηνή θέση όπου εκτέλεσαν την άπνοια, βυθίζοντας το πρόσωπο τους σε λεκάνη με κρύο νερό ($\sim 10^{\circ}C$). Αμέσως μετά τη λήξη της άπνοιας συλλέξαμε τα αναπνευστικά τους αέρια για δύο λεπτά, ενώ βρίσκονταν ακόμα σε πρηνή θέση. Αφού επανήλθαν σε καθιστή θέση, μετρήσαμε την αρτηριακή τους πίεση.

Στατιστική Ανάλυση

Υπολογίσαμε τις μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις/τυπικά σφάλματα για όλες τις μεταβλητές τις οποίες μετρήσαμε στο EXCEL. Οι τιμές για την καρδιακή συχνότητα αφορούν στο μέσο όρο, τρία λεπτά πριν και κατά την άπνοια. Συγκρίναμε τις τιμές στις διάφορες μεταβλητές, πριν και μετά την άπνοια, με t-tests για εξαρτημένα δείγματα (SPSS v.10). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε ($p < 0.05$).

Αποτελέσματα

Όλα τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις (στα σχήματα παρουσιάζουμε τυπικά σφάλματα). Στον Πίνακα 1, παρουσιάζουμε το αθλητικό προφίλ των δοκιμαζόμενων. Παρατηρούμε ότι υπήρξαν όλοι αθλητές σε αγωνίσματα νερού, ορισμένοι από τους οποίους είναι μέχρι σήμερα εν ενεργεία. Επίσης, στον Πίνακα 2 διαφαίνεται ότι όλοι ανεξαιρέτως παρουσίασαν μέτρια ή / και υψηλή τιμή στη VO_{2max} .

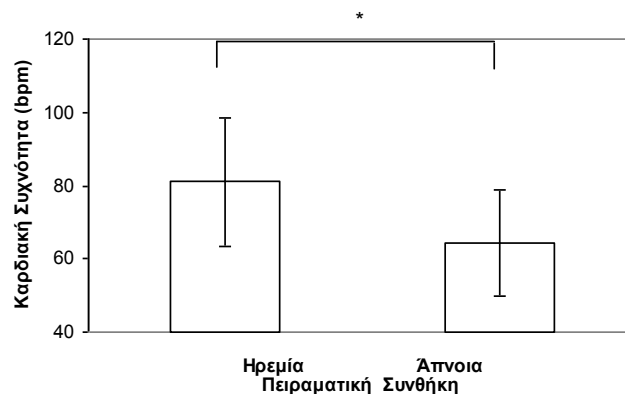
Πίνακας 1. Αθλητικό προφίλ δοκιμαζόμενων

Παράμετρος	Μέσος Όρος \pm Τυπική Απόκλιση
Αγωνιστική Εμπειρία (έτη)	7.80 \pm 4.34
Κολυμβητική Εμπειρία (έτη)	12.90 \pm 5.0
Εβδομάδες Προπόνησης ανά έτος	45.40 \pm 4.25
Ώρες προπόνησης ανά εβδομάδα	14.30 \pm 6.40
Αριθμός συμμετοχής σε αγώνες ανά έτος	10.30 \pm 8.03
Τεχνική κολύμβηση (άτομα)	1
Καταδόσεις (άτομα)	1

Πίνακας 2. Σωματομετρικά χαρακτηριστικά και φυσική κατάσταση των δοκιμαζομένων

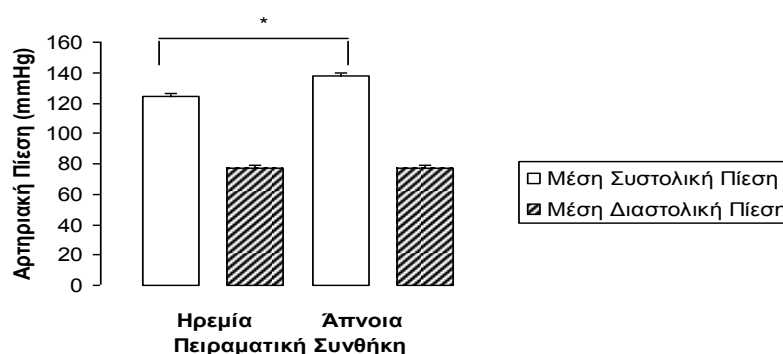
Σωματομετρικά Χαρακτηριστικά	
Παράμετρος	Μέσος Όρος ±Τυπική Απόκλιση
Ηλικία (έτη)	21.3 ±1.25
Σωματικό Βάρος (Kg)	84.61±10.07
Σωματικό Ύψος (m)	1.84 ±0.08
BMI (Kg/m ²)	25.03 ±2.47
Σωματικό Λίπος (%)	9 ± 0.03
Λίπος (Kg)	7.50 ±3.03
Άλιπη Σωματική Μάζα (Kg)	77.11 ±9.27
VO ₂ max (mL min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	48.2±7.24

Στο Σχήμα 1, διαπιστώνουμε τη στατιστικά σημαντική ($p<0.02$) μείωση της καρδιακής συχνότητας λόγω άπνοιας (από 80.95 ± 17.75 σε 64.35 ± 14.56 κτύπους ανά λεπτό). Το αποτέλεσμα αυτό συνιστά ισχυρό επιβεβαιωτικό στοιχείο αναφορικά με την ενεργοποίηση του καταδυτικού αντανακλαστικού.



Σχήμα 1. Μέση τιμή και τυπικά σφάλματα καρδιακής συχνότητας σε ηρεμία στην άπνοια.* υποδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφορά στην μέση τιμή ανάμεσα στις δύο πειραματικές συνθήκες ($p< 0.05$)

Αντίθετα, η στατιστικά σημαντική αύξηση ($p<0.000$) στη συστολική αρτηριακή πίεση δεν μπορεί να αποδοθεί ξεκάθαρα στο καταδυτικό αντανακλαστικό, δεδομένου ότι συνιστά παράλληλα χαρακτηριστικό της απόκρισης στο κρύο (από 124 ± 8.76 σε 138 ± 6.33 , Σχήμα 2). Συνεπώς, ενώ οι καρδιαγγειακές παράμετροι επιβεβαιώνουν την ενεργοποίηση του καταδυτικού αντανακλαστικού, δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την ταυτόχρονη ενεργοποίηση της απόκρισης στο κρύο.



Σχήμα 2. Μέση τιμή και τυπικό σφάλμα συστολικής πίεσης (ΣΠ) και διαστολικής πίεσης (ΔΠ) σε ηρεμία και μετά την άπνοια. * υποδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφορά στη μέση τιμή ΣΠ ανάμεσα στις δύο πειραματικές συνθήκες ηρεμίας και άπνοιας ($p= 0.05$)

Εξετάζοντας τις αναπνευστικές παραμέτρους, παρατηρούμε ότι αυξήθηκαν μετά την άπνοια. Ειδικότερα, η κατανάλωση οξυγόνου μαζί με την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών πριν και μετά την άπνοια (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Αναπνευστικές παράμετροι πριν και μετά από άπνοια με βύθιση προσώπου σε κρύο νερό. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν μέσους όρους \pm τυπικές αποκλίσεις για την περίοδο ηρεμίας και μετά από την άπνοια δηλαδή δύο λεπτά πριν και δύο μετά

	Ηρεμία	Μετά την Άπνοια
Κατανάλωση οξυγόνου -VO ₂ (ml/min)	375.6 \pm 118.51	598.3 \pm 155.38*
Παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα -VCO ₂ (ml/min)	377.7 \pm 208.31	621.7 \pm 130.28*
Ρυθμός αναπνοής - RR (αριθμός αναπνοών/λεπτό)	11.5 \pm 3.55	15.13 \pm 5.94
Πνευμονικός αερισμός - VE (L/min)	25.4 \pm 8.78	26.9 \pm 4.07

* υποδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0.05$) ανάμεσα στις τιμές ηρεμίας και μετά την άπνοια.

Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, η ενεργοποίηση των δύο αντανακλαστικών προκαλεί αύξηση των παραμέτρων της αναπνοής (Tipton, 1989; Woolf, 1967). Επομένως, δεν μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα εάν αυτές οι αλλαγές οφείλονται στο καταδυτικό αντανακλαστικό ή στην απόκριση στο κρύο. Τέλος, ο κορεσμός οξυγόνου (SO₂) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ηρεμίας (98.6 \pm 0.52) και άπνοιας (97.2 \pm 2.57).

Συζήτηση

Η παρούσα μελέτη εξέτασε τις καρδιοαναπνευστικές επιδράσεις της άπνοιας σε κρύο νερό μετά από ηρεμία. Παρατηρήθηκε ότι 40 δευτερόλεπτα έκθεσης μόνο του προσώπου σε κρύο νερό επαρκούν για να προκαλέσουν καρδιαγγειακές και αναπνευστικές αποκρίσεις (Σχήμα 1.2, Πίνακας 3). Η βιβλιογραφία αναφέρει ότι οι καρδιαγγειακές και οι αναπνευστικές αποκρίσεις αποτελούν τις κύριες μεταβλητές οι οποίες επηρεάζονται από τα δύο αντανακλαστικά και ειδικότερα η καρδιακή συχνότητα (Lin, 1982). Ο κορεσμός οξυγόνου δεν μειώθηκε σημαντικά και αυτό επιβεβαιώνει περαιτέρω την εντονότερη ενεργοποίηση του καταδυτικού αντανακλαστικού με βύθιση του προσώπου σε σχέση με την ξηρή άπνοια (Andersson & Evaggelidis, 2009).

Καρδιαγγειακές αποκρίσεις στην άπνοια του προσώπου με βύθιση σε κρύο νερό. Η άπνοια με βύθιση μόνο του προσώπου στο κρύο νερό προκαλεί έντονο καταδυτικό αντανακλαστικό (Schagatay et al., 2007; Speck & Bruce, 1978). Ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι το αντανακλαστικό ενεργοποιείται με προσαγωγά ερεθίσματα από περιφερικούς υποδοχείς στο πρόσωπο ή στους θωρακικούς μυς. Αντίθετα, άλλοι το αποδίδουν σε αλλαγές στα μηχανικά και στα αιμοδυναμικά χαρακτηριστικά του καρδιαγγειακού συστήματος (Foster & Sheel, 2005). Η αύξηση της MAP συνιστά ένα επιπλέον χαρακτηριστικό, ίσως ανεξάρτητο από το συγκεκριμένο αντανακλαστικό το οποίο συνοδεύεται με μείωση της καρδιακής παροχής. Η αύξηση της MAP αφορά μόνο στον άνθρωπο, ενώ τα υδρόβια θηλαστικά καταφέρνουν να τη διατηρούν (Foster & Sheel, 2005). Η αρτηριακή πίεση λόγω καταδυτικού αντανακλαστικού όπως αναφέρει η βιβλιογραφία φτάνει σε τιμές 280/200-συστολική και διαστολική αντίστοιχα (Ferrigno et al., 1997).

Η απόκριση στο ψύχος ενεργοποιείται μέσω προσαγωγών αισθητηριακών πληροφοριών από τους περιφερικούς υποδοχείς οι οποίοι αντιδρούν στο κρύο. Ειδικότερα, το ερέθισμα του κρύου στην επιφάνεια του δέρματος ενεργοποιεί τους θερμο-ευαίσθητους μηχανουποδοχείς, θερμο-ευαίσθητους υποδοχείς του πόνου και τους υποδοχείς του κρύου, παρεμποδίζοντας τους υποδοχείς θερμότητας (Tipton, 1989). Η απόκριση στο ψύχος, με αύξηση στην καρδιακή συχνότητα, αντιπροσωπεύει τη διέγερση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος διαμέσου της καλύπτρας του μεσεγέφαλου και του υποθάλαμου. Η περιφερική αγγειοσυστολή σε συνάρτηση με την αύξηση της αρτηριακής πίεσης είναι το αποτέλεσμα της ενεργοποίησης του συμπαθητικού νευρικού συστήματος. Εξίσου σημαντική είναι και η επίδραση της εκπόλωσης του αρτηριακού λείου μυός λόγω ψύχους όπου καταλήγει σε περιφερική αγγειοσυστολή.

Η επικράτεια του καταδυτικού αντανακλαστικού στην παρούσα μελέτη επιβεβαιώνεται από τη μείωση των τιμών της καρδιακής συχνότητας κατά 20.5% μετά από την άπνοια (Σχήμα1).

Αναπνευστικές αποκρίσεις στην άπνοια του προσώπου με βύθιση σε κρύο νερό. Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, η ενεργοποίηση των δύο αντανακλαστικών προκαλεί αύξηση των παραμέτρων της αναπνοής, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε στην παρούσα έρευνα (Πίνακας 3) και ειδικότερα στην κατανάλωση του οξυγόνου και στην παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα. Η αύξηση του ρυθμού του μεταβολισμού όπως παρατηρήθηκε στην παρούσα έρευνα με την αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου ($p < 0.009$), μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη τάση των μυών και στην αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου λόγω αύξησης του ρυθμού αναπνοής μετά από άπνοια (Hong et al., 1969). Άλλες αναπνευστικές παράμετροι (πνευμονικός αερισμός, αναπνευστική συχνότητα) ενώ έδειξαν μία τάση αύξησης, δεν ήταν σημαντική γιατί πιθανά επενέργησαν ρυθμιστικοί μηχανισμοί οι οποίοι εξομάλυναν τις αποκρίσεις.

Το Καταδυτικό αντανακλαστικό και η απόκριση στο κρύο. Στην παρούσα έρευνα, η αύξηση κατά 11% στη συστολική αρτηριακή πίεση δεν μπορεί να αποδοθεί ξεκάθαρα στο καταδυτικό αντανακλαστικό, δεδομένου ότι συνιστά χαρακτηριστικό και της απόκρισης στο κρύο (Σχήμα 2). Τα εμπειρικά αποτελέσματα είναι αντικρουόμενα, τόσο όσον αφορά στη συνύπαρξη των δύο αντανακλαστικών, όσο και στο μηχανισμό ενεργοποίησής τους. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα έτσι ώστε να διευκρινιστούν τα χαρακτηριστικά αυτών και ειδικότερα οι συνθήκες ενεργοποίησής τους. Επιπροσθέτως, οι ερευνητές πρέπει να εξετάσουν την πιθανή συνύπαρξη των δύο αντανακλαστικών και κάτω από ποιες τις συνθήκες είναι δυνατή (Shattock & Tirton, 2012).

Η παρούσα έρευνα κατέδειξε την επικράτεια του καταδυτικού αντανακλαστικού ως προς την απόκριση στο κρύο λόγω του ότι η καρδιακή συχνότητα παρουσίασε στατιστικά σημαντική πτώση. Οι λόγοι αύξησης της συστολικής πίεσης καθώς και των λοιπών αναπνευστικών παραμέτρων παραμένουν αδιευκρίνιστοι, δεδομένου ότι αποτελούν χαρακτηριστικά ενεργοποίησης και για τα δύο αντανακλαστικά (Σχήμα 2, Πίνακας 3).

Συμπεράσματα - Περαιτέρω έρευνα

Οι καρδιαγγειακές παράμετροι επιβεβαιώνουν την ενεργοποίηση του καταδυτικού αντανακλαστικού όπως αυτό εκφράζεται με τη μείωση της καρδιακής συχνότητας. Ωστόσο, δεν μπορούμε να αποκλείσουμε την ταυτόχρονη ενεργοποίηση της απόκρισης στο κρύο όπως εκφράζεται με την αύξηση των τιμών της αρτηριακής πίεσης καθώς και των αναπνευστικών παραμέτρων.

Παρόλο που η έρευνα μας περιορίστηκε σε βασικές καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παραμέτρους, η βιβλιογραφία αναφέρει ότι αυτές αποτελούν και τις κύριες μεταβλητές όσον αφορά στα δύο αντανακλαστικά και ειδικότερα στην καρδιακή συχνότητα (Lin, 1982; Tocco et al., 2012). Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εξετάσει πιθανές αλλαγές στους βιοχημικούς δείκτες οι οποίοι επηρεάζουν το επίπεδο του pH ως αποτέλεσμα της ενεργοποίησης του καταδυτικού αντανακλαστικού και κατ'επέκταση του αναερόβιου μεταβολισμού.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος συνιστά ένα επίσης σημαντικό παράγοντα. Οι Schagatay και Holm (1996), έδειξαν ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος έχει αρνητική συσχέτιση με την απόκριση της καρδιακής συχνότητας κατά τη βύθιση του προσώπου σε κρύο νερό. Στην παρούσα έρευνα, διατηρήσαμε το περιβάλλον σε θερμο-ουδέτερη θερμοκρασία (25°C).

Περαιτέρω έρευνα αναφορικά με την ταυτόχρονη ενεργοποίηση των δύο αντανακλαστικών σε διαφορετικές ομάδες απαιτείται προτού προσδιορίσουμε τόσο τα χαρακτηριστικά αυτών όσο και τον μηχανισμό ενεργοποίησής τους. Θεωρούμε ότι οι κολυμβητές αποτελούν μια ομοιογενή ομάδα όσον αφορά στην άπνοια, παρουσιάζοντας μέτριες προσαρμογές σε σχέση με τους αθλητές άπνοιας (Julia et al., 2003; Schagatay et al., 2000; Tocco et al., 2012). Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος επιλογής αυτού του δείγματος, δεδομένου του κενού στη βιβλιογραφία όσον αφορά στη συγκεκριμένη ομάδα. Όμως, τα αποτελέσματα μας δεν μπορούν να γενικευτούν σε άλλες ομάδες.

Τέλος, η ενεργοποίηση του καταδυτικού αντανακλαστικού ίσως επισκιάζεται όταν οι δοκιμαζόμενοι εκτελούν δυναμική άπνοια (Kiviniemi et al., 2012; Tocco et al., 2013). Περαιτέρω έρευνα πρέπει να εξετάσει αιμοδυναμικές προσαρμογές ή και άλλες μεταβολικές αποκρίσεις κατά τη δυναμική άπνοια με βύθιση ολόκληρου του σώματος.

Αδυναμίες της μελέτης

Στη μελέτη αυτή, δύο συνισταμένες θα μπορούσαν να έχουν ερευνηθεί μέσα από επιπρόσθετες μετρήσεις, που θα ισχυροποιούσαν την παρούσα έρευνα: α) η διάρκεια μέγιστης άπνοιας με βύθιση του προσώπου, και β) άπνοια χωρίς βύθιση του προσώπου.

Η διάρκεια της άπνοιας επιλέχθηκε με βάση έρευνες που υποδεικνύουν ότι η επίδραση του ΚΑ μεγιστοποιείται μετά από 30 δευτερόλεπτα άπνοιας αφού η καρδιακή συχνότητα σταθεροποιείται (Γελαδάς, 2008: 36; Schagatay et al., 1999). Ειδικότερα έχει παρατηρηθεί ότι σε στατική άπνοια η αύξηση της καρδιακής συ-

χνότητας (ΚΣ) παρατηρείται μόνο μέχρι τα πρώτα 10 δευτερόλεπτα βύθισης. Επομένως, η διάρκεια των 40 δευτερολέπτων την οποία επιλέξαμε για την άπνοια με βύθιση θεωρητικά ήταν επαρκής για τη δραστηριοποίηση του αντανακλαστικού στο κρύο αρχικά και μετέπειτα του καταδυτικού αντανακλαστικού. Εάν είχαμε υποβάλει τους δοκιμαζόμενους και σε μία αρχική μέτρηση μέγιστης άπνοιας, θα είχαμε ένα επιπλέον μέτρο σύγκρισης όσον αφορά στο ποσοστό αντιστοιχίας των 40 δευτερολέπτων ως προς τη μέγιστη ατομική άπνοια. Επιπροσθέτως, θα μπορούσαμε να βασίσουμε την έρευνα στο χρόνο βύθισης σε σχέση με τη μέγιστη άπνοια. Με τη συνεχή καταγραφή της ΚΣ θα μπορούσαμε να είχαμε εντοπίσει το ακριβές σημείο όπου παρατηρούνται οι αλλαγές στη δραστηριοποίηση του κάθε αντανακλαστικού. Αντίστοιχα, υποβάλλοντας τους δοκιμαζόμενους σε μέγιστη ξηρή άπνοια ή/και υπομέγιστη ξηρή άπνοια θα είχαμε επιπρόσθετα στοιχεία για περαιτέρω συγκρίσεις. Οι παραλήψεις αυτές θα ληφθούν υπόψη σε μελλοντική έρευνα καθώς και οι πιθανοί κίνδυνοι όσον αφορά στις μέγιστες άπνοιες (Dujic & Breskovic, 2012; Hansel et al., 2009).

Τέλος, η σύγκριση της υγρής με ξηρή άπνοια ή ακόμα και της άπνοιας με βύθιση ολόκληρου του σώματος (Costalat et al., 2013) και σε διαφορετικές θερμοκρασίες, θα μας έδιναν περαιτέρω χρήσιμες πληροφορίες. Τα αποτελέσματα θα προσέφεραν μία πιο σφαιρική γνώση της επίδρασης της άπνοιας σε κολυμβητές με μερική προσαρμογή σε συνθήκες υποξίας.

Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Η άπνοια με βύθιση του προσώπου συνιστά μέθοδο προπόνησης σε αθλήματα νερού όπως στην αγωνιστική κολύμβηση, στη συγχρονισμένη κολύμβηση, στην τεχνική κολύμβηση κλπ.. Ο Joulia et al., (2002; 2003) υποστηρίζει ότι η προπόνηση άπνοιας δύναται να μειώσει το οξειδωτικό στρες και να βελτιώσει την ανοχή στην υποξαιμία, ανεξαρτήτως γενετικών παραγόντων. Επιπροσθέτως, ο Lemaître et al., (2010), προβάλλει την προπόνηση άπνοιας ως μια καινούργια μέθοδο για τη βελτίωση της απόδοσης, τόσο σε αερόβιο, όσο και σε αναερόβιο επίπεδο. Περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επιβεβαιώσει τις πιθανές ευεργετικές συνέπειες της προπόνησης άπνοιας στην αθλητική απόδοση, καθώς και τους υποκείμενους μηχανισμούς.

Σημασία για την Ποιότητα Ζωής

Η χειμερινή κολύμβηση σε ανοικτή θάλασσα αποτελεί μια ιδιαίτερη ενασχόληση στη χώρα μας. Συχνά οι χειμερινοί κολυμβητές εισέρχονται σε πολύ κρύο νερό, παραβλέποντας τη σημαντικότητα των φυσιολογικών αποκρίσεων του ανθρώπινου οργανισμού. Η σημαντικότητα της έρευνας αυτής έγκειται στο γεγονός ότι η έκθεση του προσώπου στο κρύο νερό εν ημερία, ενεργοποιεί το καταδυτικό αντανακλαστικό, όπως τεκμηριώνεται με τη μείωση της καρδιακής συχνότητας και τη μικρή αλλά σημαντική αύξηση της συστολικής αρτηριακής πίεσης. Άτομα τα οποία πιθανόν να πάσχουν από καρδιαγγειακά νοσήματα ή/και υπέρταση, θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικά όσον αφορά στην απότομη έκθεση τους σε κρύο νερό.

Βιβλιογραφία

- Alboni, P. Alboni, M., & Gianfranchi, L. (2011). Diving bradycardia: a mechanism of defence against hypoxic damage. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 12(6), 422-427.
- Andersson, J.P., & Evaggelidis, L. (2009). Arterial oxygen saturation and diving response during dynamic apneas in breath-hold divers. *Scandinavian Journal of Medicine and Sports Science*, 19(1), 87-91.
- Andersson, J., Liner, M., Runow, E., & Schagatay, E. (2002). Diving response and arterial oxygen saturation during apnea and exercise in breath-hold divers. *Journal of Applied Physiology*, 93, 882-886.
- Andersson, J., Schagatay, E., Gilson, A., & Holm, B. (2000). Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face, and their relationship to apnea. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 566-572.
- Chisholm, D., Collins, M., Kulak, L., Davenport, W., & Gruber, N. (1975). Physical activity readiness. *British Columbia Medical Journal*, 17, 375-378.
- Costalat, G., Coquart, J., Castres, I., Tourny, C., & Lemaître, F. (2013). Hemodynamic adjustments during breath-holding in trained divers. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2523-2529.
- Durnin, J.V.G.A., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurement on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of*

Nutrition, 32, 77-97.

- Dujic, Z., & Breskovic, T. (2012). Impact of breath holding on cardiovascular respiratory and cerebrovascular health. *Sports Medicine*, 42(6), 459-472.
- Ferretti, G. (2001). Extreme human breath-hold diving. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 254-271.
- Ferrigno, M., Ferretti, G., Ellis, A., Warkander, D., Costa, M., Cerretelli, P., et al., (1997). Cardiovascular changes during deep breath-hold dives in a pressure chamber. *Journal of Applied Physiology*, 83(4), 1282-1290.
- Foster, G.E., & Sheel, A.W. (2005). The human diving response, its function, and its control. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 15, 3-12.
- Frey, M.A.B., Selm, A.B., & Walther, J.W (1980). Reflex cardiovascular responses to cold exposure of the face or foot. *Japanese Heart Journal*, 21, 665-679.
- Gooden, B.A. (1994). Mechanism of the human diving response. *Integrative Physiological and Behavioural Science*, 29(1), 6-16.
- Greco, M., & Quaranta, B. (1996). Heart rate variations in response to scuba diving vs apnea during synchronized swimming. Part II. *Sport Medicine*, 49, 271-280.
- Hansel, J., Solleder, I., Gfroerer, W., Muth, C.M., Paulat, K., Simon, P., et al., (2009). Hypoxia and cardiac arrhythmias in breath-hold divers during voluntary immersed breath-holds. *European Journal of Applied Physiology*, 105(5), 673-678.
- Hayward, J.S., Hay, C., Matthews, B.R., Overweel, C.H., & Radford, D.D. (1984). Temperature effect on the human dive response in relation to cold water near-drowning. *Journal of Applied Physiology*, 56, 202-206.
- Heath, M.E., & Downy, J.A. (1990). The cold face test (diving reflex) in clinical autonomic assessment: methodological considerations and repeatability of responses. *Clinical Science*, 78, 139-147.
- Hong, S.K., Cerretelli, P., Cruz, J.C., & Rahn, H. (1969). Mechanics of respiration during submersion in water. *Journal of Applied Physiology*, 27(4), 535-538.
- Jay, O., Julia, P.H., Christensen, J.P., & White MD. (2007). Human face-only immersion in cold water reduces maximal apnoeic times and stimulates ventilation. *Experimental Physiology*, 92(1), 197-206.
- Joulia, F., Steinberg, J.G., Wolff, F., Gavarry O., & Jammes Y. (2002). Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 133, 121-130.
- Joulia, F., Steinberg, J.G., Faucher, M., Thibault, J., Ulmer, C., Kipson N., et al., (2003). Breath-hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 137, 9-27.
- Kiviniemi, A.M., Breskovic, T., Uglesic, L., Kuch, B., Maslov, P.Z., Sieber, A., et al. (2012). Heart rate variability during static and dynamic breath-hold dives in elite divers. *Autonomic Neuroscience*, 169(2), 95-101.
- Lemaitre, F., Julia, F., & Chollet, D. (2010). Apnea: A new training method in sport? *Medical Hypotheses*, 74, 413-415.
- Lin, Y.C. (1982). Breath-holding in terrestrial mammals. In: Terljung RL, editor. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. Philadelphia: Franklin, 270-307.
- Schagatay, E., & Holm, B. (1996). Effects of water and ambient air temperatures on human diving bradycardia. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 1-6.
- Schagatay, E., Kampen, M., & Andersson, J. (1999). Effects of repeated apneas on apneic time and diving response in non-divers. *Undersea Hyperbaric & Medicine*, 26(3), 143-149.
- Schagatay, E., van Kampen, M., Emanuelsson, S., & Holm, B. (2000). Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 82 (3), 161-169.
- Schagatay, E., Andersson, J.P.A., & Nielsen, B. (2007). Haematological response and diving response during apnea and apnea with face immersion. *European Journal of Applied Physiology*, 101, 125-132.
- Shattock, M.J., & Tipton, M.J. (2012). 'Autonomic conflict': a different way to die during cold water immersion? *Journal of Physiology*, 590(14), 3219-3230.
- Speck, D.F., & Bruce, D.S. (1978). Effects of varying thermal and apnoeic conditions on the human diving reflex. *Undersea Biomedical Research*, 5(1), 9-14.
- Tipton, M.J. (1989). The initial responses to cold-water immersion in man. *Clinical Science*, 77, 581-588.
- Tocco, F., Crisafulli, A., Melis, F., Porru, C., Pittau, G., Milia, R., et al., (2012). Cardiovascular adjustments in breath-hold diving: comparison between divers and non-divers in simulated dynamic apnoea. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 543-554.
- Tocco, F., Marongiu, E., Pinna, M., Roberto, S., Pusceddu, M., Angius, L., et al. (2013). Assessment of circulatory adjustments during underwater apnoea in elite divers by means of a portable device. *Acta Physiologica Oxford*, 207(2), 290-298.

- Whitelaw, W.A., McBride, B., Amar, J., & Corbet, K. (1981). Respiratory neuromuscular output during breath holding. *Journal of Applied Physiology*, 50(2), 435-443.
- Wolf, S. (1967). The end of the rope: the role of the brain in cardiac death. *Short Communication*, 97(3), 1022-1025.
- Γελαδάς, Ν. (2008). *Ελεύθερη κατάδυση: Η φυσιολογία της άπνοιας*. Αθήνα: Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης.