

Διδακτορική Διατριβή

**Η επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στην καρδιαγγειακή λειτουργία και
στην αθλητική απόδοση**

Αρναούτης Ιωάννης

Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας – Διατροφής

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Αθήνα, 2012



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Εφαρμοσμένη Διαιτολογία-Διατροφή

Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής

Η επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στην καρδιαγγειακή λειτουργία και στην αθλητική απόδοση

Αρναούτης Ιωάννης

Αθήνα, 2012

Εξεταστική Επιτροπή

Σταύρος Κάβουρας, Επίκουρος Καθηγητής

Λάμπρος Συντώσης, Καθηγητής

Νικόλαος Γελαδάς, Αναπληρωτής Καθηγητής

EYXAPIΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω ιεραρχικά, τις θερμότερες των ευχαριστιών μου στον Καθηγητή μου κ. Σταύρο Κάβουρα, ο οποίος με ενέπνευσε και ήταν συνέχεια δίπλα μου ως μέντοράς μου αλλά και ως φίλος, σε καλές και δύσκολες στιγμές στην πορεία αυτού του διδακτορικού. Η συνεργασία μας ήταν κάτι παραπάνω από άψογη και ελπίζω η αμοιβαία εκτίμηση και η άριστη σχέση να παραμείνει και μετά το πέρας αυτής της δουλειάς.

Δεν μου επιτρέπεται να ξεχάσω τον κ. Λάμπρο Συντώση ο οποίος πάντα έδειχνε ενδιαφέρον για την πορεία του διδακτορικού μου και με παρακινούσε, όπως επίσης οφείλω να του αναγνωρίσω τη δημιουργία ευχάριστου κλίματος καθ' όλη τη διάρκεια του διδακτορικού, εντός και εκτός Ελλάδας...

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται και στον Κίμωνα Σταματελόπουλο για την υπερπολύτιμη βοήθειά του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Ελένη Σοφού, την Ειρήνη Μπαθρέλλου, και την Αντιγόνη Τσιαφίτσα, για την υποστήριξη και την υπομονή που επέδειξαν στις πάσης φύσεως ερωτήσεις μου όλα αυτά τα χρόνια, και τη βοήθειά τους σε τεχνικά ζητήματα και μή.

Τέλος, ιδιαίτερης μνείας χρήζουν και ορισμένοι προπτυχιακοί και μεταπτυχιακοί φοιτητές του τμήματος, οι οποίοι συνετέλεσαν σημαντικά στην εκτέλεση της συγκεκριμένης διατριβής. Τους οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ καθώς και να τους αναφέρω ονομαστικά: Κώστας Αναστασίου, Μαρία Μαράκη, Κώστας Μπάρδης, Ειρήνη Χριστάκη, Νικόλαος Στρατάκης, Αθανασία Αγγελοπούλου και Χαρά Σκουλαρίκη.

Θα ήθελα τέλος να εκφράσω ξεχωριστά, την απόλυτη ευγνωμοσύνη μου στους αγαπημένους μου γονείς οι οποίοι ήταν, είναι και θα είναι, πάντα στο πλάι μου. Όπως επίσης και στη γυναίκα μου και στο παιδί μου, οι οποίοι έκαναν υπομονή και ήταν τα αποκούμπια μου σε δύσκολες στιγμές αυτής της προκλητικής πορείας.

Σε αυτούς ειδικά αφιερώνεται η παρούσα Διδακτορική Διατριβή

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
Η σημασία του νερού για τον ανθρώπινο οργανισμό.....	8
Οι σημαντικότερες λειτουργίες του νερού.....	8
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	10
Κατανομή του νερού στο σώμα.....	10
Το ισοζύγιο των υγρών του σώματος.....	11
Φυσιολογία: Νεφρική ρύθμιση υδατικής ισορροπίας.....	12
Ο μηχανισμός της δίψας και ο ρόλος των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων	14
Ο ρόλος των στοματικών υποδοχέων στην αθλητική απόδοση	16
Μέθοδοι προσδιορισμού των επιπέδων υδάτωσης	21
Αλλαγές στο σωματικό βάρος	22
Αιματολογικοί δείκτες	24
Δείκτες στα ούρα	25
Ανάλυση Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης	29
Η σίελος ως δείκτης επιπέδων υδάτωσης.....	29
Διάφοροι δείκτες εκτίμησης επιπέδων υδάτωσης.....	30
Αξιολόγηση των επιπέδων υδάτωσης σε αθλητές.....	31
Αφυδάτωση και παιδική ηλικία.....	33
Το φαινόμενο της ακούσιας αφυδάτωσης.....	35
Η αφυδάτωση και οι συνέπειές της	36
Αφυδάτωση και υγεία	36
Αφυδάτωση και αθλητική απόδοση.....	39
Αφυδάτωση και καρδιαγγειακή λειτουργία.....	42
Το ενδοθήλιο και οι κύριες λειτουργίες του	45
Ενδοθήλιο και διατροφή	46
ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	50

1η Μελέτη: Η κατά βούληση πρόσληψη υγρών δεν προλαμβάνει την αφυδάτωση σε υπό-υδατωμένους νεαρούς ποδοσφαιριστές κατά την παραμονή τους σε καλοκαιρινό αθλητικό καμπ.

.....	52
Εισαγωγή.....	52
Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες	53
Αποτελέσματα	55
Σχολιασμός-Συμπεράσματα	55
Πίνακες-Γραφήματα	59

2η Μελέτη: Η εκπαιδευτική παρέμβαση σχετικά με έμφαση στην πρόσληψη νερού βελτιώνει τα επίπεδα υδάτωσης και ενισχύει την αθλητική απόδοση σε νεαρούς αθλητές

.....	63
Εισαγωγή.....	63
Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες	64
Αποτελέσματα	66
Σχολιασμός-Συμπεράσματα	67
Πίνακες-Γραφήματα	70

3η Μελέτη: Η επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στην καρδιαγγειακή λειτουργία

.....	75
Εισαγωγή.....	75
Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες	75
Αποτελέσματα	80
Σχολιασμός-Συμπεράσματα	80
Πίνακες-Γραφήματα	84

4η Μελέτη: Η επίδραση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων στην αθλητική απόδοση

.....	90
Εισαγωγή.....	90
Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες	91
Αποτελέσματα	95
Σχολιασμός-Συμπεράσματα	96
Πίνακες-γραφήματα	99

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....

Παράρτημα 1: Δημοσιεύσεις

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

επικράτηση της αφυδάτωσης διατηρήθηκε και τις 2 προπονητικές ημέρες, με το 95.8% και το 97.2% των παιδιών να είναι αφυδατωμένα μετά την 1η και τη 2^η προπονητική συνεδρία, αντίστοιχα. Είναι αξιοσημείωτο ότι παρά την διαθεσιμότητα σε υγρά, 54 από τα 66 (81.8 %) παιδιά με πριν την έναρξη της άσκησης $USG \geq 1.020$ μείωσαν περαιτέρω το βάρος τους (-0.35 ± 0.04 kg), ενώ το 74.6% (47 από τα 63) μείωσαν περαιτέρω το βάρος τους μετά το τέλος της 2^{ης} προπονητικής συνεδρίας (-0.22 ± 0.03 kg). **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Σχεδόν το 90% των νεαρών ποδοσφαιριστών που ξεκίνησαν να προπονούνται κάτω από ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες ήταν υπό-υδατωμένοι, ενώ η κατά βούληση κατανάλωση υγρών κατά την προπόνηση, δεν απέτρεψε την περαιτέρω αφυδάτωση στους ήδη αφυδατωμένους παίκτες.

2η Μελέτη

ΣΚΟΠΟΣ: Η αξιολόγηση εάν ένα πρόγραμμα παρέμβασης με έμφαση στην αυξημένη πρόσληψη υγρών μπορεί να βελτιώσει την απόδοση σε παιδιά που ασκούνται υπό ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες. **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:** 92 νεαροί αθλητές συμμετείχαν στη μελέτη (ηλικία: 13.8 ± 0.4 έτη, βάρος: 54.9 ± 1.5 κιλά). Τριάντα-ένα (αγόρια:13, κορίτσια:18) παιδιά χρησιμοποιήθηκαν ως ομάδα ελέγχου (CON) ενώ 61 (αγόρια: 30, κορίτσια:31) ως ομάδα παρέμβασης (INT). Οι συμμετέχοντες είχαν ελεύθερη πρόσβαση σε υγρά. Τα επίπεδα υδάτωσης προσδιορίστηκαν βάσει των πρωινών ούρων. Μια σειρά από δοκιμασίες χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της απόδοσης. Όλες οι δοκιμασίες απόδοσης πραγματοποιήθηκαν το πρωί ($\sim 28^\circ\text{C}$). Μετά από τις αρχικές μετρήσεις, η ομάδα παρέμβασης παρακολούθησε μία ομιλία για τη σημασία της υδάτωσης, και κλίμακες χρώματος ούρων αναρτήθηκαν σε όλες τις τουαλέτες της εγκατάστασης. Επιπρόσθετα η πρόσβαση σε νερό διευκολύνθηκε κατά τη διάρκεια της προπόνησης, στο γεύμα, αλλά και στους χώρους ανάπαυσης. **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:** Στην ομάδα παρέμβασης βελτιώθηκαν σημαντικά τα επίπεδα υδάτωσης [USG : πριν= 1.031 ± 0.09 , μετά= 1.023 ± 0.012 , $p < 0.05$; Ωσμωτικότητα ούρων (mOsm/kg water): πριν= 941 ± 30 , μετά= 782 ± 34 , $p < 0.05$], ενώ δεν προέκυψαν στατιστικές διαφορές στην ομάδα ελέγχου [USG πριν= 1.033 ± 0.011 , μετά= 1.032 ± 0.013 , $p > 0.05$; Ωσμωτικότητα ούρων (mOsm/kg water) 970 ± 38 vs. 961 ± 38 $p > 0.05$]. Η απόδοση στη δοκιμασία αντοχής βελτιώθηκε σημαντικά μόνο στην ομάδα παρέμβασης (χρόνος για τα 600μ: πριν= 189 ± 5 sec, μετά= 167 ± 4 sec, $p < 0.05$). **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Η βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης μέσω της κατανάλωσης νερού κατά βούληση, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση στην απόδοση νεαρών παιδιών που ασκούνται στη ζέστη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό είναι το πιο σημαντικό συστατικό στη ζωή. Η διατήρηση της υδατικής και ηλεκτρολυτικής ομοιόστασης είναι μείζονος σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία του οργανισμού. Η μείωση των επιπέδων υδάτωσης επιφέρει αποδεδειγμένα αρνητικά αποτελέσματα στην υγεία και στην αθλητική απόδοση. Παρόλο που υπάρχουν πολλές μελέτες οι οποίες να εξετάζουν τα επίπεδα υδάτωσης, την επικράτηση της αφυδάτωσης και την αθλητική απόδοση σε ενήλικες, λίγα επιστημονικά δεδομένα υπάρχουν για τη σχέση μεταξύ επιπέδων υδάτωσης και παιδιών. Μία από τις πιο σοβαρές επιπτώσεις της αφυδάτωσης είναι και η επιβάρυνση της καρδιαγγειακής λειτουργίας. Η δυσλειτουργία του ενδοθηλίου παράλληλα, έχει αποδειχτεί ότι επιβαρύνει σημαντικά την καρδιαγγειακή λειτουργία, και συνεπώς, είναι πιθανό να υπάρχει κάποιος μηχανισμός ο οποίος να συνδέει τα μειωμένα επίπεδα υδάτωσης, την ενδοθηλιακή και την καρδιαγγειακή λειτουργία. Τέλος, έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον εμφανίζει τα τελευταία χρόνια η μελέτη των μηχανισμών με τους οποίους η πρόσληψη υγρών επηρεάζει την αθλητική απόδοση στη ζέστη. Τα αποτελέσματα ωστόσο, είναι αντικρουόμενα. Συνοψίζοντας τα προαναφερθέντα και λαμβάνοντας υπόψη τα ερευνητικά κενά που υπάρχουν, οι στόχοι της παρούσας διατριβής είναι οι εξής: (i) Να αξιολογηθούν τα επίπεδα υδάτωσης σε νεαρούς αθλητές διαφόρων αθλημάτων, (ii) Να μελετηθεί η επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στη λειτουργία του ενδοθηλίου και κατ' επέκταση στην καρδιαγγειακή λειτουργία (iii) Να προσδιοριστεί η δράση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων στην επίδραση της πρόσληψης υγρών κατά τη διάρκεια της άσκησης και στην αθλητική απόδοση.

1^η Μελέτη

ΣΚΟΠΟΣ: Να προσδιοριστούν τα επίπεδα υδάτωσης σε νεαρούς ποδοσφαιριστές κατά τη διάρκεια παραμονής τους σε ένα αθλητικό καμπ και να εκτιμηθεί η υδατική ισορροπία σώματος μετά την προπόνηση. **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:** Το αρχικό επίπεδο υδάτωσης προσδιορίστηκε σε 107 νεαρούς ποδοσφαιριστές (ηλικία: 11-16 έτη), εκ των οποίων οι 72 συμφώνησαν να παρακολουθηθούν για άλλες 2 προπονητικές συνεδρίες ούτως ώστε να υπολογιστεί η αφυδάτωση μέσω αλλαγών στο σωματικό βάρος, ενώ η κατανάλωση νερού επιτρεπόταν κατά βούληση. Το επίπεδο υδάτωσης των συμμετεχόντων προσδιορίστηκε σε 2 ξεχωριστές ημέρες το πρωί και μετά την προπόνηση, μέσω ειδικού βάρους ούρων (USG), χρώματος ούρων και αλλαγών συνολικής σωματικής μάζας. Η μέση περιβαλλοντική θερμοκρασία και υγρασία ήταν $27.2 \pm 2^\circ\text{C}$ και $57 \pm 9\%$, αντίστοιχα. **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:** Σύμφωνα με τις τιμές του USG, 95 από τα 107 παιδιά ήταν αφυδατωμένα ($\text{USG} \geq 1.020$), πριν την έναρξη των προπονήσεων. Η

3^η Μελέτη

ΣΚΟΠΟΣ: Να μελετηθεί εάν η ήπιας μορφής αφυδάτωση επηρεάζει τη λειτουργία του ενδοθελίου. **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:** Δέκα υγιείς, φυσικά δραστήριοι άνδρες συμμετείχαν στην παρούσα μελέτη (σωματικό βάρος: 80.8 ± 4.3 κιλά, ηλικία: 24.3 ± 1.6 έτη). Η ενδοθηλιακή λειτουργία εκτιμήθηκε μέσω της αγγειοδιαστολής μέσω ροής (FMD). Στη δοκιμή με την αφυδάτωση (DEH), το FMD μετρήθηκε αρχικά, και μετά από 24 ώρες αφυδάτωσης, ενώ στη δοκιμή ελέγχου (CON), το FMD μετρήθηκε αρχικά και μετά από 24 ώρες ενυδάτωσης. Η αφυδάτωση προκλήθηκε μέσω συνδυασμού στέρησης νερού για μία ημέρα (μόνο 0.5L νερού) και δίωρης άσκησης μέτριας έντασης σε δαπεδοεργόμετρο (25 λεπτά στο 70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας και 5 λεπτά ανάπαυσης υπό 31°C) ενώ στη δοκιμή CON, οι απώλειες σε σωματική μάζα κατά τη διάρκεια του ίδιου πρωτόκολλου άσκησης, αναπληρώνονταν από την αντίστοιχη ποσότητα νερού. **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:** Το FMD μειώθηκε από $8.2 \pm 1.2\%$ σε $6.0 \pm 1.0\%$ στο τέλος του σταδίου της αφυδάτωσης ($p < 0.05$) ενώ στη δοκιμή ελέγχου, το FMD παρέμεινε πρακτικά αμετάβλητο [από $5.6 \pm 0.8\%$ σε $5.4 \pm 1.1\%$, αντίστοιχα ($p > 0.05$)]. Αφυδάτωση του $-1.9 \pm 0.1\%$ του συνολικού σωματικού βάρους ($p < 0.001$) μείωσε τον όγκο του πλάσματος κατά $3.5 \pm 1.8\%$. **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Τα στοιχεία της παρούσας έρευνας προτείνουν ότι τα μέτρια επίπεδα αφυδάτωσης, πιθανώς να επηρεάζουν αρνητικά τη λειτουργία του ενδοθελίου, πρόδρομοι δείκτη της αθηροσκλήρωσης.

4^η Μελέτη

ΣΚΟΠΟΣ: Να εξετασθεί η υπόθεση εάν η ενεργοποίηση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων, μέσω της κατανάλωσης μικρής ποσότητας νερού, μπορεί να βελτιώσει την απόδοση περισσότερο σε σχέση με τη μέθοδο του ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας, σε αφυδατωμένα άτομα. **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:** Δέκα υγιείς, ποδηλάτες (βάρος: 78.2 ± 2.2 κιλά, ηλικία: 25.9 ± 1.0 έτη, ποσοστό λιπώδους μάζας: $15.6 \pm 1.6\%$, VO_2max : $53.8 \pm 4.8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) πραγματοποίησαν 3 δοκιμασίες απόδοσης μέχρι εξάντλησης στο 75% της μέγιστης δύναμής τους, αφού πρώτα είχαν αφυδατωθεί κατά 2% του σωματικού τους βάρους. Η αφυδάτωση προκλήθηκε μέσω δίωρης άσκησης μέτριας έντασης (70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας) η οποία περιλάμβανε 30λεπτα διαστήματα μεταξύ τρεξίματος και ποδηλασίας στη ζέστη (31°C). Όλοι οι εθελοντές επανέλαβαν το πρωτόκολλο με τυχαία σειρά υπό τρεις διαφορετικές συνθήκες: α) ξέπλυμα της στοματικής κοιλότητας με 25 ml of νερού πριν και κάθε 5 λεπτά της δοκιμασίας απόδοσης (MR), β) κατανάλωση 25 ml νερού πριν και κάθε 5 λεπτά (DR), και γ) δοκιμασία ελέγχου (CON) όπου δεν κατανάλωναν καθόλου νερό με οποιοδήποτε τρόπο.

Δείγματα αίματος και ούρων συλλέχτηκαν στην έναρξη του σταδίου αφυδάτωσης, πριν την δοκιμασία απόδοσης και στο τέλος του πειραματικού πρωτόκολλου. **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:** Σημαντικά μεγαλύτερος χρόνος μέχρι εξάντλησης καταγράφηκε στην DR δοκιμή σε σχέση με τις MR και CON (21.9 ± 1.2 λεπτά vs. 18.7 ± 1.3 λεπτά και 17.7 ± 1.1 λεπτά, αντίστοιχα, $p < 0.05$). Δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στη μέση καρδιακή συχνότητα, στη μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος και στο δείκτη αντιλαμβανόμενης κόπωσης μεταξύ των τριών δοκιμών ($p > 0.05$). **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:** Ακόμη και η μικρή κατανάλωση νερού αυξάνει τη διάρκεια άσκησης σε αφυδατωμένα άτομα, πιθανώς μέσω ενεργοποίησης των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων.

ABSTRACT

Water is the most essential element for life. Fluid and electrolyte balance are critical for the function of all organs and indeed, for maintaining health in general. It is well documented that dehydration provokes unfavorable results in athletic performance and in health in general. Although there is a plethora of studies relating hydration status, prevalence of dehydration and performance in adults, there is a lack of data concerning hydration status and children. One of the main consequences of dehydration is the induced cardiovascular strain. Moreover, endothelial dysfunction is a proven negative indicator of cardiac function; thus, there might be a link between dehydration, endothelial and cardiac function. Lastly, intense scientific interest has been emerged, concerning the mechanisms which affect water consumption and in turn, athletic performance, during exercise under warm environmental conditions. However the results are controversial. The main aims of the present thesis are: (i) To estimate the hydration status of young athletes participating in different sports, (ii) To study the effect of hydration status on endothelial function and consequently cardiovascular function and (iii) To investigate the role of oral/pharyngeal receptors in fluid consumption during exercise in the heat, and if they affect athletic performance.

1st Study

There is a lack of studies concerning hydration status of young athletes exercising in the heat. **PURPOSE:** To assess pre-exercise hydration status in young soccer players during a summer sports camp and to evaluate body water balance after soccer training sessions. **METHODS:** Initial hydration status was assessed in 107 young male soccer players (age:11-16 years) during the 2nd day of the camp. Seventy two athletes agreed to be monitored during two more training sessions (3rd and 5th day of the camp) in order to calculate dehydration via changes in body weight, while water drinking was allowed ad libitum. Hydration status was assessed via urine specific gravity (USG), urine color and changes in total body weight. Mean environmental temperature and humidity were $27.2\pm 2^{\circ}\text{C}$ and $57\pm 9\%$, respectively. **RESULTS:** According to USG values, 95 out of 107 of the children were hypohydrated ($\text{USG} \geq 1.020$), prior to practice. The prevalence of dehydration observed was maintained in both days, with 95.8% and 97.2% of the children being dehydrated, after the training sessions in the 3rd and 5th day, respectively. Despite fluid availability, 54 out of the 66 (81.8 %) dehydrated children reduced their body weight (-0.35 ± 0.04 kg) as a response to training, while 74.6% (47 out of the 63) reduced further their body weight (-0.22 ± 0.03 kg) after training in the 5th day.

CONCLUSIONS: Approximately 90% of the young soccer players who began exercising under warm weather conditions were hypohydrated; while drinking ad libitum during practice, did not prevent further dehydration in already dehydrated players.

2nd Study

PURPOSE: We aimed to evaluate if an intervention program emphasizing in increased fluid intake can improve exercise performance in children exercising in the heat. **METHODS:** 92 young athletes participated in the study (age: 13.8 ± 0.4 yr, weight: 54.9 ± 1.5 kg). 31 (boys:13, girls:18) children served as the control group (CON) and 61 (boys: 30, girls:31) as the intervention (INT). Volunteers had free access to fluids. Hydration was assessed on the basis of first morning urine. A series of field tests were used to evaluate exercise performance. All tests took place outdoors in the morning (Mean ambient temperature = 28°C). After baseline testing, INT attended a lecture on hydration, and urine color charts were mounted in all bathrooms. Additionally, water accessibility was facilitated in training, dining, and resting areas. **RESULTS:** INT improved significantly hydration status [USG: pre= 1.031 ± 0.09 , post= 1.023 ± 0.012 , $p < 0.05$; Urine Osmolality (mOsm/kg water): pre= 941 ± 30 , post= 782 ± 34 , $p < 0.05$], while no statistically significant changes were found in the CON [USG pre= 1.033 ± 0.011 , post= 1.032 ± 0.013 , $p > 0.05$; Urine Osmolality (mOsm/kg water) 970 ± 38 vs. 961 ± 38 $p > 0.05$]. Performance in an endurance run was improved significantly only in INT (time for 600 m: pre= 189 ± 5 sec, post= 167 ± 4 sec, $p < 0.05$). **CONCLUSION:** Improving hydration status by ad libitum consumption of water can enhance performance in young children exercising in the heat.

3rd Study

PURPOSE: Moderate levels of dehydration provoke numerous unfavorable physiological alterations. We aimed to investigate whether mild dehydration affects endothelium function. **METHODS:** Ten healthy, physically active but not trained males participated in this crossover study (body weight 80.8 ± 4.3 kg, age 24.3 ± 1.6 y). Endothelium function was estimated by flow-mediated dilatation (FMD). In the dehydration trial (DEH), FMD was measured at baseline, and after 24h of dehydration, while in the control trial (CON), FMD was measured at baseline and after 24h of euhydration. Dehydration was induced by combined water-restriction for one day (0.5 L of water only and no other fluids) and a 2h moderate-intensity treadmill exercise (25 min

at 70% of maximum heart rate alternating with 5 min rest at 31°C) while in the control trial, body mass loss during the same exercise protocol, was replenished by an equal amount of water. **RESULTS:** FMD fell from $8.2 \pm 1.2\%$ at baseline to $6.0 \pm 1.0\%$ at the end of the dehydration phase ($p < 0.05$) while in the control trial, FMD remained practically unaffected [$5.6 \pm 0.8\%$ to $5.4 \pm 1.1\%$, respectively ($p > 0.05$)]. Dehydration equal to $-1.9 \pm 0.1\%$ of body weight ($p < 0.001$) decreased plasma volume by $3.5 \pm 1.8\%$. **CONCLUSION:** Our data suggest that mild dehydration induced by moderate exercise and fluid restriction may impair endothelium function, an early marker of subclinical atherosclerosis.

4th Study

PURPOSE: We hypothesized that pharyngeal receptor activation through ingestion of a small amount of water could enhance performance better than mouth rinse in dehydrated subjects. **METHODS:** Ten healthy, trained male cyclists (weight: 78.2 ± 2.2 kg, age: 25.9 ± 1.0 y, body fat: $15.6 \pm 1.6\%$, VO_2 max: 53.8 ± 4.8 $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) completed three time to exhaustion cycling tests at 75% of their maximum power output, after being dehydrated by 2% of their total body weight. Dehydration was induced by a 2 h moderate intensity exercise (70% of maximum heart rate) which included 30-minutes intervals alternating between jogging and cycling in the heat (31°C). All subjects repeated the protocol in random order on three separate occasions: a) mouth rinse with 25 ml of plain water before and every 5 minutes of the trial (MR), b) ingestion of 25 ml of plain water before and every 5 minutes (DR), and c) control (CON) where no fluids were provided. Blood and urine samples were collected at the beginning of the dehydration phase, before the performance test and at the end of the experimental protocol. **RESULTS:** A significantly greater time to exhaustion was recorded in the DR trial compared to MR and CON (21.9 ± 1.2 min vs. 18.7 ± 1.3 min and 17.7 ± 1.1 min, respectively $p < 0.05$). There were no differences in mean heart rate, maximum lactate concentration, or rating of perceived exertion between the three trials ($p > 0.05$). **CONCLUSION:** The results demonstrated that even small amount of water ingestion increased exercise time in dehydrated subjects possibly through activation of pharyngeal receptors.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία του νερού για τον ανθρώπινο οργανισμό

Το νερό είναι το πιο σημαντικό συστατικό για τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι το συστατικό του σώματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση και είναι άκρως απαραίτητο για την κυτταρική ομοιόσταση και τη ζωή. Διαθέτει μοναδικές, φυσικές ιδιότητες (π.χ., η υψηλή ειδική θερμότητα) για την απορρόφηση της θερμότητας του μεταβολισμού στο εσωτερικό του οργανισμού. Είναι επίσης απαραίτητο για τη διατήρηση του όγκου των αγγείων και λειτουργεί ως το μέσο για τη μεταφορά εντός του σώματος, με την παροχή θρεπτικών συστατικών και την εξάλειψη των αποβλήτων. Επιπλέον, η ενυδάτωση των κυττάρων φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό μήνυμα για τη ρύθμιση του μεταβολισμού των κυττάρων και την έκφραση των γονιδίων (1). Από μόνο του μπορεί να μην έχει θερμιδική αξία, ωστόσο τα περισσότερα συστατικά της διατροφής που είναι απαραίτητα για την ζωή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το ανθρώπινο σώμα μόνο μετά την αντίδραση τους με το νερό. Επιπρόσθετα είναι το μόνο συστατικό το οποίο καταναλώνεται σε τόσο μεγάλες ποσότητες σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο. Η αξία του φαίνεται δε, στο ότι ενώ οι άνθρωποι μπορούν να επιβιώσουν μέχρι και 60 μέρες χωρίς τροφή (2), η έλλειψη νερού μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο εντός λίγων ημερών, ιδιαίτερα κάτω από συνθήκες ζέστης.

Οι σημαντικότερες λειτουργίες του νερού

Συνοπτικά, οι σημαντικότερες λειτουργίες του νερού οι οποίες και του προσδίδουν την ονομασία «διαλύτης της ζωής» είναι:

- Αποτελεί βασικό συστατικό του κυτταροπλάσματος, το θεμελιώδες κυτταρικό στοιχείο των ζωντανών οργανισμών.
- Είναι ουσιαστικής σημασίας για τον έλεγχο της ωσμωτικής πίεσης του σώματος και της διατήρηση της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ νερού και ηλεκτρολυτών.
- Αποτελεί το βασικό συστατικό του αίματος που με τη σειρά του είναι ο σημαντικότερος μεταφορέας οξυγόνου, θρεπτικών συστατικών, ορμονών και άλλων ουσιών στα κύτταρα για τις λειτουργίες τους, καθώς και άχρηστων προϊόντων του μεταβολισμού από τα κύτταρα προς τους νεφρούς και τους πνεύμονες.

- Είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία των αισθήσεων. Για παράδειγμα τα ακουστικά κύματα μεταφέρονται μέσω υγρού και οι αισθήσεις της γεύσης και της όσφρησης βασίζονται στην διάλυση των συστατικών της τροφής από το νερό.
- Εξασκεί σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος (θερμορύθμιση), καθώς αποτελεί το βασικό συστατικό του ιδρώτα, ο οποίος μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του δέρματος βοηθά στην αποβολή της περίσσειας θερμότητας από το σώμα.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Κατανομή του νερού στο σώμα

Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι το ανθρώπινο σώμα αποτελείται κυρίως από νερό. Οι ισχνοί σωματικοί ιστοί περιέχουν νερό σε μια αναλογία που διατηρείται σταθερή, περίπου στο 73% της μάζας τους, ενώ ο λιπώδης ιστός έχει μικρή περιεκτικότητα σε νερό (3). Κατά συνέπεια, το ποσοστό του σωματικού βάρους που αναλογεί στο σωματικό λίπος καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και τη συνολική περιεκτικότητα του σώματος σε νερό: όσο μεγαλύτερα τα επίπεδα του σωματικού λίπους τόσο μικρότερο το ποσοστό του σωματικού βάρους που αντιστοιχεί στο σωματικό νερό.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η ποσότητα νερού στο σώμα διαφέρει ανάμεσα στα στάδια της ζωής. Παραδείγματος χάρη, στα νεογέννητα βρέφη το 75% του συνολικού σωματικού του βάρους είναι νερό (4), ενώ σε έναν υγιή ενήλικα το νερό αποτελεί κατά μέσο όρο το 45-70% του συνολικού του σωματικού βάρους (5).

Σωματικό Νερό ως ποσοστό του Συνολικού Βάρους σε διαφορετικές ομάδες ηλικίας και φύλου

Στάδιο Ζωής	Συνολικό σωματικό νερό ως ποσοστό Συν. Βάρους, Μέσο
0-6 μηνών	74 (64-84)
6-12 μηνών	60 (57-64)
1-12 ετών	60 (49-75)
Αγόρια, 12-18 ετών	59 (52-66)
Κορίτσια, 12-18 ετών	56 (49-63)
Άντρες, 19-50 ετών	59 (43-73)
Γυναίκες, 19-50 ετών	50 (41-60)
Άντρες, 51+ έτη	56 (47-67)
Γυναίκες, 51+ έτη	47 (39-57)

Το σωματικό νερό κατανέμεται εντός και μεταξύ των κυττάρων, καθώς και στο πλάσμα. Σε κατάσταση ηρεμίας, περίπου το 30 με 35% της συνολικής σωματικής μάζας είναι ενδοκυττάριο υγρό, το 20 με 25% είναι υγρό του διάμεσου χώρου και το υπόλοιπο 5% είναι πλάσμα (6, 7). Για παράδειγμα, ένας μέσος άνθρωπος 70 κιλών έχει περίπου 42 λίτρα συνολικό σωματικό νερό, 28 από αυτά στον ενδοκυττάριο χώρο και 14 στον εξωκυττάριο, από τα οποία τα 3 λίτρα ανήκουν στο πλάσμα και τα υπόλοιπα 11 στους διάμεσους χώρους.

Το ισοζύγιο των υγρών του σώματος

Το νερό αποθηκεύεται στα διάφορα διαμερίσματα του οργανισμού αλλά και μετακινείται συνεχώς μεταξύ αυτών. Υπάρχει μέσα στο σώμα σε συνδυασμό με πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και ηλεκτρολύτες.

Η ισορροπία νερού και ηλεκτρολυτών μεταξύ των διαμερισμάτων του οργανισμού είναι ζωτικής σημασίας και διατηρείται σε φυσιολογικά επίπεδα (ομοιόσταση) μέσω της εύρυθμης λειτουργίας των νεφρών, ενώ εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ απώλειας και πρόσληψης υγρών. Συνοπτικά, η απώλεια υγρών προκύπτει από την αναπνοή, το δέρμα, τα νεφρά και το γαστρεντερικό σύστημα, ενώ η αύξηση των υγρών του σώματος επιτυγχάνεται με την πρόσληψη υγρών και τροφής και την μεταβολική παραγωγή νερού από τις διάφορες μεταβολικές διεργασίες του οργανισμού (8). Ωστόσο υπάρχουν πολύ συχνές περιπτώσεις κατά τις οποίες η υδατική ισορροπία (η διαφορά μεταξύ της πρόσληψης υγρών και των απωλειών) διαταράσσεται.

Αναλυτικότερα, η απώλεια υγρών πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους. Συγκεκριμένα σε μία φυσιολογική ημέρα με μέτρια επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, η απώλεια ύδατος **μέσω της αναπνοής** δε ξεπερνάει τα 200 ml ημερησίως (9). Η σχετικά μικρή ποσότητα του νερού που αποβάλλεται μέσω της αναπνοής μπορεί να εκτιμηθεί μέσω εξίσωσης η οποία περιλαμβάνει τον αναπνευστικό όγκο και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, παράγοντες όπως είναι η άσκηση, ο υπεραερισμός, το πόσο διατάσιμοι είναι οι πνεύμονες, αλλά και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, προκαλούν μεγαλύτερες αναπνευστικές απώλειες υγρών (10). Η **άδηλος αναπνοή του δέρματος** είναι σχεδόν καθαρό νερό και υπό φυσιολογικές συνθήκες αντιστοιχεί σε 500 ml αποβαλλόμενου νερού ημερησίως. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες απώλειες μπορούν να αυξηθούν δραματικά σε περιπτώσεις εμφάνισης πυρετού, εγκαυμάτων, υψηλής ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και φυσικά έντονης φυσικής δραστηριότητας (11). Χαρακτηριστικά αναφέρονται απώλειες οι οποίες φτάνουν τα 1500 με 2000 ml ιδρώτα σε προπονημένους αθλητές όταν ασκούνται υπό ζέστη (12) ενώ έχουν παρατηρηθεί και ακραίες περιπτώσεις ατόμων με ρυθμό εφίδρωσης πάνω από 3700 ml την ώρα (13). Επίσης μια μικρή ποσότητα νερού (100 ml) «χάνεται» εντός του **γαστρεντερικού σωλήνα**, η οποία ποσότητα όμως σε περιπτώσεις διάρροιας, εμετού και άλλων γαστρεντερικών παθήσεων, μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρής μορφής αφυδάτωσης. Παρά τα προαναφερθέντα, υπό φυσιολογικές συνθήκες, τα νεφρά είναι οι κύριοι ρυθμιστές της υδατικής ισορροπίας. Παρά το μικρό τους βάρος (>0,5% του συνολικού σωματικού βάρους) κατορθώνουν και φιλτράρουν περί τα 150 λίτρα υγρών ημερησίως. Ωστόσο, **τα ούρα** τα οποία εκκρίνουν, αποβάλλουν υπό φυσιολογικές συνθήκες λιγότερο από το 1% των συνολικών υγρών που φιλτράρονται στα νεφρά. Το δε στρες από την άσκηση και τη θερμότητα, έχει αποδειχτεί ότι μπορεί και να μειώσει την παραγωγή ούρων από 20 έως και 60% (14, 15).

Φυσιολογία: Νεφρική ρύθμιση υδατικής ισορροπίας

Φυσιολογικά οι νεφροί συμβάλλουν αποτελεσματικά στην ομοιόσταση του νερού, αποβάλλοντας την περίσσεια υγρού σε περίπτωση υπερυδάτωσης και κατακρατώντας νερό σε περίπτωση υπουδάτωσης, μέσω ενός μηχανισμού ανάδρασης, όπου ο κύριος «ελεγκτής» είναι μια υποφυσιακή ορμόνη, η αντί-διουρητική ορμόνη (Antidiuretic Hormone, ADH). Η αντιδιουρητική ορμόνη συντίθεται στον υποθάλαμο και εν συνεχεία, μέσω των νευραξόνων των νευρικών κυττάρων του υπεροπτικού και παρακοιλιακού πυρήνα του υποθαλάμου, φθάνει στον οπίσθιο λοβό της υπόφυσης, από όπου αποδεσμεύεται στην κυκλοφορία και μέσω αυτής μεταφέρεται στους νεφρούς, ούτως ώστε αυτοί με τη σειρά τους να αντιδράσουν ανάλογα με την κατάσταση υδάτωσης.

Πιο συγκεκριμένα, είναι γνωστό ότι οι σημαντικότερες συνέπειες της αυξημένης απώλειας υγρών εξαιτίας έντονης εφίδρωσης ή της ελαττωμένης πρόσληψης νερού, είναι η μείωση του όγκου του πλάσματος και η παράλληλη αύξηση της ωσμωτικότητας, που ορίζεται ως η ποσότητα των διαλυμένων ουσιών σε ένα διάλυμα.

Στην περίπτωση της μείωσης του όγκου του πλάσματος ενεργοποιείται μια σειρά πολύπλοκων αντιδράσεων στον οργανισμό οι οποίες καταλήγουν στην αποδιέγερση των πιεσουποδοχέων του καρδιαγγειακού συστήματος, με συνέπεια λιγότερες ώσεις να μεταφέρονται από τους πιεσουποδοχείς στον υποθάλαμο και έτσι να επακολουθεί αύξηση στην έκκριση της αντιδιουρητικής. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις της ορμόνης εμφανίζεται και μια δεύτερη δράση της, η αγγειοσυσταλτική. Με την αγγειοσύσπαση, η οποία επιτυγχάνεται με τη δράση της στους λείους μυς των αγγείων, επιδιώκεται η διατήρηση, κατά το δυνατόν, μιας σταθερής τιμής αρτηριακής πίεσης για να μην διαταραχθεί η αιμάτωση των ζωτικών οργάνων. Αντίθετα, αύξηση της καρδιαγγειακής πίεσης διεγείρει τους πιεσο-υποδοχείς οι οποίοι με τη σειρά τους εκφορτίζουν περισσότερες ώσεις προς τον υποθάλαμο και τελικώς μειώνουν την έκκριση της αντιδιουρητικής.

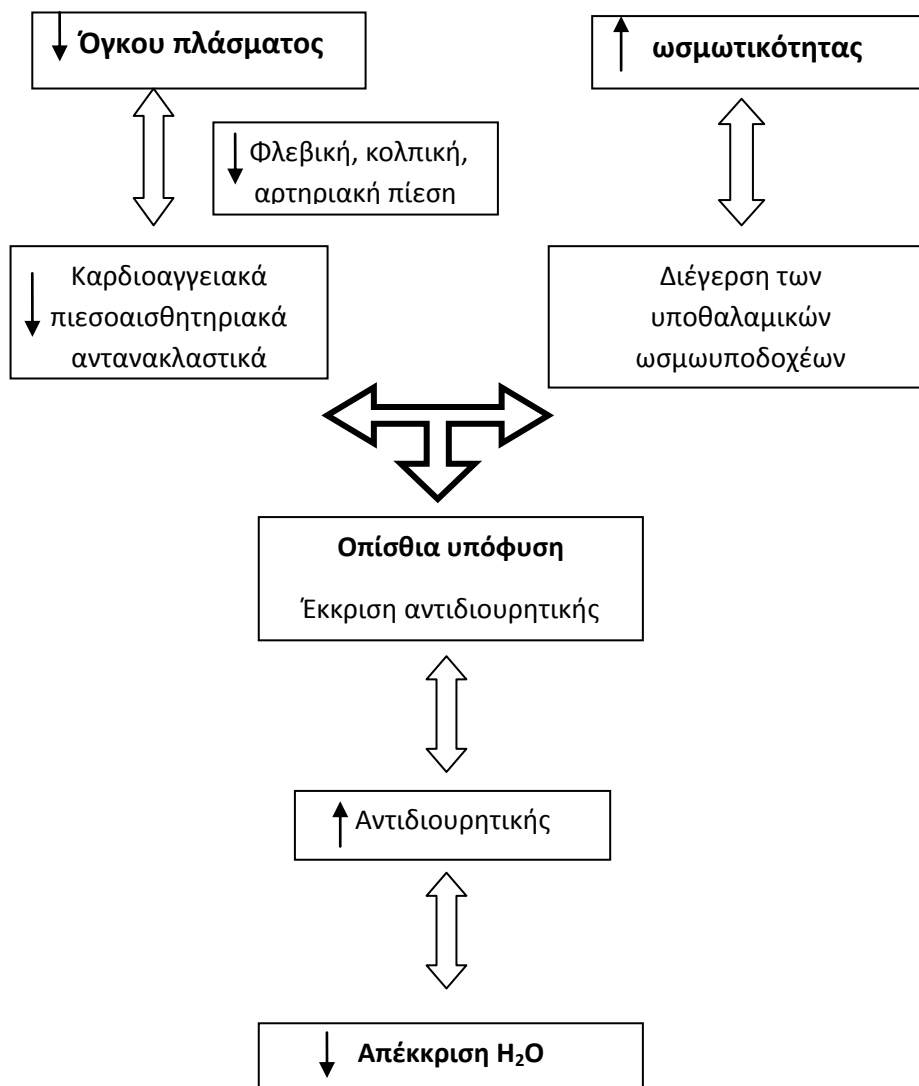
Κλασική είναι πλέον η έρευνα από τους Sagawa et al, η οποία και μελέτησε μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα πτυχή της δράσης των πιεσο-υποδοχέων σε ήδη αφυδατωμένα άτομα. Στη συγκεκριμένα μελέτη λοιπόν οι ερευνητές εξέτασαν σε οκτώ άνδρες (19-25 ετών) την αντίδρασή τους στα αισθήματα δίψας (πχ. ξηρότητα στοματικής κοιλότητας, πληρότητα στομάχου κλπ) και στην ακόλουθη κατανάλωση υγρών κάτω από 4 διαφορετικές συνθήκες. Οι εθελοντές είτε παρέμεναν ενυδατωμένοι ή αφυδατωμένοι σε δωμάτιο με θερμοκρασία 28 °C, είτε βρίσκονταν ενυδατωμένοι ή αφυδατωμένοι σε μία δεξαμενή με νερό (34.5 °C) μέχρι το λαιμό για 3 ώρες. Το

κύριο εύρημα ήταν ότι παρατηρήθηκε μια σημαντική μείωση στη μέση πρόσληψη υγρών στην περίπτωση της αφυδάτωσης και της βύθισης στο νερό σε σύγκριση με την απλή αφυδάτωση (216 ± 30 ml/7 λεπτά, 108 ± 28 ml/7 λεπτά αντίστοιχα). Η προτεινόμενη εξήγηση ήταν ότι η αύξηση της θωρακικής πίεσης, αύξησε την κεντρική φλεβική πίεση, γεγονός που με τη σειρά του, «ενεργοποίησε» τους πιεσο-υποδοχείς οι οποίοι και οδήγησαν σε μειωμένη έκκριση της αντιδιουρητικής στα αφυδατωμένα άτομα υπό βύθιση (16). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος μηχανισμός «ενεργοποιείται» αρκετά δύσκολα, εν αντιθέσει με το μηχανισμό ο οποίος και αναλύεται στη συνέχεια και ο οποίος είναι ο κυρίαρχος στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Αντίστοιχα λοιπόν, όταν η ωσμωτικότητα των σωματικών υγρών αυξάνεται (η συγκέντρωση του ύδατος μειώνεται), η έκκριση της αντιδιουρητικής αυξάνεται αντανakλαστικά, μέσω διέγερσης των ωσμουποδοχέων (εξειδικευμένα νευρικά κύτταρα του υποθαλάμου που έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν αλλαγές της ωσμωτικής πίεσης). Σε μια τέτοια κατάσταση τα συγκεκριμένα νευρικά κύτταρα αντιδρούν με δύο τρόπους. Πρώτον, επάγουν το αίσθημα της δίψας, που εξαναγκάζει τον οργανισμό σε πόση ύδατος και δεύτερον, επάγουν την έκκριση της αντιδιουρητικής ορμόνης. Στόχος δράσης της ορμόνης αυτής όπως αναφέρθηκε, είναι οι νεφροί. Συγκεκριμένα, η αντιδιουρητική δρα σε έναν υποδοχέα της επιφάνειας των αθροιστικών σωληναρίων του νεφρού. Εκεί βοηθά στην επαναρρόφηση του ύδατος από το πρόουρο. Με τον τρόπο αυτό παράγονται λίγα και συμπυκνωμένα ούρα, με αποτέλεσμα ο οργανισμός να εξοικονομεί νερό. Ανάλογα με την έκταση της αφυδάτωσης, η επαναρρόφηση ύδατος από τους αθροιστικούς πόρους μεγαλώνει και τελικά απεκκρίνεται ένας πολύ μικρός όγκος συμπυκνωμένων ούρων (17). Κατακρατώντας σχετικά περισσότερο νερό από ότι διαλυμένες ουσίες, οι νεφροί συνεπικουρούν έτσι ώστε η ωσμωτικότητα των σωματικών υγρών να επανατείνει προς φυσιολογικές τιμές.

Σε περίπτωση υπερυδάτωσης, που θα προκαλέσει υποτονικότητα και μείωση της ωσμωτικής πίεσης, μια αντίστροφη διαδικασία θα λάβει χώρα με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της απέκκρισης νερού.

Συνοπτικά, η διαδικασία ρύθμισης του υδατικού ισοζυγίου στον οργανισμό παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 που ακολουθεί.

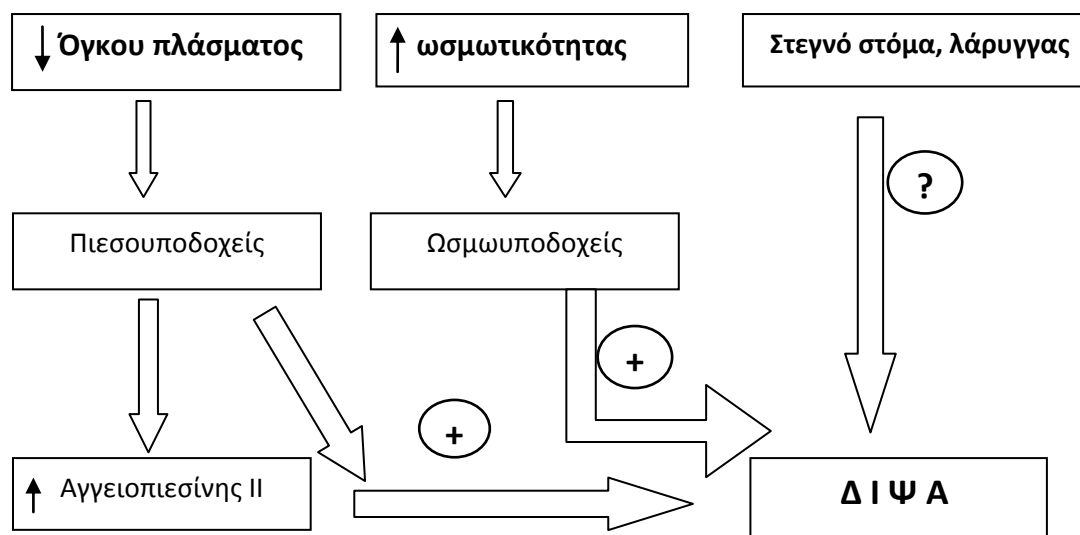


Σχήμα 1. Η διαδικασία ρύθμισης του υδατικού ισοζυγίου στον ανθρώπινο οργανισμό

Ο μηχανισμός της δίψας και ο ρόλος των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων

Ένας μηχανισμός στον οποίο πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά και ο οποίος δρα καταλυτικά στη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας, είναι ο μηχανισμός της δίψας. Όταν η ωσμωτικότητα του πλάσματος αυξάνεται ή ο όγκος του πλάσματος μειώνεται, η υποκειμενική αίσθηση της δίψας η οποία δημιουργεί την επιθυμία απόκτησης και κατανάλωσης ύδατος, διεγείρεται (18). Από τους δύο προαναφερθέντες δείκτες η αύξηση της ωσμωτικότητας είναι ο κύριος ρυθμιστής, μιας και μία μικρή αύξηση της τάξεως του 2-3% διεγείρει ισχυρά το αίσθημα της δίψας (19), σε αντίθεση με τη μείωση του όγκου πλάσματος όπου απαιτείται μία μεταβολή μεγαλύτερη του 10% για να οδηγήσει σε διέγερση της δίψας (16).

Ωστόσο έχουν αναφερθεί και άλλοι μηχανισμοί ελέγχου της δίψας (Σχήμα 2). Παραδείγματος χάρη, η ξηρότητα του στόματος και του λάρυγγα προκαλεί έντονη δίψα η οποία ανακουφίζεται μέσω απλής ύγρανσής τους.



Σχήμα 2. Μηχανισμοί ελέγχου του αισθήματος της δίψας

Σε μια αξιοσημείωτη έρευνα (20) εξετάστηκε η επίδραση της στοματοφαρυγγικής διέγερσης στην αίσθηση της δίψας, την έκκριση αντιδιουρητικής και την πρόσληψη υγρών σε έξι αφυδατωμένα άτομα. Η αφυδάτωση προκλήθηκε με δίωρη άσκηση μέτριας έντασης σε θερμό περιβάλλον (38°C, σχετική υγρασία <30%). Στους εθελοντές εφαρμόστηκε το ίδιο πρωτόκολλο αφυδάτωσης και ακολούθησαν 75 λεπτά επανυδάτωσης στους 27°C. Κατά τη διάρκεια της επανυδάτωσης εφαρμόστηκαν 3 διαφορετικά πρωτόκολλα, το πρωτόκολλο ελέγχου (control), το πρωτόκολλο έγχυσης νερού (infusion) και το πρωτόκολλο εξαγωγής νερού (extraction).

Κατά το πρωτόκολλο ελέγχου οι εθελοντές έπιναν όσο νερό ήθελαν. Κατά το πρωτόκολλο έγχυσης και για τα πρώτα 25 λεπτά γινόταν έγχυση νερού στο στομάχι μέσω ρινογαστρικού σωλήνα και μετά ενώ συνεχιζόταν η έγχυση επιτρεπόταν και η κατάποση νερού. Κατά το πρωτόκολλο εξαγωγής οι εθελοντές κατανάλωναν όσο νερό ήθελαν δια στόματος αλλά παράλληλα γινόταν ταυτόχρονη εξαγωγή του στομαχικού περιεχομένου συνεχόμενα με ρινογαστρικό σωλήνα.

Η μείωση της αλδοστερόνης και η δίψα εμφανίστηκαν τα πρώτα πέντε λεπτά της επανυδάτωσης στις δύο περιπτώσεις όπου οι εθελοντές κατάπιναν νερό. Δηλαδή στο πρωτόκολλο ελέγχου και στο πρωτόκολλο εξαγωγής, αλλά όχι στην περίπτωση που μεταφερόταν το νερό με ρινογαστρικό στο στομάχι, γεγονός που συμβάλλει στη στήριξη της υπόθεσης ότι στοματοφαρυγγικά ανακλαστικά διαμορφώνουν ωσμωτικά τη διέγερση της δίψας και τα επίπεδα αντιδιουρητικής στο πλάσμα. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η μείωση της αντιδιουρητικής κατά τα πρώτα 5 λεπτά επανυδάτωσης με το πρωτόκολλο εξαγωγής ήταν μικρότερη από αυτή που παρατηρήθηκε κατά το πρωτόκολλο ελέγχου, υποστηρίζοντας ότι η στοματοφαρυγγική διέγερση δεν είναι ο μόνος παράγοντας που συμβάλλει στην ταχεία μείωση της αντιδιουρητικής. Κατά το πρωτόκολλο εξαγωγής επίσης, οι εθελοντές κατανάλωσαν 15% περισσότερο νερό από το πρωτόκολλο ελέγχου, γεγονός που υποδεικνύει ξεκάθαρα το ρόλο της στοματοφαρυγγικής διέγερσης στον περιορισμό της συνολικής πρόσληψης υγρών παρουσία ενός διψογόνου παράγοντα. Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι κατά το πρωτόκολλο έγχυσης και μετά το πέρας των 25 λεπτών κατά τα οποία γινόταν έγχυση νερού στο στομάχι, οι εθελοντές κατανάλωσαν $18,5 \pm 2,1\%$ του ελλείμματος υγρών, κάτι που σύμφωνα με τους ερευνητές αποδίδεται στα συνεχόμενα ερεθίσματα δίψας που προκλήθηκαν από την ξηρότητα της στοματοφαρυγγική κοιλότητας. Η συνεχιζόμενη δίψα μετά τα πρώτα 25 λεπτά επανυδάτωσης σε συνδυασμό με τη μεγάλη πρόσληψη υγρών, παρόλο που ο όγκος πλάσματος είχε επανέλθει, ενισχύουν το συμπέρασμα των ερευνητών ότι οι πληροφορίες από αισθητήρες της στοματοφαρυγγικής κοιλότητας παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία αισθήματος δίψας κατά την αφυδάτωση. Τέλος, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η διαδικασία της κατάποσης παρέχει ένα ανασχετικό σήμα για την κατανάλωση νερού σε ήδη αφυδατωμένα άτομα.

Ο ρόλος των στοματικών υποδοχέων στην αθλητική απόδοση

Με αφορμή λοιπόν τη συγκεκριμένη πρωτοποριακή έρευνα, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον για το ρόλο που πιθανώς να παίζει η ξηρότητα της στοματικής κοιλότητας και του οισοφάγου ως ρυθμιστές του μηχανισμού της δίψας. Με δεδομένη την αρνητική επίδραση της αφυδάτωσης στην αθλητική απόδοση, η οποία θα αναλυθεί διεξοδικά σε ακόλουθο κεφάλαιο, η αναζήτηση των μηχανισμών δράσης της πρόσληψης υγρών στην αθλητική απόδοση αποκτά μεγάλη σημασία. Επιπρόσθετα, με δεδομένο ότι οι γαστρεντερικές διαταραχές κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης είναι ένα από τα συχνότερα προβλήματα που οι αθλητές καλούνται να αντιμετωπίσουν (21, 22) και ότι η μη ορθολογιστική κατανάλωση υγρών και υδατανθράκων κατά την άσκηση οδηγεί σε πρόωρη διακοπή της λόγω γαστρεντερικής δυσφορίας (23, 24) φαντάζει ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα η ιδέα

της διαδικασίας της «πλύσης» του στόματος, γνωστή ως Mouth-Rinse, ως πιθανή μέθοδος για την πρόσληψη υγρών και ταυτόχρονα βελτίωσης της απόδοσης, ενώ παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αποφυγή τυχόν γαστρεντερικών προβλημάτων.

Κατά την πρώτη έρευνα η οποία ασχολήθηκε με την «πλύση» του στόματος ως μέθοδος βελτίωσης της απόδοσης (25), ο Carter και οι συνεργάτες του εξέτασαν εννέα ποδηλάτες για μία ώρα, με στόχο την ολοκλήρωση συγκεκριμένης παραγωγής έργου σε όσο το δυνατόν πιο σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ποδηλάτες στη μια περίπτωση «έπλεναν» για πέντε δευτερόλεπτα το στόμα τους χωρίς να καταπίνουν κάθε 7,5 λεπτά, με υδατανθρακούχο διάλυμα περιεκτικότητας 6,4% σε μαλτοδεξτρίνη (άγευστη και άχρωμη), ενώ στη δεύτερη δοκιμασία ακολουθούσαν την ίδια διαδικασία, γεμίζοντας τη στοματική τους κοιλότητα με σκέτο νερό για το ίδιο χρονικό διάστημα. Και στα δύο πρωτόκολλα δεν επιτρεπόταν η κατάποση των προσλαμβανόμενων υγρών. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο ολοκλήρωσης του συγκεκριμένου έργου στα άτομα τα οποία ξέπλεναν το στόμα τους με το υδατανθρακούχο διάλυμα. Σύμφωνα με τους ερευνητές η παρατηρούμενη βελτίωση του χρόνου ολοκλήρωσης του συγκεκριμένου έργου, είναι πιθανό να οφείλεται στην ύπαρξη ειδικών υποδοχέων στη στοματική κοιλότητα, οι οποίοι αφού ανιχνεύσουν την ύπαρξη υδατανθράκων, προκαλούν κάποιο ερέθισμα στο κεντρικό νευρικό σύστημα το οποίο σχετίζεται με ενίσχυση του κινήτρου για παρατεταμένη απόδοση.

Το εύρημα της προαναφερθείσας μελέτης αποτέλεσε την αρχή για να επακολουθήσουν και άλλες έρευνες οι οποίες εξέτασαν το ρόλο των στοματικών υποδοχέων στην αθλητική απόδοση.

Οι Whitham και McKinney, θέλησαν να εξετάσουν την επίδραση της «πλύσης» του στόματος με υδατανθρακούχο ποτό στην απόδοση, αυτή τη φορά σε άλλης μορφής άσκηση (26). Σε δυο ξεχωριστές περιπτώσεις λοιπόν, επτά αθλητές ολοκλήρωσαν μια δοκιμασία συνολικής διάρκειας μίας ώρας (15 λεπτά προθέρμανση στο 65% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και 45 λεπτά σε υψηλή ένταση που ρύθμιζε ο αθλητής). Κάθε έξι λεπτά της δοκιμασίας οι αθλητές έπλεναν το στόμα τους με υδατανθρακούχο διάλυμα περιεκτικότητας 6% μαλτοδεξτρίνης (άχρωμη και άγευστη) και 3% χυμού λεμονιού στη μια περίπτωση, ή ίδιας ποσότητας ποτού περιεκτικότητας 3% χυμού λεμονιού μόνο στην άλλη περίπτωση. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στην απόσταση που καλύφθηκε στις δυο διαφορετικές δοκιμασίες. Επιπλέον, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις μεταβολές της καρδιακής συχνότητας, της ταχύτητας, της πρόσληψης οξυγόνου, του αναπνευστικού πηλίκου και του βαθμού κόπωσης. Το γαλακτικό οξύ και η γλυκόζη που μετρήθηκαν πριν την έναρξη της δοκιμασίας και μετά το πέρας αυτής, αυξήθηκαν λόγω της άσκησης, αλλά δεν είχαν στατιστικά

σημαντικές διαφορές μεταξύ των δοκιμασιών. Συμπερασματικά λοιπόν, δε φάνηκε κάποια επίδραση του mouth rinse με υδατανθρακούχο διάλυμα στην αθλητική απόδοση στη δοκιμασία του τρεξίματος. Σύμφωνα με τους ερευνητές, η όποια βελτίωση της αθλητικής απόδοσης με την πλύση του στόματος με υδατανθρακούχο διάλυμα αναμένεται να είναι μικρή και για αυτό χρειάζεται μια δοκιμασία αρκετά ευαίσθητη σε μικρές μεταβολές της απόδοσης. Επιπρόσθετα οι ερευνητές αναφέρουν, ότι ίσως το συγκεκριμένο πρωτόκολλο να μην ήταν και αρκετά ευαίσθητο ώστε να εντοπίσει αυτές τις μεταβολές, καθώς η ταχύτητα ρυθμιζόταν εξωγενώς από τους αθλητές, οι οποίοι έπρεπε να κάνουν συνειδητά την αλλαγή της στο διάδρομο.

Ωστόσο μια έρευνα με παρόμοιο πρωτόκολλο που ακολούθησε, έδειξε διαφορετικά αποτελέσματα (27). Στη συγκεκριμένη μελέτη δέκα δρομείς πραγματοποίησαν μια δοκιμασία 30 λεπτών σε διάδρομο αφού όμως είχε προηγηθεί μία δεκάλεπτη προθέρμανση. Η «ιδιαιτερότητα» του συγκεκριμένου διαδρόμου ήταν ότι ο εθελοντής μπορούσε αυτόματα να προσαρμόσει την ταχύτητα του τρεξίματός του χωρίς να χρειάζεται να κάνει αλλαγές ο ίδιος χειροκίνητα, όταν αισθανόταν ότι κουράζεται ή ότι μπορεί να τρέξει και πιο γρήγορα. Κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης και της δοκιμασίας, οι εθελοντές ανά τακτά χρονικά διαστήματα (στη δοκιμασία κάθε 5 λεπτά) «ξέπλεναν» τη στοματική τους κοιλότητα με 25ml είτε υδατανθρακούχου ποτού (6% περιεκτικότητας) είτε ενός ποτού placebo ίδιας γεύσης και χρώματος, αλλά χωρίς υδατάνθρακες. Δε βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά στην καρδιακή συχνότητα, στο αίσθημα γαστρεντερικής δυσφορίας και κόπωσης, καθώς και στο ρυθμό οξείδωσης των υδατανθράκων. Ωστόσο παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στη δοκιμασία με το υδατανθρακούχο ποτό στην ταχύτητας τρεξίματος κατά τα πρώτα πέντε λεπτά της δοκιμασίας. Το γεγονός αυτό οδήγησε με τη σειρά του και στην κάλυψη μεγαλύτερης συνολικής απόστασης σε σύγκριση με τη δοκιμασία placebo. Σύμφωνα με τους μελετητές που πραγματοποίησαν αυτή την έρευνα είναι πιθανό η αναγνώριση των υδατανθράκων από τους στοματικούς υποδοχείς να μεταδίδει ένα μήνυμα στον εγκέφαλο ότι υπάρχει μια νέα πηγή ενέργειας διαθέσιμη για τον οργανισμό. Αυτή η πληροφορία φαίνεται να προκαλεί μια διαφορετική αντίδραση του οργανισμού ως προς την άσκηση, για παράδειγμα υψηλότερη αρχική ταχύτητα κατά το τρέξιμο, όπως στην παρούσα έρευνα.

Μόλις το 2008 οι Pottier et al. εξέτασαν την επίδραση που έχει η «πλύση» της στοματικής κοιλότητας ή η κατάποση αντίστοιχης ποσότητας αθλητικού ποτού στην απόδοση (28). Στο συγκεκριμένο πειραματικό πρωτόκολλο δώδεκα εθελοντές έπρεπε να ολοκληρώσουν την παραγωγή καθορισμένου έργου, σε όσο το δυνατόν πιο σύντομο χρονικό διάστημα. Οι εθελοντές ολοκλήρωσαν μια δοκιμασία συνολικής διάρκειας μιας ώρας στο εργόμετρο υπό τέσσερις διαφορετικές συνθήκες: 1^η: πλύση του στόματος με ποτό χωρίς υδατάνθρακες που

όμως περιείχε το γλυκαντικό ασπαρτάμη (placebo), 2^η: πλύση του στόματος με γνωστό υδατανθρακούχο ποτό της αγοράς που περιείχε μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες, 3^η: κατάποση του ποτού με την ασπαρτάμη (placebo) και 4^η: κατάποση του γνωστού υδατανθρακούχου αθλητικού ποτού. Πριν και μετά την προθέρμανση, καθώς και για κάθε 7,5 λεπτά της δοκιμασίας οι αθλητές λάμβαναν 14 ml/κιλό σωματικού βάρους του αντίστοιχου ποτού. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά στους χρόνους ολοκλήρωσης της δοκιμασίας μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών συνθηκών. Παρόλα αυτά το αξιοσημείωτο είναι ότι βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο ολοκλήρωσης της δοκιμασίας στην περίπτωση κατά την οποία οι εθελοντές ξέπλεναν το στόμα τους με το αθλητικό ποτό σε σύγκριση με το placebo (ο χρόνος μειώθηκε κατά 2.37 λεπτά), κάτι το οποίο δεν παρουσιάστηκε και στη δοκιμή με την κατάποση του αθλητικού ποτού σε σύγκριση με το placebo. Σύμφωνα με τους ερευνητές, είναι πιθανόν τα νευρικά σήματα κόπωσης από τους μυς προς τον εγκέφαλο να καταστέλλονται ασυναίσθητα από τα νευρικά σήματα των υποδοχέων υδατανθράκων της στοματικής κοιλότητας με τελικό αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης. Φαίνεται λοιπόν ότι η αίσθηση της παρουσίας υδατανθράκων στη στοματική κοιλότητα, δίνει το «έναυσμα» για μια επίδραση στο κεντρικό νευρικό σύστημα η οποία επιτρέπει στους ασκούμενους να δουλεύουν σκληρότερα ακόμα και κάτω από τον ίδιο βαθμό κόπωσης.

Στις μελέτες που αναφέρθηκαν, οι εθελοντές πραγματοποιούσαν τις δοκιμασίες είτε παραμένοντας σε κατάσταση νηστείας για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των τεσσάρων ωρών (25, 26) είτε παραμένοντας νηστικοί από το προηγούμενο βράδυ (27, 28).

Σε μια πρόσφατη μελέτη εξετάστηκε η επίδραση της διαδικασίας της πλύσης της στοματικής κοιλότητας, σε 14 προπονημένους αθλητές οι οποίοι έπρεπε να καλύψουν σε μία ώρα, όσο πιο μεγάλη απόσταση μπορούσαν και ενώ είχαν καταναλώσει το πρωί πριν από τη δοκιμασία ένα συγκεκριμένο πρωινό (29). Οι αθλητές ξέπλεναν το στόμα τους με διάλυμα μαλτοδεξτρίνης ή νερού, για πέντε δευτερόλεπτα κάθε 7.5 λεπτά. Παρότι το συγκεκριμένο πρωτόκολλο προσομοίαζε περισσότερο σε πραγματικές συνθήκες αγώνων, όπου οι αγωνιζόμενοι καταναλώνουν συγκεκριμένο πρωινό και μετά ακολουθεί ο αγώνας, τα αποτελέσματα δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά σε κανέναν από τους εξεταζόμενους δείκτες, καρδιακή συχνότητα, παραγόμενο έργο και χρόνο ολοκλήρωσης της δοκιμασίας.

Το 2010 ο Rollo και οι συνεργάτες του εξέτασαν την επίδραση του ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας με αθλητικό ποτό στην απόδοση κατά τη 1 ώρα τρεξίματος, καθώς και στο εάν επηρεάζονται τα επίπεδα γλυκόζης και ινσουλίνης στο αίμα σε ηρεμία. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το ξεπλύμα της στοματικής κοιλότητας με 6.4% υδατανθρακούχου ποτού με

ηλεκτρολύτες, αύξησε τη συνολική απόσταση που καλύφτηκε σε 1 ώρα, ενώ δεν προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, τόσο κατά την άσκηση όσο και κατά την ηρεμία (30). Από την ίδια ομάδα συνεργατών εξετάστηκε η επίδραση της κατανάλωσης υδατανθρακούχου διαλύματος σε σύγκριση με το ξέπλυμα της στοματικής κοιλότητας κατά τη δοκιμασία 1 ώρας τρεξίματος. Δέκα αθλητές αντοχής κατανάλωσαν τυχαία, είτε ένα διάλυμα 6.4% υδατάνθρακα, είτε placebo, είτε ξέπλεναν τη στοματική τους κοιλότητα με το αντίστοιχο υδατανθρακούχο διάλυμα πριν και κατά τη διάρκεια της ωριαίας δοκιμασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατανάλωση-κατάποση του υδατανθρακούχου διαλύματος βελτίωσε σημαντικά την απόδοση σε σχέση με τις άλλες δύο δοκιμές (31).

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα στις μελέτες κατά τις οποίες τα αποτελέσματα έδειξαν βελτίωση του χρόνου ολοκλήρωσης του τεστ με τη χρησιμοποίηση της τεχνικής του mouth-rinse, οι ερευνητές θεωρούν ότι κάποια σήματα προερχόμενα από υποδοχείς υδατανθράκων στη στοματική κοιλότητα, ενεργοποιούν συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου οι οποίες με τη σειρά τους «καταστέλλουν» το αίσθημα της κόπωσης και παράλληλα ενισχύουν τα κίνητρα για βελτίωση της απόδοσης.

Ωστόσο κάτι τέτοιο μέχρι πρόσφατα δεν είχε αποδειχτεί. Μόλις πρόσφατα ο Chambers και οι συνεργάτες του μελέτησαν μέσω μαγνητικής τομογραφίας στον εγκέφαλο, την επίδραση που έχει σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου η αίσθηση ύπαρξης υδατανθράκων σε ένα διάλυμα (32). Το πειραματικό πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε ήταν ίδιο με αυτό των Carter et al. (25) και στις δοκιμασίες έγινε σύγκριση με τη δοκιμή placebo, μεταξύ διαλύματος με γλυκόζη και διαλύματος με μαλτοδεξτρίνη (άγευστος πολυσακχαρίτης). Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικά μειωμένο χρόνο ολοκλήρωσης του τεστ, στην περίπτωση που καταναλώθηκε το διάλυμα με τη γλυκόζη σε σχέση με το placebo, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και στη δοκιμή με τη μαλτοδεξτρίνη σε σύγκριση με το placebo. Το ουσιαστικό όμως εύρημα της συγκεκριμένης μελέτης, ήταν ότι και στις δύο δοκιμές, όπου έγινε χρήση της μεθόδου του mouth-rinse είτε με γλυκόζη, είτε με μαλτοδεξτρίνη, ενεργοποιήθηκαν συγκεκριμένα τμήματα του εγκεφάλου τα οποία εντοπίζονται στα κέντρα της αμοιβής και του κιναισθητικού ελέγχου. Το γεγονός δε ότι ενεργοποιήθηκαν τα ίδια κέντρα του εγκεφάλου με τη χρήση γλυκόζης αλλά και με άγευστο πολυσακχαρίτη, πιθανώς να αποδεικνύει και την ύπαρξη διαφορετικής ομάδας υποδοχέων, οι οποίοι αναγνωρίζουν την παρουσία των υδατανθράκων εντός της στοματικής κοιλότητας, ανεξαρτήτως της αίσθησης της γλυκύτητας.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι η διαδικασία ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας με ένα αθλητικό ποτό, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια στην αθλητική και

επιστημονική κοινότητα. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη διαδικασία δεν παρουσιάζει θετικές επιδράσεις σε άλλου είδους άσκηση, πέραν τωνασκήσεων που διαρκούν πάνω από 30 λεπτά.

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Painelli και τους συνεργάτες του, δεν βρέθηκε καμία σημαντική επίδραση της διαδικασίας του ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας στη μέγιστη μυϊκή δύναμη και στη μυϊκή αντοχή 12 νεαρών αθλητών δύναμης (33), όπως επίσης και στη μέγιστη απόδοση ταχύτητας (σπριντ) σε μέγιστες προσπάθειες των 30 δευτερολέπτων από 14 **σπρίντερ** ποδηλάτες (34).

Μέθοδοι προσδιορισμού των επιπέδων υδάτωσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το νερό είναι απαραίτητο για την πραγματοποίηση των βιοχημικών αντιδράσεων στον οργανισμό, ενώ ο ανθρώπινος οργανισμός δε μπορεί να επιβιώσει χωρίς την κατανάλωση νερού παρά μόνο για λίγες ημέρες. Επιπλέον, το γεγονός ότι το νερό αποτελεί κατά μέσο όρο το 63% της συνολικής σωματικής μάζας (35) και το 75% της άλιπης μάζας (3), σε συνδυασμό και με τις κάτωθι παρατηρήσεις, υποδεικνύουν τη σημασία εύρεσης και χρησιμοποίησης ακριβών και αξιόπιστων μεθόδων εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης:

1. Το ανθρώπινο σώμα έχει συνεχώς απώλειες νερού από τους πνεύμονες, το δέρμα και τα νεφρά.
2. Ακόμα και στην περίπτωση φυσιολογικών επιπέδων υδάτωσης, τα υγρά μετακινούνται εντός και εκτός κυττάρων (36, 37).
3. Η άσκηση ή η έντονη εργασία υπό θερμές κλιματολογικές συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της εφίδρωσης, σε σημείο που οι ημερήσιες απαιτήσεις σε νερό αυξάνονται σε σημαντικό βαθμό σε σχέση με τις απαιτήσεις υπό ένα φυσιολογικό περιβάλλον.
4. Υπάρχουν αθλήματα (πχ. πάλη) στα οποία οι αθλητές σκοπίμως οδηγούνται σε μείωση του σωματικού τους βάρους, μέσω αφυδάτωσης, σε βαθμό που μπορεί να προκαλέσει σημαντικές διαταραχές στη διατήρηση της υγείας (38).
5. Υπάρχουν διάφορες ασθένειες οι οποίες διαταράσσουν την υδατική ισορροπία του σώματος άμεσα αλλά και μακροπρόθεσμα.

6. Η ανεπαρκής ή και η υπερβολική κατανάλωση νερού επηρεάζει σημαντικά ένα (39, 40) πλήθος κυτταρικών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένων του μεταβολισμού, της μεταφοράς και της απελευθέρωσης ορμονών καθώς και άλλων (41).
7. Επίσης έχουν παρατηρηθεί σε αθλήματα υπέρ-αντοχής, άτομα τα οποία να καταναλώνουν τόσο μεγάλη ποσότητα υγρών, με τελικό αποτέλεσμα την πρόκληση κλινικής υπονατριαιμίας (42).
8. Το συνολικό σωματικό νερό μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ζωής, από την παιδική ηλικία (43) στην εφηβεία (40), στην ενηλικίωση (39) και στα γηρατειά (43).
9. Η αυξημένη διαιτητική πρόσληψη νατρίου και πρωτεϊνών οδηγεί σε παράλληλη αύξηση των απαιτήσεων σε νερό με στόχο τη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας (44).
10. Μέτριας μορφής αφυδάτωση της τάξεως του 1-2% του σωματικού βάρους, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της αθλητικής απόδοσης, της πνευματικής λειτουργίας και της εγρήγορσης (45, 46).

Από τα παραπάνω σημεία γίνεται φανερό ότι η εκτίμηση των επιπέδων υδάτωσης του οργανισμού είναι μια διαδικασία σημαντική τόσο για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού όσο και για τη βελτιστοποίηση της αθλητικής απόδοσης. Παρόλα αυτά η χρησιμοποίηση συγκεκριμένων πρακτικών μεθόδων εκτίμησης οι οποίες να δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα δεν είναι και τόσο απλή διαδικασία.

Αλλαγές στο σωματικό βάρος

Η μέτρηση της μεταβολής του σωματικού βάρους συνιστά μια συχνά χρησιμοποιούμενη και ασφαλή τεχνική εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης, ειδικά κατά τη διάρκεια αφυδάτωσης η οποία παρατηρείται σε μια περίοδο 1 με 4 ώρες, με ή χωρίς άσκηση (8). Όταν το συγκεκριμένο άτομο βρίσκεται σε ενεργειακή ισορροπία, η απώλεια σωματικού του βάρους ισούται με την απώλεια νερού, μιας και κανένα άλλο συστατικό του σώματος δεν χάνεται με αντίστοιχο ρυθμό (47). Συνεπώς γίνεται αποδεκτή η υπόθεση ότι 1 ml νερού έχει μάζα ίση με 1 g και κατ' επέκταση ότι οι μεταβολές στη σωματική μάζα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτικοποίηση των απωλειών ή της πρόσληψης υγρών. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι στην περίπτωση κατά την οποία οι μετρήσεις μεταβολών της σωματικής μάζας πραγματοποιούνται σε χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα των 4 ωρών, θα πρέπει να συνυπολογίζονται και οι αναπνευστικές απώλειες νερού καθώς και μέσω του μεταβολισμού (48).

Στις περιπτώσεις κατά τις οποίες χρησιμοποιείται η μεταβολή της σωματικής μάζας ως μέθοδος εκτίμησης των μεταβολών των σωματικών υγρών θα πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Είναι απαραίτητη η γνώση του αρχικού σωματικού βάρους, προ της αφυδάτωσης, κάτι το οποίο συχνά δεν είναι διαθέσιμο ειδικά σε περιπτώσεις εκτίμησης των μεταβολών σε αθλητές (8).
- Από τη μία μέρα στην άλλη, το σωματικό βάρος μεταβάλλεται κατά 0.51 ± 0.20 kg. Αυτό σημαίνει ότι μόνο οι επί συνεχόμενες ημέρες μετρήσεις μπορούν να αποτελέσουν μια έγκυρη εκτίμηση της ημερήσιας μεταβολής της σωματικής μάζας σε άνδρες που αναπληρώνουν το 100% των απωλειών τους σε ιδρώτα κατά την άσκηση (49).
- Στην περίπτωση κατά την οποία η μέτρηση της μεταβολής της σωματικής μάζας πραγματοποιείται σε εβδομαδιαίες ή μηνιαίες περιόδους, η μέτρηση δεν μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη, μιας και η απώλεια ή η αύξηση λιπώδους μάζας (και συνεπώς και συνολικής σωματικής ποσότητας υγρών) δε μπορεί να υπολογιστεί, παρά μόνο με την παράλληλη χρήση τεχνικών μέσων όπως με την απορροφησιμετρία ακτινών X διπλής ενέργειας.
- Σε περιπτώσεις παρατεταμένης άσκησης και υψηλής έντασης κατά τις οποίες οι απώλειες υγρών ξεπερνούν το 3 με 4%, η μεταβολή του σωματικού βάρους δε μπορεί να θεωρηθεί ακριβής δείκτης των επιπέδων υδάτωσης. Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες όπως είναι: (i) η απώλεια μάζας των χρησιμοποιούμενων ενεργειακών υποστρωμάτων κατά τη διάρκεια έντονης και παρατεταμένης άσκησης, (ii) οι οσμωτικές «αναδιανομές» που προκαλούνται στο σώμα λόγω παραγωγής γαλακτικού και πυροσταφυλικού οξέος κατά την έντονη αναερόβια γλυκόλυση, (iii) η μεγάλη ποσότητα νερού που αποθηκεύεται στις αποθήκες του μυϊκού γλυκογόνου στον οργανισμό, (iv) το νερό που παράγεται ως προϊόν της οξείδωσης των ενεργειακών υποστρωμάτων και άλλοι, οι οποίοι δε είναι εύκολο να συνυπολογιστούν με ακρίβεια, αλλά ούτε και να ληφθούν υπόψη με το συγκεκριμένο τρόπο και συνεπώς μπορούν να οδηγήσουν σε παρερμηνευση των αποτελεσμάτων (50).

Παρόλα αυτά η μεταβολή του σωματικού βάρους, παρέχει τον πιο απλό, εύχρηστο και αξιόπιστο δείκτη των επιπέδων υδάτωσης υπό πραγματικές συνθήκες, ειδικότερα δε όταν συνεχείς μετρήσεις πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (51). Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η ιδανικότερη για μια αρκετά ρεαλιστική εκτίμηση της υπό-υδάτωσης για έναν αθλητή ή κάποιον ο οποίος θέλει να εκτιμήσει την κατάσταση υδάτωσής του εκτός εργαστηρίου (50).

Αιματολογικοί δείκτες

Η συλλογή δείγματος αίματος για περαιτέρω ανάλυση έχει μελετηθεί και ταυτόχρονα χρησιμοποιηθεί ευρέως, ως δείκτης προσδιορισμού των επιπέδων υδάτωσης.

Πιο συγκεκριμένα, οι **μεταβολές στη συγκέντρωση της αιμοσφαιρίνης και του αιματοκρίτη** μπορεί να έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον ως δείκτες των επιπέδων υδάτωσης, ωστόσο στην πραγματικότητα οι αλλαγές τους αντιστοιχούν σε αλλαγές του όγκου του πλάσματος και όχι της συνολικής ποσότητας υγρών στο σώμα (8). Στην περίπτωση κατά την οποία οι αρχικές τιμές τους είναι γνωστές, η μεταβολή του όγκου πλάσματος μπορεί να υπολογιστεί μέσω της εξίσωσης των Dill και Costill (52). Η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερος αξιόπιστη εάν οι αρχικές μετρήσεις είναι έγκυρες και αξιόπιστες, παρότι απαιτούν ειδικευμένο προσωπικό και ακριβό εξοπλισμό, αν και υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τις συγκεκριμένες τιμές και γι' αυτό απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Παραδείγματος χάρη, η χρήση ενός αιμοστατικού επιδέσμου για τη λήψη αίματος έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί αλλαγές στον αιματοκρίτη και την αιμοσφαιρίνη (53), όπως και η όρθια στάση για 20 λεπτά η οποία μπορεί να προξενήσει μεταβολές στις τιμές του αιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης και εν συνεχεία στον όγκο του πλάσματος (54).

Τα **επίπεδα ωσμωτικότητας του πλάσματος καθώς και η συγκέντρωση νατρίου** είναι δύο παράγοντες οι οποίοι επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί με στόχο τον προσδιορισμό των επιπέδων υδάτωσης, ειδικά γιατί η μέτρησή τους είναι εύκολη και η ανάλυσή τους μπορεί να γίνει άμεσα.

Είναι δεδομένο ότι η αύξηση των τιμών των προαναφερθέντων παραγόντων παρατηρείται όταν η προκαλούμενη απώλεια υγρών λόγω αφυδάτωσης είναι υποτονική σε σχέση με το πλάσμα. Ωστόσο υπάρχουν μελέτες οι οποίες κατέληξαν σε αντικρουόμενα αποτελέσματα. Παραδείγματος χάρη, ο Francesconi και οι συνεργάτες του παρατήρησαν ότι σε άτομα τα οποία μελετήθηκαν μετά από αφυδάτωση της τάξεως του 3% της σωματικής του μάζας κυρίως μέσω εφίδρωσης, δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές μεταβολές στις τιμές του αιματοκρίτη τους, αλλά και στην ωσμωτικότητα του ορού, παρότι εντοπίστηκαν αλλαγές σε ουρολογικούς δείκτες (55). Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και στην έρευνα από τον Armstrong και τους συνεργάτες του (56). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα ίσως να υποδεικνύουν ότι ο όγκος του πλάσματος κατά κάποιο τρόπο «αμύνεται» με σκοπό τη διατήρηση της καρδιαγγειακής σταθερότητας, με τελικό αποτέλεσμα συγκεκριμένες παράμετροι του πλάσματος να μην επηρεάζονται παρά μόνο αφότου ένα συγκεκριμένο επίπεδο αφυδάτωσης έχει επιτευχθεί. Μία άλλη έρευνα ωστόσο έδειξε ότι ακόμα και μια αρνητική μεταβολή της τάξεως του 1% του σωματικού βάρους, οδήγησε σε αξιοσημείωτη αύξηση της τιμής της ωσμωτικότητας στο πλάσμα (57).

Υπάρχουν επίσης και άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν ποικιλοτρόπως τις μεταβολές του όγκου του αίματος. Το στρες λόγω θερμότητας έχει αποδειχτεί λοιπόν, ότι προκαλεί αρνητικές μεταβολές στον όγκο του αίματος φαινόμενο το οποίο παρατηρείται και κατά την άσκηση (37, 58). Όταν παραδείγματος χάρη η άσκηση πραγματοποιείται σε ύπτια ή καθιστή θέση, προκαλείται ταχεία αιμοσυμπύκνωση, η οποία στην περίπτωση κατά την οποία η περιβαλλοντολογική θερμοκρασία είναι υψηλή, επιδεινώνεται. Στην περίπτωση άσκησης σε όρθια θέση οι αλλαγές στον όγκο αίματος ποικίλλουν και η επιδράσεις του θερμικού στρες εξαρτώνται από την ύπαρξη ή όχι αφυδάτωσης. Η αφυδάτωση επίσης είναι κατανοητό ότι οξύνει την αρνητική μεταβολή του όγκου του αίματος. Η φυσική κατάσταση του ασκουμένου επίσης επηρεάζει σημαντικά τις μεταβολές στον όγκο του αίματος, ενώ και ο θερμοεγκλιματισμός είναι ένας ακόμα παράγοντας ο οποίος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε περιπτώσεις υπολογισμού του όγκου του αίματος.

Λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά στα αποτελέσματα η οποία αναφέρθηκε στις παραπάνω μελέτες, φαίνεται ότι οι παραπάνω δείκτες εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης δεν μπορούν να θεωρηθούν απόλυτα αξιόπιστοι.

Οι μετρήσεις των ορμονών που ρυθμίζουν την ισορροπία ύδατος, όπως η αντί-διουρητική ορμόνη, η ρενίνη και η αλδοστερόνη προσφέρουν επίσης σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο υδάτωσης (59). Για παράδειγμα, η αντί-διουρητική ορμόνη αυξάνεται γραμμικά με την αφυδάτωση και με αυξήσεις της ωσμωτικότητας του πλάσματος. Το ανυψωμένο επίπεδό της έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί ισχυρή αντί-διουρητική επίδραση στα νεφρά, γεγονός που με τη σειρά του οδηγεί σε μια γρήγορη και σημαντική μείωση στην παραγωγή ούρων, με παράλληλη αύξηση της ωσμωτικότητας και του ειδικού βάρους των ούρων (60, 61).

Τέλος, οι **συγκεντρώσεις της τεστοστερόνης του πλάσματος, της αδρεναλίνης και της κορτιζόνης** έχουν αναφερθεί ότι παραμένουν ανεπηρέαστες από τη μείωση του σωματικού βάρους, μέσω άσκησης στη ζέστη, ακόμα και της τάξεως του 5,1%, εν αντιθέσει με τη **συγκέντρωση νορ-αδρεναλίνης** η οποία φαίνεται υπό παρόμοιες συνθήκες να μειώνεται σημαντικά και συνεπώς να μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πιθανός δείκτης εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης (62).

Δείκτες στα ούρα

Η μέτρηση της **ωσμωτικότητας των ούρων** έχει τελευταία μελετηθεί εκτεταμένα ως μία παράμετρος η οποία μπορεί να δώσει ικανοποιητική εκτίμηση των επιπέδων υδάτωσης. Η μέτρησή της απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό και μηχανήματα και είναι χρονοβόρα. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι ιδιότητες των ούρων μεταβάλλονται μέσω πολύπλοκων

και αλληλοεξαρτώμενων φυσιολογικών μηχανισμών διαρκώς και ότι τα σωματικά υγρά βρίσκονται σε συνεχή μετακίνηση μεταξύ των σωματικών διαμερισμάτων, φαίνεται πως δεν υπάρχει καμία απολύτως ικανή μέτρηση ακριβούς καθορισμού των επιπέδων υδάτωσης (51). Παραδείγματος χάρη, φαίνεται ότι η ωσμωτικότητα ούρων δεν αντικατοπτρίζει ακριβώς τα επίπεδα υδάτωσης όταν χρησιμοποιείται αμέσως μετά το τέλος της άσκησης (63). Σε μελέτες «στέρησης» νερού δε, η ωσμωτικότητα ούρων είχε αυξηθεί σε τιμές μεγαλύτερες των 900 mOsm/kg στα πρώτα πρωινά ούρα της επομένης ημέρας, μετά από αφυδάτωση της τάξεως του 1.9% του συνολικού σωματικού βάρους (64). Ενώ τα πράγματα φαίνονται να περιπλέκονται ακόμη περισσότερο από μια μεγάλη επιδημιολογική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε Πολωνία και Γερμανία και η οποία έδειξε μέσες τιμές 24ώρου, τα 392 mOsm/kg και 800 mOsm/kg, αντίστοιχα (44).

Το 1994 ο Armstrong και οι συνεργάτες του έλαβαν δείγμα από 54 άνδρες και γυναίκες και μελέτησαν τους ουρολογικούς δείκτες τους για να προσδιορίσουν τα επίπεδα υδάτωσής τους. Οι ερευνητές κατέληξαν μεταξύ άλλων, ότι η ωσμωτικότητα ούρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό όμως και με έναν άλλον ουρολογικό δείκτη, το ειδικό βάρος των ούρων, με μεγάλη ακρίβεια για τον προσδιορισμό των επιπέδων υδάτωσης (65).

Η παρούσα έρευνα αποτέλεσε τη βάση για τη χρησιμοποίηση του **ειδικού βάρους των ούρων (USG)**, ως μεθόδου προσδιορισμού των επιπέδων υδάτωσης του οργανισμού. Το ειδικό βάρος των ούρων αναφέρεται στην πυκνότητα (μάζα ανά όγκο) ενός δείγματος σε σχέση με το καθαρό νερό. Οποιοδήποτε υγρό που είναι πυκνότερο από το νερό έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από 1.000. Οι τιμές σε φυσιολογικά δείγματα ούρων κυμαίνονται συνήθως από 1.013 έως 1.029 σε υγιείς ενήλικες (56, 65). Κατά τη διάρκεια της αφυδάτωσης ή της υπουδάτωσης, το ειδικό βάρος ούρων συχνά υπερβαίνει την τιμή του 1.030. Ενώ, τέλος, όταν υπάρχει πλεόνασμα νερού στον οργανισμό, εμφανίζονται τιμές από 1.001 έως 1.012 (56, 65). Σύμφωνα με την επίσημη θέση του Αμερικάνικου Κολλεγίου Αθλητιατρικής, τιμές μικρότερες του 1.020 αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά επίπεδα υδάτωσης, σε αντίθεση με τιμές ίσες και άνω του 1.020 οι οποίες υποδεικνύουν έντονη αφυδάτωση (12). Η μέθοδος προσδιορισμού των επιπέδων υδάτωσης μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου, έχει αποδειχτεί να είναι αξιόπιστη, με βαθμό συσχέτισης μεταξύ ωσμωτικότητας και ειδικού βάρους ούρων $r^2=0.96$ (56), ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι είναι μια απλή σε διαδικασία μέθοδος, η οποία δεν απαιτεί ακριβό εξοπλισμό, αλλά ούτε και ειδικευμένο προσωπικό.

Χρήζει ωστόσο ιδιαίτερης αναφοράς το γεγονός ότι πρόσφατη έρευνα απέδειξε ότι το ειδικό βάρος ούρων, επηρεάζεται από τα προϊόντα του μεταβολισμού των πρωτεϊνών που εκκρίνονται

στα ούρα (πχ ουρία, ουρικό οξύ) γεγονός που σχετίζεται με τη μυϊκή μάζα των αθλητών. Σε μία σύγκριση των επιπέδων υδάτωσης που έγινε μεταξύ αθλητών ράγκμπι και δρομέων (42 ± 6 kg και 32 ± 3 kg μυϊκής μάζας αντίστοιχα), οι τιμές του ειδικού βάρους των ούρων στους αθλητές του ράγκμπι επηρεάστηκαν σημαντικά από τη συγκέντρωση των προϊόντων του μεταβολισμού των πρωτεϊνών στα ούρα. Λαμβάνοντας υπόψη και την ισχυρή θετική συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ των πρωτεϊνικών παραγώγων και της ποσότητας της μυϊκής μάζας, στους συγκεκριμένους αθλητές βρέθηκαν τιμές στο ειδικό βάρος ούρων που τους κατέτασσαν ως αφυδατωμένους, εν αντιθέσει με τις τιμές στην ωσμωτικότητα ορού οι οποίες ήταν σύμφωνες με φυσιολογική υδάτωση. Λόγω αυτού του γεγονότος λοιπόν, είναι πιθανό οι υψηλές τιμές στο ειδικό βάρος των πρώτων πρωινών ούρων αθλητών με μεγάλη μυϊκή μάζα, να μην είναι απόλυτα ενδεικτικές για αφυδάτωση (66), διαπίστωση η οποία αμφισβητεί και την απόλυτη αξιοπιστία του συγκεκριμένου δείκτη στα ούρα.

Επίσης ο **συνολικός όγκος ούρων 24ώρου** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των επιπέδων υδάτωσης σε σύγκριση με φυσιολογικά άτομα αντίστοιχης σωματικής μάζας. Μία υγιής γυναίκα παράγει 1.13 ± 0.42 L ούρων ημερησίως, ενώ αντίστοιχα ένας υγιής άνδρας 1.36 ± 0.44 L ούρων ημερησίως. Αξίζει να αναφερθεί ωστόσο, ότι οι συγκεκριμένες τιμές διαφέρουν ανάλογα με το στάδιο της ζωής, αφού για τα παιδιά ηλικίας 10 με 14, η παραγωγή ούρων ημερησίως ανέρχεται στα 0.44 ± 0.31 λίτρα ημερησίως και 0.61 ± 0.30 για κορίτσια και αγόρια αντίστοιχα, ενώ για ηλικιωμένα άτομα άνω των 80 ετών η ημερήσια παραγωγή ούρων δεν ξεπερνάει κατά μέσο όρο τα 0.85 ± 0.40 λίτρα ημερησίως. Συνεπώς αυτές οι μεταβολές θα πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιείται ο συγκεκριμένος δείκτης.

Το **χρώμα των ούρων** χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης του επιπέδου υδάτωσης του οργανισμού κατά τη διάρκεια αθλητικών γεγονότων ή προπονήσεων, όταν άλλες μετρήσεις όπως το ειδικό βάρος και οι αντίστοιχες αιματολογικές δεν είναι εφικτές. Το χρώμα των ούρων καθορίζεται από το ποσό των διαλυτών ουσιών σε αυτά. Με απλά λόγια όταν εκκρίνονται μεγάλοι όγκοι ούρων, τα ούρα είναι αραιά και οι διαλυτές ουσίες εκκρίνονται σε ένα μεγάλο όγκο. Αυτό δίνει στα ούρα γενικά ένα πολύ ανοιχτό χρώμα. Αντίθετα, όταν εκκρίνονται μικροί όγκοι ούρων, τα ούρα συμπυκνώνονται και οι διαλυτές ουσίες εκκρίνονται σε μικρό όγκο. Αυτό δίνει τελικώς στα ούρα ένα σκούρο χρώμα.

Το 1994 ο Armstrong και οι συνεργάτες του εισήγαγαν μια χρωματική κλίμακα οκτώ επιπέδων με στόχο να διερευνηθεί κατά πόσο το επίπεδο υδάτωσης μπορεί ικανοποιητικά να αξιολογηθεί με βάση το χρώμα των ούρων. Δείγματα ούρων συλλέχτηκαν από 54 άνδρες και γυναίκες που ήταν καλά ενυδατωμένοι, ήπια ενυδατωμένοι ή πολύ αφυδατωμένοι μέσω άσκησης, και το

χρώμα των ούρων, η ωσμοτικότητα και το ειδικό βάρος (USG) μετρήθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το χρώμα των ούρων μπορεί να θεωρηθεί ως ένας ικανοποιητικός δείκτης προσδιορισμού των επιπέδων υδάτωσης, ο οποίος κάλλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αθλητικές περιστάσεις, αλλά όχι σε συνθήκες εργαστηριακές όπου η ακρίβεια είναι απαραίτητη (65).

Σε μελέτη η οποία ακολούθησε από την ίδια ομάδα ερευνητών, μελετήθηκε η εγκυρότητα των ουρολογικών δεικτών, συμπεριλαμβανομένων του χρώματος, του ειδικού βάρους και της ωσμοτικότητας, σε καταστάσεις αφυδάτωσης, άσκησης και επανυδάτωσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και οι τρεις δείκτες είναι αξιόπιστοι για τον προσδιορισμό των επιπέδων υδάτωσης. Ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το χρώμα των ούρων βρέθηκε εξίσου αποτελεσματικό, ως δείκτης, με το ειδικό βάρος, την ωσμοτικότητα ούρων και πλάσματος, του όγκου ούρων και τις συγκεντρώσεις νατρίου και συνολικών πρωτεϊνών στο πλάσμα (56).

Μία ακόμη έρευνα η οποία ενίσχυσε την αξία του χρώματος ούρων ως έγκυρου δείκτη εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης, πραγματοποιήθηκε από την Ormerod και τους συνεργάτες της, οι οποίοι μελέτησαν πέντε γυναίκες που πραγματοποιούσαν 90 λεπτά προπόνησης ημερησίως επί έξι εβδομάδες κάτω από ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι μετρήσεις του ειδικού βάρους των ούρων και του χρώματος ούρων, μία φορά την εβδομάδα, έδειξαν ότι αντικατοπτρίζουν ισχυρά τις μεταβολές των επιπέδων υδάτωσης και ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό για τον ακριβή προσδιορισμό των μεταβολών των επιπέδων υγρών του σώματος (67).

Υπάρχουν παρόλα αυτά και μελέτες οι οποίες έχουν αντίθετα αποτελέσματα σχετικά με τη συσχέτιση του χρώματος των ούρων και των επιπέδων υδάτωσης.

Το 1999 ο Fletcher και οι συνεργάτες του συσχέτισαν το χρώμα ούρων με διάφορους δείκτες εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης, σε 40 βαριά ασθενή άτομα. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας έδειξαν ότι το χρώμα ούρων δε μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστος δείκτης, ειδικά για άτομα που νοσηλεύονται σε σοβαρή κατάσταση και βρίσκονται υπό σοβαρού βαθμού αφυδάτωση (68). Επίσης η Kovacs και οι συνεργάτες της, εξέτασαν εάν το χρώμα ούρων μπορεί να θεωρηθεί ως αξιόπιστος δείκτης της κατάστασης υδάτωσης κατά τη διάρκεια εξάωρης αποκατάστασης, μετά από αφυδάτωση, προκαλούμενη λόγω άσκησης, της τάξεως του 3%. Τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας έδειξαν μη σημαντική συσχέτιση μεταξύ χρώματος ούρων και υδατικής ισορροπίας (63). Τέλος είναι λογικό ότι το χρώμα των ούρων επηρεάζεται και από πλήθος διατροφικών παραγόντων (69). Για παράδειγμα αυξημένη κατανάλωση τροφών με καροτένιο ή με υψηλή συγκέντρωση σε βιταμίνες του συμπλέγματος Β, θα δώσει στα ούρα έντονο κίτρινο χρώμα, όπως και τροφές τεχνικώς χρωματισμένες ή διάφορα φαρμακευτικά

χάπια θα συμπυκνώσουν τα ούρα και θα τα κάνουν να φαίνονται σκουρότερα. Ενώ σίγουρα δε θα πρέπει να αμεληθεί και ο υποκειμενικός παράγοντας εκτίμησης του χρώματος των ούρων.

Ανάλυση Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης

Η ανάλυση με τη μέθοδο της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) είναι μια μέθοδος η οποία έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τα τελευταία χρόνια για τον προσδιορισμό της σύστασης σώματος. Ωστόσο έχει επίσης τη δυνατότητα να προσδιορίσει και τα επίπεδα των υγρών του σώματος. Σύμφωνα με το Εθνικό Ινστιτούτο Υγείας η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης «παρέχει μια αξιόπιστη εκτίμηση του συνολικού σωματικού νερού στις περισσότερες των περιπτώσεων, ωστόσο οι τιμές της συγκεκριμένης μέτρησης μπορούν να μεταβληθούν από ένα πλήθος παραγόντων» (70). Παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία του δέρματος (36), η κατανάλωση υγρών ή φαγητού και η όρθια θέση του σώματος πριν τη μέτρηση (71), φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα (8). Ενώ και οι Berneis and Keller υποστηρίζουν αφού προκάλεσαν μεταβολή του εξωκυττάριου όγκου μέσω έκχυσης ή κατανάλωσης υγρών, ότι η BIA μπορεί να μην είναι αξιόπιστη (72).

Η σίελος ως δείκτης επιπέδων υδάτωσης

Τα τελευταία χρόνια ορισμένες **παράμετροι στη σίελο** έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα ως πιθανοί δείκτες της κατάστασης υδάτωσης. Το 2004 ο Walsh και οι συνεργάτες του συνέκριναν τις μεταβολές στο ρυθμό ροής σάλιου, στην ωσμωτικότητά του και στη συνολική συγκέντρωσή του σε πρωτεΐνες, σε αντιδιαστολή με τις αντίστοιχες μεταβολές της ωσμωτικότητας των ούρων και του πλάσματος, σε 15 άτομα που πραγματοποιούσαν άσκηση υπό 30 βαθμούς Κελσίου έως ότου να επιτευχθεί συνολική απώλεια του σωματικού τους βάρους: 1.1, 2.1 και 3%. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση της ροής και παράλληλη αύξηση της ωσμωτικότητας και της συνολικής συγκέντρωσης πρωτεϊνών στο σάλιο, ενώ ταυτόχρονα απέδειξαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ωσμωτικότητας στο σάλιο και στα ούρα και της συνολικής συγκέντρωσης πρωτεϊνών στο σάλιο και στο αίμα. Συνεπώς, η ωσμωτικότητα του σάλιου και η συνολική συγκέντρωση πρωτεϊνών σε αυτό φαίνεται να είναι εξίσου ευαίσθητοι δείκτες με μια πολυχρησιμοποιημένη και έγκυρη μέθοδο, την ωσμωτικότητα των ούρων για την ανίχνευση των επιπέδων υδάτωσης (73).

Σε έρευνα που πραγματοποίησε η ίδια ομάδα ερευνητών, με την ίδια μεθοδολογία και τις ίδιες εξεταζόμενες παραμέτρους, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι παρατηρούμενες αλλαγές στη

συνολική συγκέντρωση των πρωτεϊνών στο σάλιο και στην ωσμωτικότητα του και σε μικρότερο βαθμό στη μείωση του ρυθμού ροής του, σχετίζονται ισχυρά με τις αντίστοιχες μεταβολές της σωματικής μάζας κατά τη διάρκεια προοδευτικά έντονης αφυδάτωσης και συνεπώς οι συγκεκριμένοι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό της υδατικής ισορροπίας του σώματος (74).

Διάφοροι δείκτες εκτίμησης επιπέδων υδάτωσης

Υπάρχουν και άλλοι δείκτες οι οποίοι ωστόσο δεν έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο εκτεταμένα για τον προσδιορισμό των επιπέδων υδάτωσης του οργανισμού.

Είναι γνωστό ότι η αφυδάτωση αυτή καθ' αυτή αυξάνει την **καρδιακή συχνότητα** τόσο κατά την ηρεμία, όσο και κατά την υπομέγιστη άσκηση (75). Επίσης αναφέρονται αλλαγές τόσο στο ρυθμό του παλμού όσο και στη συστολική πίεση αίματος (76). Συνεπώς, παρότι οι συγκεκριμένοι δείκτες δε μπορούν να «ανιχνεύσουν» μεταβολές των υγρών του σώματος, μπορούν να αποδειχτούν επιπρόσθετες και χρήσιμες πληροφορίες για τον προσδιορισμό των επιπέδων υδάτωσης.

Το **αίσθημα της δίψας** επίσης, στο οποίο έχει γίνει ιδιαίτερη αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις όπου η χρήση κάποιου οργάνου ή η παρουσία κάποιου ειδικού δεν είναι διαθέσιμη ως το σημείο-κατώφλι έναρξης της υπό-υδάτωσης, το οποίο επηρεάζει την υγεία και την απόδοση. Αξίζει να σημειωθεί όμως, ότι το αίσθημα της δίψας «ενεργοποιείται» όταν ο οργανισμός είναι ήδη αφυδατωμένος κατά 1 με 2% του συνολικού σωματικού του βάρους (77). Γεγονός που καθιστά τη χρησιμοποίησή του ως δείκτη των επιπέδων υδάτωσης, μη αποδεκτό τόσο σε αθλητικές συνθήκες όσο και σε εργαστηριακές, παρά μόνο ως τρόπου υπενθύμισης έναρξης κατανάλωσης υγρών (48).

Τέλος, σύμφωνα με πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα, η **ωσμωτικότητα των δακρύων**, προτείνεται ως ένας ακόμη δείκτης εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης. Στα αποτελέσματα έρευνας η οποία δημοσιεύτηκε το 2011, φάνηκε ότι η ωσμωτικότητα των δακρύων αυξανόταν ανάλογα με την αύξηση των επιπέδων αφυδάτωσης και ότι συσχετιζόταν ισχυρά με τις μεταβολές κλασικών δεικτών εκτίμησης των επιπέδων υδάτωσης, όπως είναι η ωσμωτικότητα του πλάσματος και το ειδικό βάρος των ούρων (78). Ωστόσο, απαιτούνται και άλλες πρόσθετες μελέτες οι οποίες να επιβεβαιώνουν την χρησιμότητα του συγκεκριμένου δείκτη για την εκτίμηση των επιπέδων υδάτωσης.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι προτεινόμενες τιμές αναφοράς από διάφορους οργανισμούς (12, 79) μέσω των οποίων κατηγοριοποιούνται τα άτομα ανάλογα με τα επίπεδα υδάτωσής τους τίθενται υπό αμφισβήτηση σύμφωνα με τα ευρήματα μιας πρόσφατης έρευνας. Ο Armstrong και οι συνεργάτες του εξέτασαν τα επίπεδα υδάτωσης 59 υγιών ανδρών, επί 12 ημέρες, οι οποίοι δεν ασκούσαν και ακολουθούσαν μια φυσιολογική ζωή, χρησιμοποιώντας ορισμένους από τους κλασικούς δείκτες υδάτωσης (80). Οι προτεινόμενες τιμές αναφοράς που προέκυψαν διέφεραν σημαντικά σε σχέση με τις κλασικές προτεινόμενες (πχ. ειδικό βάρος ούρων 1.025 Vs 1.020) γεγονός που πρέπει να προβληματίσει για το εάν οι προτεινόμενες τιμές είναι αντιπροσωπευτικές για όλες τις κατηγορίες του πληθυσμού.

Αξιολόγηση των επιπέδων υδάτωσης σε αθλητές

Όπως θα αναπτυχθεί εκτενώς στα επόμενα κεφάλαια, η αφυδάτωση όχι μόνο μειώνει σημαντικά την αθλητική απόδοση, αλλά παράλληλα θέτει σε κίνδυνο την υγεία των ασκούμενων. Ειδικότερα για τους αθλητές, η παρακολούθηση των επιπέδων υδάτωσης έχει μεγάλη αξία για τη μεγιστοποίηση της απόδοσής τους τόσο στην προπόνηση όσο και στον αγώνα. Παράλληλα προσφέρει στο επιστημονικό προσωπικό τη δυνατότητα μείωσης των κινδύνων υγείας που εγκυμονούν σε περιπτώσεις όπου οι αθλητές οδηγούνται σε ακούσια μείωση βάρους (81). Παρότι η ύπαρξη μιας «στρατηγικής» με στόχο την τακτική παρακολούθηση της κατάστασης υδάτωσης των αθλητών, τόσο για τη βελτιστοποίηση της απόδοσής τους, όσο και για την αποφυγή των κινδύνων για την υγεία τους είναι σημαντικότερη, ελάχιστα επιστημονικά δεδομένα υπάρχουν σχετικά με την αξιολόγηση των επιπέδων υδάτωσης στη συγκεκριμένη μερίδα του πληθυσμού.

Γεγονός που κάνει ακόμα πιο δύσκολη την αξιολόγηση των επιπέδων υδάτωσης, είναι και το αποτέλεσμα έρευνας που πραγματοποιήθηκε σε 51 εθελοντές, στους οποίους παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην κατάταξη τους ως αφυδατωμένους ή μη, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγησή τους (αιματολογικοί δείκτες ή δείκτες στα ούρα) (82).

Λίγες είναι στη βιβλιογραφία οι έρευνες οι οποίες έχουν εκτιμήσει τα επίπεδα υδάτωσης σε αθλητές. Σε πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε μεταξύ 329 ασκούμενων σε δύο διαφορετικές, από κλιματολογικής άποψης, πόλεις των ΗΠΑ, βρέθηκε κατά μέσο όρο ότι το 46% ήταν αφυδατωμένο και με το ποσοστό να είναι υψηλότερο στους άνδρες από ότι στις γυναίκες (83).

Ενώ παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα από πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε 263 αθλητές Κολεγιακού επιπέδου (αγόρια και κορίτσια) κατά την οποία το 53% βρέθηκε να είναι αφυδατωμένο (1.024 ± 0.003) σύμφωνα με το ειδικό βάρος των ούρων τους πριν την πρωινή προπόνηση και το 13% σοβαρά αφυδατωμένο (1.031 ± 0.002). Τα ποσοστά αφυδάτωσης μεταξύ ανδρών και γυναικών ήταν 47% και 28% αντίστοιχα (84).

Ακόμα και σε αθλητές υψηλότερου επιπέδου όπως είναι στο επαγγελματικό Αμερικάνικο μπάσκετ (NBA) η αφυδάτωση είναι κοινό γνώρισμα. Χαρακτηριστικά, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την Osterberg και τους συνεργάτες της το 2009, μετρήθηκε το επίπεδο υδάτωσης των 29 αθλητών από 5 επαγγελματικές ομάδες με βάση τις τιμές του USG. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το 52% ξεκινούσε τους αγώνες αφυδατωμένο ($USG \geq 1.020$) και παρέμενε αφυδατωμένο κατά τη διάρκεια ολόκληρου του αγώνα (85).

Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα από μελέτη που δημοσιεύτηκε σε 17 επαγγελματίες ποδοσφαιριστές όπου οι απώλειες σε ιδρώτα κατά τη διάρκεια ποδοσφαιρικού αγώνα υπό 31.9°C , έφτασαν μέχρι και τα 4 λίτρα, με τη συντριπτική πλειοψηφία των ποδοσφαιριστών, να τελειώνουν τον αγώνα μέτρια και σοβαρά αφυδατωμένοι (86).

Άξια αναφοράς είναι και η μελέτη που δημοσιεύτηκε από τους Palmer και Spriet και οι οποία εξέτασε αντίστοιχους δείκτες υδάτωσης, αλλά υπό κρύες περιβαλλοντικές συνθήκες (13.9°C , 66% υγρασία), σε 44 επαγγελματίες αθλητές του χόκεϊ επί πάγου (ηλικίας 18.4 ± 0.1 έτη) κατά τη διάρκεια 4 έντονων ωριαίων προπονήσεων εντός 1 ημέρας. Σύμφωνα με τις τιμές του USG περισσότερο από το 50% των αθλητών ξεκίνησαν τις προπονήσεις ελαφρώς αφυδατωμένοι ($USG \geq 1.020$), ενώ οι αθλητές αναπλήρωσαν μόλις το 58% των απωλειών τους σε υγρά (87).

Σε αντίστοιχη έρευνα μικρότερης κλίμακας η οποία πραγματοποιήθηκε από τους Stover et al, εκτιμήθηκαν τα επίπεδα υδάτωσης σε 13 αθλητές του Αμερικάνικου ποδοσφαίρου μέσω του ειδικού βάρους ούρων και του σωματικού τους βάρους για πέντε συναπτές ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αφυδάτωση για τους αθλητές, με μέση μείωση του σωματικού τους βάρους κατά 0.5 κιλά και σταθερά υψηλές τιμές του ειδικού βάρους των πρώτων πρωινών ούρων (1.024 ± 0.005) (88).

Όπως συνεπώς συνάγεται από τα παραπάνω αποτελέσματα, τα ποσοστά της αφυδάτωσης είναι αρκετά υψηλά, ακόμα και σε μια κατηγορία του πληθυσμού όπως είναι οι αθλητές, για τους οποίους τα επίπεδα υδάτωσης είναι σημαντικότερα τόσο για τη μεγιστοποίηση της απόδοσής τους, όσο και για την αποφυγή θερμικών διαταραχών λόγω άσκησης.

Παρόλο όμως που έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες πάνω σε ενήλικες, ελάχιστες είναι οι αντίστοιχες σε παιδιά, παρότι και ο συγκεκριμένος πληθυσμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός και κρίσιμος.

Αφυδάτωση και παιδική ηλικία

Μελέτες αφυδάτωσης σε αθλητές νεαρής ηλικίας

Οι περισσότερες από τις μελέτες οι οποίες έχουν ασχοληθεί με τις αποκρίσεις της θερμορύθμισης και της υδατικής ομοιόστασης σε παιδιά που ασκούνται στη ζέστη, έχουν πραγματοποιηθεί κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (πχ. κλιματικός θάλαμος) (89-92). Περιορισμένος επίσης είναι και ο αριθμός ερευνών που έχουν ασχοληθεί με τα επίπεδα υδάτωσης των παιδιών που ασκούνται κάτω από ελεύθερες συνθήκες (93, 94).

Το 2006 η Stover και οι συνεργάτες της, μελέτησαν τα επίπεδα υδάτωσης, μέσω του ειδικού βάρους των ούρων, σε νεαρούς αθλητές του Αμερικάνικου ποδοσφαίρου που προπονιόντουσαν επί 5 συνεχόμενες ημέρες (88). Οι τιμές του USG των αθλητών πριν την έναρξη της προπόνησης ήταν συνεχώς υψηλές κάθε μέρα (>1.022) γεγονός που φανερώνει ότι προπονιόντουσαν όντας αφυδατωμένοι. Ωστόσο, όταν μία επιθετική τακτική κατανάλωσης υγρών εφαρμόστηκε (κατανάλωση 2 μπουκαλιών των 591-ml νερού ή αθλητικού ποτού, το ένα μεταξύ βραδινού γεύματος και ύπνου και το άλλο πριν την πρωινή προπόνηση), τα επίπεδα υδάτωσης βελτιώθηκαν σημαντικά, σύμφωνα με τις τιμές του USG.

Ομοίως η Decher και οι συνεργάτες της εξέτασαν τα επίπεδα υδάτωσης και τη γνώση πάνω σε θέματα υδάτωσης, 67 νεαρών αθλητών κατά την τετραήμερη παραμονή τους σε ένα αθλητικό καμπ. Σε όλη τη διάρκεια του καμπ το 55% των αθλητών παρουσίαζε σοβαρή αφυδάτωση ($USG \geq 1.025$). Αυτό το οποίο όμως είναι άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι οι συγκεκριμένοι νεαροί αθλητές αναγνώριζαν εάν έκαναν «καλή» ή όχι δουλειά σχετικά με την ενυδάτωσή τους, βάσει αποτελεσμάτων από ερωτηματολόγια που κλήθηκαν να συμπληρώσουν. Όπως εύκολα συνάγεται, οι συγκεκριμένοι νεαροί αθλητές δεν μπόρεσαν να μετουσιώσουν τις γνώσεις τους περί υδάτωσης σε επιτυχείς στρατηγικές υδάτωσης (95).

Μία πρόσφατη δημοσίευση από τον McDermott και τους συνεργάτες του, έδειξε ότι η πλειοψηφία 33 αγοριών που έφτασαν αφυδατωμένα σε ένα αθλητικό καμπ, διατήρησε τα επίπεδα υδάτωσής τους χαμηλά, καθ' όλη τη διάρκεια της παραμονής τους. Παρόλο που οι αθλητές βρισκόντουσαν σε υδατική ισορροπία κατά την προπόνηση, παρέμεναν αφυδατωμένοι

το υπόλοιπο της ημέρας, με τελικό αποτέλεσμα την αδυναμία επιτυχούς αποκατάστασης και την μείωση της απόδοσής τους (96).

Το 2010 η Yeargin και η επιστημονική της ομάδα μελέτησαν τις θερμορυθμιστικές αντιδράσεις σε πολλαπλές συνεχείς ημέρες, σε 25 παίκτες του Αμερικάνικου ποδοσφαίρου (15 ± 1 έτη) (97). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περισσότεροι αθλητές εμφάνιζαν μικρή με μέτρια αφυδάτωση, πριν και μετά από κάθε προπόνηση, σύμφωνα με την ωσμωτικότητα των ούρων (881 ± 285 mOsmol/kg, 856 ± 259 mOsmol/kg, αντίστοιχα) έχοντας αντικαταστήσει περί τα 2/3 των απωλειών τους σε υγρά κατά την προπόνηση. Επιπροσθέτως, φάνηκε ότι δεν ενυδατωνόντουσαν επαρκώς μεταξύ των προπονήσεών τους, γεγονός που δείχνει ανεπαρκείς συνήθειες υδάτωσης όταν οι αθλητές ήταν εκτός προπονήσεων.

Τέλος, το 2012 ο Da Silva και οι συνεργάτες του μελέτησαν το επίπεδο υδάτωσης 10 νεαρών Βραζιλιάνων ποδοσφαιριστών (ηλικία: 17 ± 0.6 έτη) πριν την έναρξη ενός επαγγελματικού αγώνα, καθώς και την υδατική ισορροπία κατά τη διάρκεια αυτού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι νεαροί επαγγελματίες ποδοσφαιριστές ξεκινούσαν τον αγώνα αφυδατωμένοι, ενώ ο μέσος όρος απωλειών σε υγρά ήταν 2.24 ± 0.63 L ενώ η μέση κατανάλωση υγρών δεν ξεπερνούσε τα 1.12 ± 0.39 L με τελικό αποτέλεσμα να μην αναπληρώνεται περί το 50% των απωλειών σε υγρά (99).

Θερμορύθμιση σε παιδιά-αθλητές

Η πλειοψηφία των μελετών που έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα, έχει διενεργηθεί σε καλά προπονημένους ενήλικες οι οποίοι ασκούνται στη ζέστη. Αντίθετα, είναι περιορισμένη η πληροφόρηση σχετικά με τη δυνατότητα άσκησης παιδιών, υπό παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Είναι αξιοσημείωτο ότι υπάρχουν περιορισμένα δεδομένα σχετικά με τον συγκεκριμένο πληθυσμό, παρόλο το γεγονός ότι είναι ένας πληθυσμός ιδιαίτερο σημαντικός, δεδομένου και των σημαντικών ποσοστών αφυδάτωσης που παρατηρούνται σε πολλούς νεαρούς αθλητές, καθώς και της συχνότητας με την οποία πολλά παιδιά-αθλητές ξεκινούν να ασκούνται αφυδατωμένα (95, 96, 100).

Παραδοσιακά υπήρχε η άποψη ότι τα παιδιά εμφανίζουν μικρότερη ικανότητα θερμορύθμισης κατά την άσκηση, σε σύγκριση με τους ενήλικες, με τελικό αποτέλεσμα τη μειωμένη αθλητική απόδοση και τον υψηλότερο κίνδυνο πρόκλησης θερμικών βλαβών. Παλαιότερες μελέτες έδειξαν ότι τα παιδιά συνήθως εμφανίζουν χαμηλότερη μέγιστη αερόβια ικανότητα, υψηλότερη λιπώδη μάζα και χαμηλότερο ρυθμό εφίδρωσης από τους ενήλικες όταν ασκούνται σε θερμό

περιβάλλον, λόγω μεγαλύτερου λόγου επιφάνειας σώματος/μάζα. Το γεγονός αυτό κατ' επέκταση, οδηγεί σε μεγαλύτερη συσσώρευση θερμότητας, ειδικά όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος ξεπερνά την θερμοκρασία δέρματος (101-104). Μία ακόμη σημαντική παράμετρος είναι το γεγονός ότι τα παιδιά σε αντιστοιχία με τους ενήλικες, δεν πίνουν αρκετά ούτως ώστε να καλύψουν επαρκώς τις απώλειές τους σε υγρά υπό θερμές συνθήκες και υπό-υδατώνονται ακόμα και όταν υπάρχει άφθονη διαθεσιμότητα σε υγρά. Ένα φαινόμενο που έχει οριστεί ως ακούσια αφυδάτωση (77, 89, 92, 105). Ωστόσο, παρ' όλες τις προαναφερθείσες παρατηρήσεις, πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα αποτυγχάνουν να επιδείξουν διαφορές στην ικανότητα θερμορύθμισης μεταξύ παιδιών και ενηλίκων κατά την άσκηση στη ζέστη. Πρόσφατες μελέτες αναφέρουν ότι τα παιδιά και οι ενήλικες όταν ασκούνται υπό ίδιας σχετικής έντασης συνθήκες και ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες, εμφανίζουν παρόμοιες θερμορυθμιστικές αντιδράσεις (7, 106, 107). Τα συγκεκριμένα ευρήματα, τονίζουν ότι παρόλο που τα παιδιά έχουν κάποιες ανατομικές και φυσιολογικές διαφορές, εμφανίζουν αντίστοιχες θερμοκρασίες πυρήνα και δέρματος, όπως και καρδιαγγειακές αντιδράσεις. Όμοια, οι πιθανότητες πρόκλησης θερμικών βλαβών, δεν είναι μεγαλύτερες, όπως και η ικανότητα άσκησης στη ζέστη μικρότερη, σε σύγκριση με τους ενήλικες.

Το φαινόμενο της ακούσιας αφυδάτωσης

Όπως γίνεται φανερό από τις μελέτες οι οποίες αναφέρθηκαν εκτενώς στις προηγούμενες ενότητες, η αφυδάτωση είναι έντονη σε πολλά αθλήματα, σε αθλητές αλλά και σε παιδιά, ακόμη και όταν υπάρχουν άφθονα υγρά προς κατανάλωση. Το φαινόμενο αυτό έχει περιγραφεί εκτενώς και είναι γνωστό ως ακούσια αφυδάτωση (77, 108). Το φαινόμενο της καθυστερημένης πλήρους επανυδάτωσης μετά από την απώλεια υγρών, παρά την παρουσία και τη δυνατότητα κατανάλωσης υγρών, είναι συχνά παρατηρούμενο στους αθλητικούς χώρους αλλά και σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παιδιά που ασκούνται υπό ζέστη (89, 92-94). Πιο αναλυτικά στους αθλητικούς χώρους η ακούσια αφυδάτωση είναι συνήθης ακόμα και για επαγγελματίες αθλητές. Παραδείγματος χάρη, δεδομένα από επαγγελματίες ποδοσφαιριστές έδειξαν ότι και ελίτ ποδοσφαιριστές δεν καταναλώνουν αρκετό νερό ή αθλητικά ποτά ακόμη και όταν αυτά είναι διαθέσιμα (109). Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι κοινή ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών (110, 111), και είναι εμφανής τόσο κατά τις προπονήσεις πριν την έναρξη της αγωνιστικής περιόδου (112) όσο και κατά τη διάρκεια αγώνων (113). Χαρακτηριστικά, σε μια πρόσφατη μελέτη από τον Kurdak και τους συνεργάτες του, στην οποία εξετάστηκε η συμπεριφορά 22 ποδοσφαιριστών σχετικά με την ενυδάτωσή τους κατά τη διάρκεια ενός ποδοσφαιρικού αγώνα στη ζέστη ($34.3 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$), διαπιστώθηκαν σημαντικότερες απώλειες υγρών

και ηλεκτρολυτών από τους παίκτες παρόλη τη διαθεσιμότητα υγρών στο γήπεδο (114). Αντίστοιχο είναι και το εύρημα και σε αγωνίσματα όπως είναι η καλαθοσφαίριση (85) και το χόκεϊ επί πάγου (87), όπου παρόλο που υπάρχουν περισσότερες δυνατότητες για τους αθλητές να καταναλώνουν υγρά λόγω των συχνών διακοπών στον αγώνα και του γεγονότος ότι τα ποτά μπορούν εύκολα να προσεγγιστούν, η ακούσια αφυδάτωση είναι συχνό φαινόμενο. Η έκταση του συγκεκριμένου ζητήματος αντικατοπτρίζεται και σε πολλές μελέτες οι οποίες έχουν γίνει και σε νεαρά παιδιά-αθλητές τα οποία ασκούνται υπό ζεστές συνθήκες, σε ελεύθερα περιβάλλοντα και στις οποίες η συντριπτική πλειοψηφία των ασκούμενων παιδιών παρέμεναν αφυδατωμένα, ανεξαρτήτως της άφθονης ύπαρξης υγρών προς κατανάλωση στον αθλητικό χώρο (86, 93, 99, 115, 116).

Όπως φαίνεται λοιπόν από τα προαναφερθέντα, η αφυδάτωση σε όλες τις εκφάνσεις της (πχ. ακούσια αφυδάτωση) είναι ένα φαινόμενο εξαιρετικά σύνθηες για πολλά αθλήματα, αλλά και για πολλές ηλικιακές κατηγορίες (ενήλικες και παιδιά), καθώς και για επαγγελματίες αθλητές επιπέδου ή απλούς ασκούμενους. Το αξιοσημείωτο ωστόσο είναι, ότι παρότι τα μειονεκτήματα της αφυδάτωσης είναι ευρέως γνωστά και ποικίλα (διεξοδική ανάλυση των οποίων θα ακολουθήσει παρακάτω), είναι εμφανές ότι πρέπει να γίνουν ακόμα πολλά βήματα με στόχο την ενημέρωση για τη σημασία των βέλτιστων επιπέδων υδάτωσης για την απόδοση και την υγεία.

Η αφυδάτωση και οι συνέπειές της

Φαίνεται ότι η διατήρηση της υδατικής ισορροπίας στο σώμα είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού. Τυχόν απώλεια αυτής της ισορροπίας, είτε λόγω αυξημένης απώλειας (αφυδάτωση), είτε λόγω μεγάλης κατανάλωσης υγρών (υπερυδάτωση) μπορεί να προξενήσει σημαντικά προβλήματα.

Ωστόσο η αφυδάτωση είναι μακράν η πιο συνηθισμένη υδατική διαταραχή και η οποία έχει μελετηθεί περισσότερο και για την οποία υπάρχει πληθώρα στοιχείων τα οποία αποδεικνύουν ότι έχει σημαντικές αρνητικές συνέπειες στην υγεία.

Αφυδάτωση και υγεία

Καταρχάς πρέπει να σημειωθεί ότι όλα ανεξαιρέτως τα φυσιολογικά συστήματα του ανθρώπινου σώματος επηρεάζονται από την αφυδάτωση (117). Ο βαθμός της αφυδάτωσης είναι αυτός ο οποίος ελέγχει και την έκταση της φθοράς του εκάστοτε συστήματος. Η απομόνωση μιας συγκεκριμένης αλλαγής σε κάποιο σύστημα είναι πρακτικά αδύνατη, δεδομένου ότι κάθε

μεταβολή σε ένα σύστημα (πχ καρδιαγγειακό) έχει άμεση αλληλεπίδραση και σε άλλα συστήματα (πχ μυϊκό, θερμορύθμισης κλπ) (118).

Σε μία μελέτη η οποία δημοσιεύτηκε πριν από λίγους μήνες ο Strippoli και οι συνεργάτες του μελέτησαν τη σχέση μεταξύ πρόσληψης υγρών και χρόνιας νεφρικής πάθησης(119). Μέσω ερωτηματολογίων που εξέταζαν την πρόσληψη υγρών σε περίπου 3.500 άτομα πριν και μετά από 5 χρόνια, οι ερευνητές παρατήρησαν μια αντιστρόφως γραμμική συσχέτιση μεταξύ πρόσληψης υγρών και επικράτησης της χρόνιας νεφρικής πάθησης. Όσο μεγαλύτερη ήταν η κατανάλωση υγρών, τόσο μικρότερος ο κίνδυνος για την εμφάνιση χρόνιας νεφρικής πάθησης. Μία πρόσληψη της τάξεως των 3.3 λίτρων/ημέρα σχετιζόταν με μία μείωση κατά 30-50% στην πιθανότητα εμφάνισης, σε σύγκριση με μία πρόσληψη των 1.7 λίτρων/ημέρα.

Ο Thorton και οι συνεργάτες του μέσα από μια σειρά δημοσιευμένων ερευνών προτείνουν το φαινόμενο της αφυδάτωσης ως παράγοντα ο οποίος εμπλέκεται στην παθολογία πολλών σοβαρών παθήσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές θεωρούν ότι η αφυδάτωση, μέσω του πολύπλοκου ρόλου της αγγειοπιεσίνης η οποία προκαλείται λόγω της μείωσης του όγκου του πλάσματος, εμπλέκεται στην παθολογία όχι μόνο των καρδιαγγειακών, αλλά και σε αυτή της παχυσαρκίας, του διαβήτη, ακόμη και του καρκίνου, προτείνοντας συνεπώς μια κοινή αιτιολογία για όλες αυτές τις εξαιρετικά σοβαρές παθήσεις (120, 121).

Το 2005 οι Manz και Wentz δημοσίευσαν μία ανασκόπηση η οποία συνοψίζει τις συνέπειες της αφυδάτωσης μέτριας μορφής στην υγεία (122). Σύμφωνα με τους ερευνητές, η αφυδάτωση σχετίζεται άμεσα με την πιθανότητα μεταξύ άλλων και της εμφάνισης καρκίνου της ουροδόχου κύστης, υπέρτασης, και στεφανιαίας νόσου. Αποδεδειγμένα, η αποφυγή της αφυδάτωσης μέσω αυξημένης κατανάλωσης υγρών είναι η σημαντικότερη μέθοδος πρόληψης εμφάνισης πέτρας στα νεφρά (123). Εκατόν ενενήντα εννέα άτομα τα οποία είχαν ήδη εμφανίσει **ουρολιθίαση**, χωρίστηκαν σε δύο ομάδες βάσει της κατανάλωσης υγρών. Τα άτομα με την αυξημένη πρόσληψη υγρών εμφάνισαν σε περίοδο πέντε ετών, στατιστικά σημαντική αύξηση του όγκου ούρων και παράλληλα κατά 50% μειωμένες πιθανότητες εμφάνισης πέτρας στα νεφρά (124). Αποτελέσματα που συμφωνούν και με τη μελέτη 25 ατόμων τα οποία ακολουθώντας διατροφή υψηλής κατανάλωσης σε υγρά και περιορισμένη σε αλάτι και πρωτεΐνες, εμφάνισαν σημαντικά μειωμένο αριθμό πετρών στα νεφρά (125).

Το 2003 ο Arnaud σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας δημοσίευσε τους σημαντικότερους προδιαθετικούς παράγοντες για την εμφάνιση του φαινομένου της **δυσκοιλιότητας**. Η ανεπαρκής πρόσληψη υγρών ήταν σύμφωνα με τον ερευνητή από τα κυρίαρχα αίτια (126). Ενισχύοντας την προαναφερθείσα άποψη, μεγάλη επιδημιολογική έρευνα η οποία

πραγματοποιήθηκε σε 796 άτομα, εμφάνισε σημαντικά αρνητική συσχέτιση μεταξύ της αυξημένης κατανάλωσης υγρών και της εμφάνισης δυσκοιλιότητας (127). Επιπρόσθετα, σε 1.291 από 21.092 ηλικιωμένους κατοίκους οι οποίοι εμφάνισαν δυσκοιλιότητα, η χαμηλή πρόσληψη υγρών ήταν ο δεύτερος ισχυρότερος προγνωστικός παράγοντας για τη δυσκοιλιότητα (128). Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα από τις παραπάνω ευρείας κλίμακας μελέτες, φαίνεται ότι τα μειωμένα επίπεδα υδάτωσης σχετίζονται θετικά και με την πρόκληση της δυσκοιλιότητας.

Τα μειωμένα επίπεδα υδάτωσης φαίνεται επίσης να προκαλούν **μορφολογικές αλλά και λειτουργικές αλλαγές στα νεφρά**. Σε ποντίκια βρέθηκε ότι ο συνδυασμός μειωμένων επιπέδων υδάτωσης και αυξημένων αντί-διουρητικής προκαλούν μορφολογικές και λειτουργικές αλλαγές στα νεφρά, με πιο συγκεκριμένη την αύξηση του ρυθμού σπειραματικής διήθησης (129).

Αντικρουόμενα είναι τα αποτελέσματα μεταξύ ασθενών και υγιών ατόμων για τη σχέση μέτριας μορφής αφυδάτωσης και **καρδιαγγειακής λειτουργίας**.

Σε διαβητικούς ασθενείς, η μειωμένη παραγωγή ούρων και απέκκριση νατρίου σχετίζεται σημαντικά με υψηλότερες τιμές αρτηριακής πίεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας και μειωμένη μείωση των επιπέδων της πίεσης κατά τη διάρκεια της νύχτας (130). Επεκτείνοντας τους εξεταζόμενους δείκτες, έρευνες έδειξαν ότι το αυξημένο ιζώδες πλάσματος (131) και αιματοκρίτη (132) έχουν βρεθεί να σχετίζονται θετικά με τον κίνδυνο εμφάνισης στεφανιαίας νόσου. Σε μια μεγάλη επιδημιολογική μελέτη η οποία διήρκεσε έξι έτη και συμπεριέλαβε 8.280 άνδρες και 12.017 γυναίκες, η αυξημένη πρόσληψη νερού σχετίστηκε σημαντικά με το μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης καρδιακού επεισοδίου, μέσω μείωσης της πυκνότητας του αίματος (133). Σε αντίθετα αποτελέσματα ωστόσο κατέληξαν ο Tonstad και οι συνεργάτες του, οι οποίοι δεν έδειξαν καμία επίδραση της αυξημένης πρόσληψης νερού στην πυκνότητα του αίματος και κατ' επέκταση στον κίνδυνο πρόκλησης καρδιαγγειακού επεισοδίου (134).

Τέλος αξίζει να γίνει και μια αναφορά σε κυτταρικό επίπεδο για τη σχέση μεταξύ των αλλαγών στα επίπεδα υδάτωσης και στη **μεταβολική λειτουργία**.

Έχει αποδειχτεί λοιπόν σε πειράματα τα οποία έγιναν σε συνθήκες εργαστηρίου, ότι αλλαγές στον κυτταρικό όγκο επηρεάζουν και τον μεταβολικό προσανατολισμό. Πιο συγκεκριμένα, η διόγκωση των κυττάρων οδηγεί σε αναβολισμό, σε αντίθεση με τη συρρίκνωσή τους η οποία ενισχύει τον καταβολισμό (1). Χαρακτηριστικό είναι ότι μια αλλαγή της τάξεως του 15% στον κυτταρικό όγκο αποτρέπει την πρωτεόλυση κατά 25% (135). Για να καθοριστεί η επίδραση της μείωσης του όγκου του πλάσματος στον ενεργειακό μεταβολισμό, δέκα υγιείς άνδρες πραγματοποίησαν μέτριας έντασης άσκηση σε δύο ξεχωριστές περιπτώσεις. Στη πρώτη υπό

φυσιολογικές συνθήκες και στη δεύτερη μετά από τετραήμερη χορήγηση διουρητικών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αυξημένη μείωση του όγκου του πλάσματος αλλάζει την κινητική της γλυκόζης, μειώνοντας τη νεογλυκογένεση και τη γλυκογονόλυση, αυξάνοντας παράλληλα τη λιπόλυση (136).

Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι ο μεταβολισμός των πρωτεϊνών επηρεάζεται από τα επίπεδα υδάτωσης σε κυτταρικό επίπεδο, παρ' όλα αυτά ακριβή συμπεράσματα για την επιρροή της υδατικής ισορροπίας σε επίπεδο κυττάρων σε άλλα μεταβολικά μονοπάτια, δε μπορούν να εξαχθούν και περαιτέρω μελέτες απαιτούνται (137).

Αφυδάτωση και αθλητική απόδοση

Λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο όγκο σχετικών μελετών, η διατήρηση της υδατικής ισορροπίας είναι καίριος παράγοντας για την επίτευξη της βέλτιστης αθλητικής απόδοσης, ιδιαίτερα όταν η άσκηση γίνεται σε θερμό περιβάλλον. Δεδομένου ότι η αφυδάτωση μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο πρόκλησης μέχρι και συμπτωμάτων που θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή, όπως είναι η θερμοπληξία, οι ασκούμενοι καλούνται να θέτουν ως άμεση προτεραιότητά τους τη διατήρηση των ιδανικών επιπέδων υδάτωσης πριν, κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά το τέλος της άσκησης (138).

Μία κύρια συνέπεια της διαταραχής των επιπέδων υδάτωσης και πιο συγκεκριμένα της εμφάνισης του φαινομένου της αφυδάτωσης κατά τη διάρκεια της άσκησης, είναι η σημαντική **αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος**. Έχει αποδειχτεί ότι η θερμοκρασία του πυρήνα αυξάνεται κατά 0.15 με 0.20 °C για κάθε απώλεια 1% του σωματικού βάρους λόγω εφίδρωσης (139, 140). Η επιπρόσθετη αυτή θερμική καταπόνηση οφείλεται τόσο στο συνδυασμό μειωμένης αιματικής ροής στο δέρμα όσο και των μεταβολών στην ικανότητα εφίδρωσης (141, 142), γεγονός το οποίο απεικονίζει και η αργοπορημένη έναρξη της εφίδρωσης σε ήδη αφυδατωμένα άτομα (7). Οι συγκεκριμένες μεταβολές στο μηχανισμό της θερμορύθμισης επηρεάζουν αρνητικά τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν λόγω πολύ καλής φυσικής κατάστασης (143) και θερμοεγκλιματισμού (144), ενώ παράλληλα η ικανότητα άσκησης στη ζέστη μειώνεται και ο χρόνος άσκησης έως εξάντλησης εμφανίζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία πυρήνα (145).

Σε συνδυασμό με τη θερμική καταπόνηση, η αφυδάτωση έχει αρνητικές επιπτώσεις και στην καρδιαγγειακή λειτουργία. Τα μειωμένα επίπεδα υδάτωσης προκαλούν επιπρόσθετη **καρδιαγγειακή καταπόνηση** κατά την άσκηση, της οποίας τα κύρια χαρακτηριστικά συνοπτικά

είναι: ο μειωμένος όγκος παλμού, η αυξημένη καρδιακή συχνότητα και κατ' επέκταση, η μείωση της καρδιακής παροχής και της μέσης αρτηριακής πίεσης (75, 146-148). Ωστόσο το κομμάτι της σχέσης μεταξύ αφυδάτωσης και καρδιαγγειακής λειτουργίας θα μελετηθεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Επιπρόσθετες φυσιολογικές μεταβολές λόγω αφυδάτωσης θεωρούνται επίσης: ο αυξημένος ρυθμός χρησιμοποίησης του μυϊκού γλυκογόνου (149, 150), η αύξηση της θερμοκρασίας του μυός (151) και πιθανώς ορισμένες αλλαγές στη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος (152). Τα μειωμένα επίπεδα υδάτωσης ωστόσο, δε φαίνεται να προξενούν μυϊκή φθορά μετά από άσκηση αντιστάσεων (153).

Όπως είναι προφανές, οι συγκεκριμένες φυσιολογικές μεταβολές που προξενεί η αρνητική διατάραξη των επιπέδων υδάτωσης στον οργανισμό έχουν άμεσο αντίκτυπο και στην αθλητική απόδοση.

Έχει αποδειχτεί λοιπόν ότι η αφυδάτωση οδηγεί σε αύξηση του αισθήματος αντιλαμβανόμενης κόπωσης (**Rate of Perceived Exertion**) (154), ενώ παράλληλα φαίνεται ότι μειώνει και το κίνητρο για άσκηση (155), παράγοντες οι οποίοι είναι σημαντικότεροι αν συνυπολογιστεί η ανάγκη ύπαρξης ισχυρής διάθεσης για άσκηση η οποία απαιτείται από αθλητές επιπέδου, ούτως ώστε να διατηρήσουν υψηλά την απόδοσή τους.

Μεταγενέστερες έρευνες επίσης έχουν αποδείξει ισχυρή αρνητική σχέση μεταξύ **αφυδάτωσης και πνευματικής λειτουργίας**. Χαρακτηριστικά η Shirreffs και οι συνεργάτες της, μελέτησαν την επίδραση της στέρησης υγρών για 13, 24 και 37 ώρες σε εννέα άνδρες και έξι γυναίκες, σε ορισμένες πνευματικές ικανότητες μέσω ειδικών ερωτηματολογίων και εξετάσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όσο αυξανόταν ο χρόνος στέρησης της κατανάλωσης των υγρών, τόσο η ικανότητα των εξεταζόμενων για να συγκεντρωθούν, αλλά και η ικανότητα εγρήγορσή τους μειωνόταν αισθητά (156). Οι συγκεκριμένες αρνητικές επιπτώσεις της αφυδάτωσης στην αντιληπτική ικανότητα είναι εξαιρετικά σημαντικές, ειδικά όταν κατά την άσκηση απαιτούνται ικανότητες όπως είναι η συγκέντρωση και η εγρήγορση και όταν θέματα τακτικής είναι μεγάλης σημασίας (157). Πρόσφατες έρευνες τέλος, επιβεβαιώνουν την αρνητική επίδραση της αφυδάτωσης στην πνευματική λειτουργία αλλά και στη διάθεση. Στις συγκεκριμένες έρευνες, αφυδάτωση ακόμα και της τάξεως του $1.36 \pm 0.16\%$ έχει αρνητικές επιδράσεις σε γυναίκες (158) αλλά και άνδρες (159) σε ότι αφορά την προσοχή, τη συγκέντρωση, τη δυνατότητα ολοκλήρωσης ενός συγκεκριμένου έργου, ενώ παράλληλα φαίνεται να αυξάνει το άγχος, την ένταση, την κόπωση σε ηρεμία αλλά και άσκηση καθώς και την εμφάνιση πονοκεφάλων.

Πολλές μελέτες επίσης έχουν ασχοληθεί με την επίδραση των μειωμένων **επιπέδων υδάτωσης στην αναερόβια ικανότητα και στη μυϊκή δύναμη**.

Σε ότι έχει να κάνει με την αναερόβια ικανότητα οι έρευνες συμφωνούν ότι τα επίπεδα υδάτωσης δε φαίνεται να την επηρεάζουν. Το 2006 ο Cheuvront και οι συνεργάτες του, εξέτασαν τις πιθανές επιπτώσεις του συνδυασμού αφυδάτωσης και υπερθερμίας (αυξημένη θερμοκρασία πυρήνα) σε συγκεκριμένους δείκτες αναερόβιας ικανότητας (μέγιστη και μέση δύναμη και δείκτης κόπωσης). Οχτώ αθλητές πραγματοποίησαν τρία τεστ Wingate, αμέσως μετά, μετά από 30 και 60 λεπτά, μετά την παραμονή τους για 3 ώρες σε θερμό περιβάλλον και αφού είτε είχαν αφυδατωθεί, είτε βρισκόντουσαν σε φυσιολογικά επίπεδα υδάτωσης μέσω αναπλήρωσης των απωλειών τους σε υγρά. Τα αποτελέσματα δεν βρήκαν καμία επίπτωση της αφυδάτωσης ($2.7 \pm 0.7\%$ του συνολικού σωματικού βάρους) και της υπερθερμίας σε κανένα από τα τρία τεστ αναερόβιας ικανότητας που ακολούθησαν (160).

Σε ότι αφορά τη σχέση μεταξύ αφυδάτωσης και μέγιστης μυϊκής δύναμης οι έρευνες φαίνεται να έρχονται σε συμφωνία ότι ίσως να επηρεάζεται αλλά σε περιπτώσεις όπου η συνολική αφυδάτωση ξεπερνάει το 5% (161, 162). Σε περιπτώσεις όπου η μείωση των επιπέδων υδάτωσης ανέρχεται στο 2 μέχρι 4% του συνολικού σωματικού βάρους, δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ αφυδάτωσης και ισομετρικής δύναμης, μέγιστης ροπής ή μυϊκής αντοχής (163, 164). Ενώ πρόσφατη έρευνα η οποία μελέτησε αποκλειστικά την επίδραση μείωσης των επιπέδων υδάτωσης επτά αθλητών αντιστάσεων, στη μυϊκή δύναμη, στην εκρηκτικότητα και στην απόδοση σε σειρά τεστ αντιστάσεων, δεν κατάφερε να επιδείξει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δοκιμασιών που πραγματοποιήθηκαν μετά από αφυδάτωση 2.5 ή 5% του σωματικού τους βάρους (165).

Τέλος στην περίπτωση κατά την οποία έχει εξεταστεί η σχέση μεταξύ **αφυδάτωσης και αερόβιας ικανότητας**, τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι υπάρχει σημαντικά αρνητική επίδραση στην ικανότητα αντοχής (166, 167).

Η πλειονότητα των ερευνών συμφωνεί ότι το κρίσιμο «κατώφλι» για τη μείωση της αερόβιας ικανότητας, είναι όταν οι απώλειες σε υγρά ξεπεράσουν το 2% της συνολικής σωματικής μάζας (138). Παρόλα αυτά, σημαντική μείωση της απόδοσης έχει παρατηρηθεί και σε μικρότερα ποσοστά απωλειών σωματικού βάρους, τα οποία αγγίζουν το 1 με 2%. Κλασικές έρευνες οι οποίες έχουν γίνει τόσο σε δρομείς, όσο και σε ποδηλάτες, επιβεβαιώνουν την παραπάνω διαπίστωση (168, 169).

Η «κρίσιμη» απώλεια υγρών (2% της συνολικής σωματικής μάζας), καθώς και το μέγεθος της μείωσης της απόδοσης, σχετίζεται και με δείκτες όπως είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ο τύπος της άσκησης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ασκούμενου (πχ σωματότυπος, ικανότητα εφίδρωσης, αντοχής στη ζέστη κλπ). Συμπερασματικά ορισμένα άτομα είναι λογικό να εμφανίζουν μεγαλύτερες αντοχές στην άσκηση στη ζέστη (12).

Αξίζει τέλος να αναφερθεί ότι σημαντικές μειώσεις στην ικανότητα αντοχής παρατηρούνται ακόμα και υπό κρύες ή και φυσιολογικές κλιματολογικές συνθήκες. Χαρακτηριστικά είναι τα αποτελέσματα έρευνας στην οποία εννέα ποδηλάτες (επτά άνδρες και δύο γυναίκες) έπρεπε να ολοκληρώσουν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα ένα τεστ μέχρι εξάντλησης. Οι ποδηλάτες πραγματοποίησαν τη δοκιμασία σε θάλαμο υπό 20 °C, κάτω από 2 °C και όντας αφυδατωμένοι κατά 3% του σωματικού τους βάρους ή μη. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης της δοκιμασίας κατά 8 και 3% αντίστοιχα (170).

Μία ακόμα αρνητική πτυχή της αφυδάτωσης η οποία μελετήθηκε τα τελευταία χρόνια, είναι και η αρνητική επίδραση που έχει, **στο ρυθμό** ενός αθλητή κατά την άσκηση. Σε πρόσφατες έρευνες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε δρομείς αντοχής στους οποίους ζητήθηκε να τρέξουν 3 γύρους των 4 χιλιομέτρων, όντας αφυδατωμένοι ή όχι, παρατηρήθηκε πέρα από μια αξιοσημείωτη αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης της δοκιμασίας στην περίπτωση της αφυδάτωσης (171), μία παράλληλη αδυναμία των αφυδατωμένων αθλητών να διατηρήσουν σταθερό ρυθμό στα «περάσματά» τους (172).

Είναι απολύτως λογικό τέλος, ότι για περαιτέρω αύξηση των επιπέδων της αφυδάτωσης, η καταπόνηση και η αρνητική επίδραση στην απόδοση αυξάνεται αναλογικά (139, 173). Κλασική είναι η έρευνα των Craig και Cummings η οποία έδειξε ότι η ικανότητα παραγωγής έργου μειώθηκε σε υψηλότερα επίπεδα, της τάξεως του 38 μέχρι και 45%, όταν ο βαθμός αφυδάτωσης αυξανόταν σε επίπεδα αρκετά μεγαλύτερα του 4% (174).

Από τις παραπάνω διαπιστώσεις, φαίνεται ότι τα επίπεδα υδάτωσης στον οργανισμό επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση. Αναφέρθηκε επίσης ότι μία από τις κύριες αρνητικές επιδράσεις της αφυδάτωσης στον οργανισμό είναι η επιβάρυνση της καρδιαγγειακής λειτουργίας, η οποία επιφέρει αλυσιδωτές αντιδράσεις στο σώμα.

Αφυδάτωση και καρδιαγγειακή λειτουργία

Η άσκηση στη ζέστη αποτελεί μια σοβαρή πρόκληση για τον ανθρώπινο καρδιαγγειακό μηχανισμό. Αυξημένη αιματική ροή στους ενεργούς μυς (και στο μυοκάρδιο) απαιτείται με

στόχο την ανταπόκριση των ενεργειακών απαιτήσεων για μυϊκή δραστηριότητα, ενώ παράλληλα η αυξημένη αιματική ροή στο δέρμα είναι απαραίτητη για την ανταπόκριση στις απαιτήσεις της ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος. Οι συγκεκριμένες απαιτήσεις για αιματική ροή «ανταγωνίζονται» για τη διαθέσιμη καρδιακή παροχή (175), γεγονός το οποίο τελικά έχει σαν αποτέλεσμα την αδυναμία της καρδιάς να ανταπεξέλθει στις συνδυασμένες απαιτήσεις άσκησης και θερμορύθμισης, ειδικά κατά τη διάρκεια έντονης φυσικής δραστηριότητας υπό ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Πλέον είναι κοινώς αποδεκτό ότι κατά την άσκηση εμφανίζεται μείωση της καρδιακής παροχής και του όγκου παλμού, παρ' όλη την αύξηση της καρδιακής συχνότητας. Η συγκεκριμένη διαπίστωση απεδείχθη αρχικά από την κλασική πλέον μελέτη του Rowell και των συνεργατών του, οι οποίοι απέδειξαν σημαντική μείωση της καρδιακής παροχής κατά 1 λίτρο/λεπτό και του όγκου παλμού, κατά τη διάρκεια άσκησης (63-73% VO_2 peak) σε θερμοκρασία 43 °C έναντι 26 °C. Η μειωμένη καρδιακή παροχή οφειλόταν στις μεγαλύτερες μειώσεις του όγκου παλμού σε σχέση με τις αντίστοιχες αυξήσεις της καρδιακής συχνότητας (176). Σε επακόλουθη μελέτη της ίδιας επιστημονικής ομάδας, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι παρατηρούμενες αλλαγές στην κεντρική φλεβική πίεση, στον όγκο παλμού και στην καρδιακή συχνότητα, κατά τη διάρκεια στρες προκαλούμενου λόγω ζέστης, θα μπορούσαν να αναστραφούν με τη χρήση στολής η οποία να περιέχει κρύο νερό και η οποία να είναι σε άμεση επαφή με το σώμα (177).

Σε μια κλασική έρευνα η οποία ακολούθησε αρκετά χρόνια αργότερα και η οποία πραγματοποιήθηκε από την ομάδα του Gonzalez-Alonso εξετάστηκε το καρδιαγγειακό στρες το οποίο προκύπτει από την «προσθήκη» της αφυδάτωσης στην υπάρχουσα υπερθερμία κατά τη διάρκεια άσκησης στη ζέστη, καθώς και τους μηχανισμούς που συμβάλλουν στη λόγω αφυδάτωσης προκαλούμενης μείωσης του όγκου παλμού (75). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο η αφυδάτωση (4% του συνολικού σωματικού βάρους) όσο και η υπερθερμία (αύξηση κατά 1 °C της θερμοκρασίας του οισοφάγου), η κάθε μία ξεχωριστά, οδήγησαν σε μείωση του όγκου παλμού κατά 7-8% (11 ± 3 ml/beat). Το πιο σημαντικό όμως εύρημα ήταν ότι όταν η αφυδάτωση «προστέθηκε» στην ήδη υπάρχουσα υπερθερμία, οι συνέπειες ήταν δυσχερέστερες. Δηλαδή παρατηρήθηκε σημαντικά μεγαλύτερη μείωση του όγκου παλμού (26 ± 3 ml/χτύπο), της καρδιακής παροχής (13%) και της μέσης αρτηριακής πίεσης ($5 \pm 2\%$). Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η «προσθήκη» αφυδάτωσης στην προκαλούμενη υπερθερμία, λόγω άσκησης στη ζέστη, προκαλεί αδυναμία διατήρησης της καρδιακής παροχής και της αρτηριακής πίεσης, γεγονότα που τελικώς οδηγούν τους αφυδατωμένους αθλητές στην κόπωση και στη διακοπή της προσπάθειας, μη μπορώντας να αντεπεξέλθουν στην υπερθερμία.

Πολύ σημαντικό ζήτημα παράλληλα, είναι η αναγνώριση του κρίσιμου σημείου της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος, πέρα από το οποίο η συνέχιση της άσκησης σε ζεστές συνθήκες είναι ανέφικτη, καθώς και εάν αυτό το σημείο επηρεάζεται από τυχόν διαφορετική αρχική θερμοκρασία του σώματος πριν από την έναρξη της άσκησης.

Ο Gonzalez-Alonso και η ομάδα του θέλησαν να απαντήσουν στο συγκεκριμένο ζήτημα, μελετώντας επτά ποδηλάτες τους οποίους εξέτασαν σε τεστ μέχρι εξάντλησης στους 40 °C και αφού τους είχαν πρώτα μεταβάλει την εσωτερική θερμοκρασία σώματός τους σε 36, 37.5 και 38.2 °C, μέσω βύθισης στο νερό. Ο χρόνος μέχρι εξάντλησης ήταν αντιστρόφως ανάλογος με την αρχική θερμοκρασία σώματος (τα άτομα με τη χαμηλότερη αρχική θερμοκρασία, ποδηλάτησαν και περισσότερη ώρα). Το ουσιαστικό εύρημα της μελέτης όμως, ήταν ότι η εξάντληση κατά τη διάρκεια παρατεταμένης μέτριας έντασης άσκησης στη ζέστη, παρατηρήθηκε στην ίδια θερμοκρασία πυρήνα (40.1-40.2 °C) και δέρματος (37.0-37.2 °C), ανεξάρτητα από την αρχική θερμοκρασία του σώματος (178). Συμπερασματικά, η υψηλή αρχικά εσωτερική θερμοκρασία μπορεί από μόνη της να προκαλέσει κόπωση σε προπονημένους αθλητές κατά τη διάρκεια άσκησης στη ζέστη.

Το επόμενο ερώτημα είναι εάν η αιματική ροή στους ενεργούς μυς μειώνεται όταν η καρδιακή παροχή μειώνεται λόγω της αφυδάτωσης κατά την παρατεταμένης διάρκειας άσκησης στη ζέστη και συνεπώς εάν είναι ένας ακόμη κρίσιμος παράγοντας ο οποίος οδηγεί στη διακοπή της άσκησης. Τα αποτελέσματα έρευνας η οποία εξέτασε το συγκεκριμένο ζήτημα σε επτά ποδηλάτες αντοχής μέσω τεστ μέχρι εξάντλησης, έδειξαν ότι πράγματι η αιματική ροή στους ασκούμενους μυς μειώνεται σημαντικά με την αφυδάτωση. Γεγονός που οφείλεται κυρίως στη μειωμένη αιματική πίεση. Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι η προοδευτικά αυξανόμενη πρόσληψη οξυγόνου κατά την άσκηση περιορίζεται στους ασκούμενους σκελετικούς μυς (179).

Σε συνέχεια της προηγούμενης έρευνας η ίδια ομάδα εξέτασε την πιθανότητα οι μειώσεις στην αιματική ροή λόγω της προκαλούμενης μέσω άσκησης αφυδάτωσης, να επηρεάζουν αρνητικά τη μεταφορά ενεργειακών υποστρωμάτων, καθώς και την απομάκρυνση θερμότητας από και προς τους ενεργούς μυς κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης στη ζέστη. Ένας δεύτερος σκοπός της έρευνας ήταν να μελετήσει την επίδραση της αφυδάτωσης στη χρησιμοποίηση ενεργειακών υποστρωμάτων από τους ασκούμενους μυς και να αναγνωρίσει πιθανούς παράγοντες που να σχετίζονται με την κόπωση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της αιματικής ροής στους μυς λόγω αφυδάτωσης δεν προκάλεσε μείωση ούτε στη μεταφορά γλυκόζης και ελεύθερων λιπαρών οξέων, αλλά ούτε και στη απομάκρυνση του γαλακτικού οξέως κατά τη διάρκεια άσκησης στο 60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου και υπό 35 °C.

Όμως πολύ σημαντικό είναι το εύρημα ότι πάνω από το 60% της μεταβολικής θερμότητας που εκλύεται από τους ασκούμενους μυς διαχέεται απευθείας στο κοντινό περιβάλλον, γεγονός που αποδεικνύει ότι η υπερθερμία και όχι οι διάφορες μεταβολικές αλλαγές, είναι ο κύριος παράγοντας πρόκλησης της κόπωσης στην άσκηση στη ζέστη (180).

Ο προτεινόμενος μηχανισμός ο οποίος οδηγεί στην κόπωση λόγω θερμικού στρες είναι πολύπλοκος και δυσνόητος. Έχει αποδειχτεί λοιπόν, ότι κάτω από τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες η $\dot{V}O_2\max$ μειώνεται λόγω σημαντικών μειώσεων της καρδιακής παροχής και της μέσης αρτηριακής πίεσης, γεγονότα που με τη σειρά τους προκαλούν μειώσεις στην αιματική ροή στους ασκούμενους μυς, καθώς και στην μεταφορά και πρόσληψη του οξυγόνου από αυτούς (181). Μεταγενέστερες ωστόσο χρονικά μελέτες με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων όπως το ηλεκτρονικό εγκεφαλογράφημα, εμπλούτισαν τις ήδη υπάρχουσες γνώσεις, αναδεικνύοντας και έναν ακόμα, ίσως και σημαντικότερο παράγοντα που προκαλεί την κόπωση.

Πρόσφατες έρευνες λοιπόν απέδειξαν ότι η άσκηση στη ζέστη, δεν επηρεάζει μόνο με τους τρόπους που αναφέρθηκαν παραπάνω το κινητικό και κυρίως το καρδιαγγειακό σύστημα, αλλά επηρεάζει επίσης και τον εγκέφαλο. Οι παρατηρούμενες αλλαγές στην αιμάτωση του εγκεφάλου κατά την άσκηση στη ζέστη, ενεργοποιούν ανασταλτικά σήματα από τον υποθάλαμο, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν αλλαγές στη λειτουργία του κεντρικού νευρικού συστήματος, οδηγώντας στην εμφάνιση του φαινομένου της κεντρικής κόπωσης και στη διακοπή της προσπάθειας. Η κεντρική κόπωση κατά την άσκηση με υπερθερμία μπορεί να θεωρηθεί ως η σημαντικότερη δικλείδα ασφαλείας απέναντι στην πρόκληση καταστροφικής υπερθερμίας για το σώμα, συμβάν το οποίο τελικά αναγκάζει τον ασκούμενο να σταματήσει να ασκείται ή να μειώσει αισθητά την παραγωγή εσωτερικής θερμότητας (182-185).

Από τα προαναφερθέντα γίνεται φανερό ότι η καρδιαγγειακή λειτουργία επιβαρύνεται σημαντικά από την αφυδάτωση, αλλά και ότι οι μηχανισμοί που την επιβαρύνουν είναι ιδιαιτέρως πολύπλοκοι και σίγουρα όχι απόλυτα ξεκάθαροι μιας και συμπεριλαμβάνουν πολλά διαφορετικά και ταυτόχρονα ιδιαίτερα πολύπλοκα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού.

Το ενδοθήλιο και οι κύριες λειτουργίες του

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα επίπεδα υδάτωσης επηρεάζουν σημαντικά την καρδιαγγειακή λειτουργία. Παράλληλα έχει αποδειχτεί από πλήθος ερευνών ότι και το ενδοθήλιο διαδραματίζει ιδιαίτερα κρίσιμο ρόλο της διατήρησης της καρδιαγγειακής ομοιόστασης και της εύρυθμης καρδιαγγειακής λειτουργίας, ενώ παράλληλα η δυσλειτουργία

του, έχει αναγνωριστεί ως ένας ισχυρός προγνωστικός παράγοντας πρόκλησης της αθηροσκλήρωσης και της μετέπειτα εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων (186, 187).

Οι αρτηρίες αποτελούνται από τρεις χιτώνες: τον έσω, το μέσο και τον έξω. Ο έσω χιτώνας έρχεται σε επαφή με το αρτηριακό αίμα και αποτελεί ένα φραγμό στην είσοδο ουσιών και κυττάρων, ενώ περιβάλλεται από ένα λεπτό στρώμα ενδοθηλιακών κυττάρων τα οποία προσκολλώνται επάνω σε στρώμα συνδετικού ιστού. Ο μέσος χιτώνας διαθέτει πολλαπλά στρώματα λείων μυϊκών ινών, τα οποία διαχωρίζονται με ίνες κολλαγόνου και ελαστικές ίνες τις οποίες συνθέτει. Ανάμεσα στον έσω και στον μέσο χιτώνα, όπως επίσης ανάμεσα στον μέσο και στον έξω υπάρχει μια ελαστική μεμβράνη (188).

Τα ενδοθηλιακά κύτταρα έχουν έναν ευρύ ρόλο στον έλεγχο της αγγειακής λειτουργίας. Από τις αρχές του δεκαετίας του 80 και πολύ περισσότερο κατά τη δεκαετία του 90, οι γνώσεις τόσο πάνω στην δομή τους όσο και στην λειτουργία τους έχει μετατοπίσει το ρόλο τους από μια παθητική μεμβράνη σε έναν πολύπλοκο ιστό με πολύπλοκες ιδιότητες σε όλες τις πλευρές της αγγειακής ομοιόστασης. Το ενδοθήλιο έχει συνολική επιφάνεια 350 m², βάρος 1,5 kg, αποτελείται από κύτταρα συνδεδεμένα μεταξύ τους με συμπαγείς δομές ή κυτταρικούς κόμβους και καλύπτει το εσωτερικό όλων των αγγείων (189). Συγκεκριμένα, η εντόπιση των ενδοθηλιακών κυττάρων στην επιφάνεια του έσω χιτώνα, στο σημείο δηλαδή της επαφής του αίματος με τον εκάστοτε ιστό, τα καθιστά ιδιαίτερος ευαίσθητα σε τυχόν αλλαγές της σύνθεσης του αίματος και της αιματικής ροής, με αποτέλεσμα να παίζουν έναν κεντρικό ρόλο στους βασικούς μηχανισμούς ανάπτυξης αγγειακών δυσλειτουργιών, όπως η θρόμβωση.

Τα ενδοθηλιακά κύτταρα συμμετέχουν επίσης και σε ποικίλες φυσιολογικές και παθολογικές διαδικασίες λειτουργώντας ως ενδοκρινή κύτταρα, εκκρίνοντας ένα μεγάλο αριθμό ουσιών, οι οποίες ρυθμίζουν τον αγγειακό τόνο μέσω της παραγωγής και της έκκρισης αγγειοσυσταλτικών και αγγειοδιασταλτικών ουσιών, τον πολλαπλασιασμό των λείων μυϊκών ινών που οδηγεί στον σχηματισμό και την αναδιαμόρφωση του αγγειακού τοιχώματος, γνωστή και ως αγγειογένεση, στην πήξη και στην ινωδόλυση αλλά και σε μια πληθώρα φλεγμονωδών αντιδράσεων μέσω της παραγωγή αυξητικών παραγόντων (190).

Ενδοθήλιο και διατροφή

Τα τελευταία χρόνια, πλήθος ερευνών έχει ασχοληθεί με τη συσχέτιση της διατροφής και της ενδοθηλιακής λειτουργίας και δυσλειτουργίας. Ο τρόπος με τον οποίο συστατικά της διατροφής μπορούν να επηρεάσουν θετικά αλλά και αρνητικά την ενδοθηλιακή λειτουργία είναι μεγάλης

σημασίας μιας και μπορεί να οδηγήσει στην πρόληψη ή και στην αναστολή της ανάπτυξης αθηρωματικών βλαβών.

Από τις πρώτες μελέτες οι οποίες δημοσιεύτηκαν, ήταν οι μελέτες που εξέταζαν την πιθανή σχέση των λιπών με την ενδοθηλιακή λειτουργία. Έχει βρεθεί λοιπόν, χαμηλή συχνότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων σε περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή πρόσληψη ψαριών από τους κατοίκους τους, τρόφιμα τα οποία είναι πλούσια σε ω-3 λιπαρά οξέα, γεγονός που αποδεικνύει την προστατευτική επίδραση τους ενάντια στην αθηροσκλήρωση. Πιο συγκεκριμένα, τα ω-3 λιπαρά οξέα φαίνεται ότι μειώνουν την έκφραση των μορίων προσκόλλησης στην επιφάνεια του ενδοθηλίου, περιορίζοντας έτσι την κύλιση και την προσκόλληση των λευκοκυττάρων στο ενδοθήλιο, ενώ παράλληλα αυξάνουν την παραγωγή NO, συμβάλλοντας τελικά στην «χαλάρωση» των αγγείων (191). Από την άλλη τα ω-6 λιπαρά οξέα όπως το λινελαϊκό οξύ φαίνεται να είναι αθηρογόνα, προκαλώντας τραυματισμό των ενδοθηλιακών κυττάρων, παρεμβαίνοντας στην ικανότητα τους να λειτουργούν ως φραγμός και επιτρέποντας έτσι τη διείσδυση των LDL λιπο-πρωτεϊνών διαμέσου αυτών με μεγάλη ευκολία στα τοιχώματα του αγγείου, ξεκινώντας με αυτό τον τρόπο την αθηρωματική διαδικασία (192). Τέλος, βρέθηκε ότι και η υψηλή κατανάλωση trans-λιπαρών οξέων σχετίζεται με μια κατακόρυφη αύξηση των επίπεδων στο πλάσμα δεικτών φλεγμονής και ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας όπως η CRP, IL- 6, TNFα, ICAM- 1, VCAM- 1, E-selectin σε επίπεδα του 73%. Συνεπώς, τα trans λιπαρά οξέα επηρεάζουν δυσμενώς τη λειτουργία του ενδοθηλίου, η οποία μπορεί να εξηγήσει εν μέρει και τη σύνδεση αυτών των λιπαρών οξέων με τον κίνδυνο καρδιαγγειακής νόσου (193).

Η σχέση των υδατανθράκων με την ενδοθηλιακή λειτουργία φαίνεται να είναι πιο πολύπλοκη, μιας και τα αποτελέσματα για την επίδραση των υδατανθράκων είναι αντικρουόμενα. Από την μία πλευρά, μελέτες δείχνουν ότι η μεταγευματική ενδοθηλιακή λειτουργία δεν επηρεάζεται από την κατανάλωση μια δίαιτας υψηλής σε υδατάνθρακες (194). Από την άλλη πλευρά όμως υπάρχουν μελέτες που δείχνουν ότι η μεταγευματική υπεργλυκαιμία προκαλεί οξεία ενδοθηλιακή δυσλειτουργία με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής NO από τα ενδοθηλιακά κύτταρα (195).

Παρόλα αυτά, επειδή τα τρόφιμα δεν καταναλώνονται μεμονωμένα και φαίνεται να έχουν άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ τους, οι κοινές επιδράσεις των θρεπτικών συστατικών είναι μεγαλύτερες από τις επιδράσεις των μεμονωμένων συστατικών των τροφίμων. Συνεπώς έχει μεγάλη σημασία η μελέτη της σχέσης μεταξύ διαφόρων διαιτητικών μοντέλων και ενδοθηλιακής λειτουργίας. Στην πολυεθνική μελέτη της αθηροσκλήρωσης (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis, MESA)

εξετάστηκε η σχέση τεσσάρων διαιτητικών μοντέλων με βιοχημικούς δείκτες φλεγμονής (CRP, IL-6) και ενδοθηλιακής δυσλειτουργίας (ICAM-1, E- σελεκτίνη) σε 5046 εθελοντές (196). Το πρώτο διαιτητικό μοντέλο, το οποίο χαρακτηριζόταν από υψηλή κατανάλωση λίπους και επεξεργασμένου κρέατος σχετίστηκε θετικά με τους παραπάνω βιοχημικούς δείκτες. Χαρακτηριστικό δε είναι το γεγονός ότι τα άτομα που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία παρουσίαζαν επίσης υψηλότερο δείκτη μάζας σώματος. Η δεύτερη ομάδα ατόμων, η οποία χαρακτηριζόταν από υψηλή κατανάλωση φασολιών, δημητριακών, τυροκομικών με υψηλά λιπαρά και κόκκινου κρέατος παρουσίαζε επίσης υψηλή συσχέτιση με αυτούς τους δείκτες και ιδιαίτερα με το ICAM-1. Από την άλλη πλευρά, οι άλλες δυο ομάδες ατόμων που χαρακτηρίζονταν αντίστοιχα από υψηλή κατανάλωση ολικής αλέσεως δημητριακών, φρούτων, λαχανικών και ψαριών (Μεσογειακή διατροφή) σχετίστηκαν αρνητικά με τους παραπάνω δείκτες. Τα παραπάνω ευρήματα συμφωνούν και με τη μελέτη από τον Esposito και τους συνεργάτες του, οι οποίοι επίσης απέδειξαν τα ευεργετικά οφέλη της μεσογειακής δίαιτας στην ενδοθηλιακή λειτουργία και στη μείωση της συστηματικής αγγειακής φλεγμονής (197).

Τέλος, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον γύρω από τη σχέση συγκεκριμένων συστατικών διαφόρων ροφημάτων και τη λειτουργία του ενδοθηλίου. Πιο συγκεκριμένα, η καφεΐνη, μια αγγειοσυσταλτική ουσία, η οποία βρίσκεται σε υψηλή περιεκτικότητα στον καφέ και στα ενεργειακά ποτά φαίνεται να ασκεί μια οξεία δυσμενή επίδραση στην λειτουργία του ενδοθηλίου, αναστέλλοντας πιθανώς την παραγωγή NO και προάγοντας το οξειδωτικό στρες (198). Η αιθανόλη δε, κύριο συστατικό των αλκοολούχων ποτών έχει αποδειχτεί ότι έχει διπλό ρόλο. Χαρακτηριστικά, όταν καταναλώνεται σε μικρές ποσότητες αυξάνει τη σύνθεση του NO και προκαλεί αγγειοδιαστολή, ενώ σε μεγάλες ποσότητες δρα προ-οξειδωτικά προκαλώντας καταστροφή του NO και δυσλειτουργία των αγγείων (199). Τέλος, τα φλαβονοειδή, μια κατηγορία ουσιών που υπάρχουν σε ροφήματα όπως το κρασί και το τσάι, έχει δείχτεί ότι συνηγορούν σημαντικά στη βελτίωση της λειτουργία του ενδοθηλίου και κατ' επέκταση μειώνουν τον κίνδυνο για ανάπτυξη καρδιαγγειακών νοσημάτων (200-202).

Από τα παραπάνω τονίζεται η σημασία της εύρυθμης λειτουργίας του ενδοθηλίου για την ομαλή καρδιαγγειακή λειτουργία και η επίδραση που φαίνεται πως έχουν πάνω σε αυτό, η κατανάλωση συγκεκριμένων μακρο-θρεπτικών στοιχείων, διαιτητικών μοντέλων, καθώς και συγκεκριμένων συστατικών διαφόρων ποτών.

Η σχέση μεταξύ: επιπέδων υδάτωσης του οργανισμού, ενδοθηλιακής και καρδιαγγειακής λειτουργίας δεν έχει μελετηθεί επαρκώς σύμφωνα με τα υπάρχοντα ερευνητικά δεδομένα και

πιθανώς κάποιος μηχανισμός στην προαναφερθείσα αλυσίδα να υπάρχει, ο οποίος χρήζει ξεχωριστής μελέτης.

ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Παρά την εκτεταμένη έρευνα η οποία έχει πραγματοποιηθεί στο τομέα των επιπέδων υδάτωσης και στην επίδραση που η οποιαδήποτε είδους μεταβολή αυτών έχει στην υγεία και στην αθλητική απόδοση, φαίνεται ότι υπάρχουν αρκετά ερωτήματα τα οποία παραμένουν αναπάντητα.

Πιο συγκεκριμένα, έρευνες οι οποίες να αξιολογούν τα επίπεδα υδάτωσης σε μεγάλο αριθμό αθλητών, διαφορετικών αθλημάτων απουσιάζουν από τη βιβλιογραφία. Ειδικότερα, υπάρχει έλλειψη μελετών οι οποίες να εξετάζουν τα επίπεδα υδάτωσης σε έναν πολύ σημαντικό αλλά ελάχιστα μελετημένο πληθυσμό, όπως είναι τα παιδιά και ιδιαίτερα σε «πραγματικές» συνθήκες, εκτός εργαστηρίου.

Επιπλέον η μείωση των επιπέδων υδάτωσης έχει αποδειχτεί ότι επηρεάζει άμεσα την καρδιαγγειακή λειτουργία κατά τη διάρκεια της άσκησης. Από μεγάλες επιδημιολογικές μελέτες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, φαίνεται να υπάρχει επίσης σχέση μεταξύ των επιπέδων υδάτωσης και των καρδιαγγειακών παθήσεων. Παράλληλα, γνωρίζοντας τον ιδιαίτερο ρόλο του ενδοθηλίου στην καρδιαγγειακή λειτουργία φαντάζει πιθανό να υπάρχει ένας μηχανισμός ο οποίος να συνδέει τα επίπεδα υδάτωσης, τη λειτουργία του ενδοθηλίου και κατ' επέκταση τη συνολική καρδιαγγειακή λειτουργία, ιδιαίτερα κρίσιμος για την υγεία και ο οποίος δεν έχει επαρκώς μελετηθεί.

Τέλος, αναφέρθηκε αναλυτικά, η σημασία που φαίνεται πως έχει η διέγερση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων στην αίσθηση της δίψας και την αθλητική απόδοση. Οι έρευνες μέχρι σήμερα καταλήγουν σε αποτελέσματα που είναι αντικρουόμενα, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση της σημασίας των συγκεκριμένων υποδοχέων.

Με βάση τα παραπάνω κενά τα οποία εντοπίζονται στο θέμα των επιπέδων υδάτωσης και των επιδράσεων των μεταβολών αυτών στις λειτουργίες του οργανισμού, οι στόχοι της παρούσας διατριβής μπορούν να συνοψιστούν στους εξής:

1. Να εξεταστεί η συχνότητα εμφάνισης της αφυδάτωσης σε νεαρούς αθλητές διαφόρων αθλημάτων και να αναζητηθούν τυχόν σχέσεις μεταξύ επιπέδων υδάτωσης και κατανάλωσης υγρών λόγω του αισθήματος της δίψας.

2. Να μελετηθεί η επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στη λειτουργία του ενδοθηλίου και κατ' επέκταση στην καρδιαγγειακή λειτουργία.

3. Να προσδιοριστεί ο ρόλος των υποδοχέων της στοματικής κοιλότητας και του φάρυγγα στην επίδραση της πρόσληψης υγρών στην αθλητική απόδοση.

Με βάση λοιπόν τους στόχους οι οποίοι εκτέθηκαν παραπάνω, η παρούσα διατριβή μπορεί να υποδιαιρεθεί στις ακόλουθες μελέτες:

1η Μελέτη: Η κατά βούληση πρόσληψη υγρών δεν προλαμβάνει την αφυδάτωση σε υπό-υδατωμένους νεαρούς ποδοσφαιριστές κατά την παραμονή τους σε καλοκαιρινό αθλητικό καμπ.

Εισαγωγή

Είναι αποδεδειγμένο ότι απώλειες υγρών της τάξεως του 2% της συνολικής σωματικής μάζας μειώνουν σημαντικά την απόδοση σε άσκηση αντοχής, τόσο σε μελέτες εργαστηρίου (75, 167) όσο και σε μελέτες πεδίου (171, 172), καθώς και την πνευματική απόδοση υπό ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες (159, 166, 203).

Η πλειοψηφία των μελετών έχει πραγματοποιηθεί με τη συμμετοχή προπονημένων ενήλικων οι οποίοι ασκούνται στη ζέστη, ενώ αντιθέτως, λίγα είναι τα δεδομένα τα οποία αναφέρονται σε παιδιά που ασκούνται υπό παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπρόσθετα είναι ακόμα πιο περιορισμένος ο αριθμός των ερευνών οι οποίες να έχουν εξετάσει τα επίπεδα υδάτωσης παιδιών σε ελεύθερες (εκτός εργαστηρίου) συνθήκες (93, 94). Είναι αποδεκτό λοιπόν ότι η κατάσταση υδάτωσης των παιδιών σε ελεύθερες συνθήκες δεν έχει μελετηθεί συστηματικά. Σε μια πρόσφατη δουλειά του McDermott και των συνεργατών του, φάνηκε ότι τα παιδιά έφταναν σε ένα ποδοσφαιρικό καμπ αφυδατωμένα και παρέμεναν σε αυτή την κατάσταση υδάτωσης σε όλη τη διάρκεια παραμονής τους (96). Ομοίως, η Decher και οι συνεργάτες της παρατήρησαν ότι πάνω από τους μισούς συμμετέχοντες στη μελέτη παρέμεναν αφυδατωμένοι κατά την παραμονή τους σε ένα αθλητικό καμπ, παρά την βελτίωση στις γνώσεις τους περί υδάτωσης, μέσω ερωτηματολογίου (95). Στη συγκεκριμένη μελέτη, η βελτίωση στη γνώση σχετικά με τα επίπεδα υδάτωσης δεν οδήγησε και σε βελτιωμένα επίπεδα υδάτωσης. Τέλος, σε μια μελέτη από τον Κάβουρα και τους συνεργάτες του η οποία έλαβε χώρα σε ένα αθλητικό καμπ, έδειξε ότι ένα απλό παρεμβατικό πρόγραμμα οδήγησε στη βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης ασκούμενων παιδιών σε μόλις δύο ημέρες. Η συγκεκριμένη βελτίωση, μέσω της κατά βούληση πρόσληψης νερού, οδήγησε επίσης και σε μια σημαντική αύξηση της απόδοσης σε ένα τεστ αντοχής. Παρόλα αυτά είναι άξιο αναφοράς το γεγονός ότι, παρόλη την κατά 25% μείωση της επικράτησης της αφυδάτωσης, ένα ποσοστό κοντά στο 60% των παιδιών παρέμεινε αφυδατωμένο (115). Η τελευταία παρατήρηση προτείνει ότι η δίψα δεν οδήγησε τα παιδιά σε επιτυχή αναπλήρωση των απωλειών τους σε υγρά.

Το ποδόσφαιρο είναι με διαφορά το πιο δημοφιλές άθλημα ειδικά για τη νεολαία. Αποτελείται από μέτριας έντασης διαστήματα τα οποία εναλλάσσονται με μέγιστης έντασης ξεσπάσματα,

οδηγώντας σε αυξημένη μεταβολική παραγωγή θερμότητας. Είναι αποδεδειγμένο ότι σημαντικότερες απώλειες υγρών παρατηρούνται σε ποδοσφαιριστές στην προπόνηση και στους αγώνες, με μία αναλογική αύξηση της παραγωγής ιδρώτα σύμφωνα με την αύξηση της θερμοκρασίας (109-112, 204). Επιπροσθέτως, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα έδειξαν σημαντικές απώλειες υγρών σε ποδοσφαιριστές, ακόμα και όταν νερά ή αθλητικά ποτά παρέχονταν σε αφθονία; Υποδεικνύοντας το φαινόμενο της ακούσιας αφυδάτωσης (114).

Ο σκοπός λοιπόν της παρούσας μελέτης ήταν διπλός: 1) να εξετάσει τα επίπεδα υδάτωσης των νεαρών ποδοσφαιριστών πριν την έναρξη των προπονήσεων και 2) να εκτιμήσει την υδατική ισορροπία του σώματος μετά από την προπόνηση σε σχέση με την κατά βούληση κατανάλωση νερού.

Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες

Εξεταζόμενοι

Εκατόν-επτά νεαροί ποδοσφαιριστές (ηλικία: 13 ± 2 έτη, βάρος: 52.2 ± 8.5 κιλά, ύψος: 1.58 ± 0.08 m) συμμετείχαν στην μελέτη. Κάθε εθελοντής ήταν ενήμερος για τις πειραματικές διαδικασίες και οι γονείς του καθενός υπέγραψαν το συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής. Η μελέτη είχε την έγκριση από την Επιτροπή Βιοηθικής του Πανεπιστημίου και πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη Διακήρυξη του Ελσίνκι. Κριτήρια αποκλεισμού για τη συμμετοχή στη μελέτη ήταν η απουσία οποιασδήποτε μεταβολικής, καρδιαγγειακής, και νεφρικής πάθησης ή οποιοδήποτε ιστορικό θερμικών βλαβών. Όλοι οι συμμετέχοντες ήταν νεαροί ποδοσφαιριστές οι οποίοι δεν έπαιρναν καμία φαρμακευτική αγωγή κατά τη διάρκεια του πειράματος η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει την υδατική ή ηλεκτρολυτική ισορροπία.

Πειραματικός Σχεδιασμός

Με στόχο την καταγραφή της επικράτησης της αφυδάτωσης, τα επίπεδα υδάτωσης των συμμετεχόντων προσδιορίστηκαν με βάση τα πρώτα πρωινά ούρα. Εβδομήντα δύο από τους 107 εθελοντές συμφώνησαν να υποστούν επιπλέον μετρήσεις για 2 ακόμη διαφορετικές προπονητικές ημέρες. Εν προκειμένω, κάθε παιδί ελέγχτηκε δύο φορές, μία το πρωί (1^η πρωινά ούρα) και μετά από το τέλος της προπόνησης.

Το πρόγραμμα του καμπ είχε ως εξής: Στις 0800, αμέσως μετά το ξύπνημα, τα πρώτα πρωινά ούρα μαζεύονταν και στη συνέχεια καταγραφόταν το αρχικό βάρος των εθελοντών (με τα

εσώρουχα) σε ζυγό ακριβείας με απόκλιση 100γρ (Seca, model: 7701321004, Vogel & Ambourgo, Γερμανία). Στη συνέχεια ακολουθούσε το πρωινό το οποίο αποτελούταν από 1 κούπα γάλα με 50γρ δημητριακών και 1 φέτα λευκό ψωμί του τοστ με μέλι και βούτυρο. Η προπόνηση άρχιζε στις 1000 και η συνολική της διάρκεια ήταν 90 λεπτά. Το πρόγραμμα περιελάμβανε 15 λεπτά προθέρμανσης (10 λεπτά τρέξιμο και 5 λεπτά διατάσεις) και στη συνέχεια ακολουθούσαν τρία παιχνίδια (οχτώ εναντίον οχτώ, τέσσερις εναντίον τέσσερις και δύο εναντίον δύο). Κάθε προπόνηση επίσης περιελάμβανε τρία 5λεπτα διαλείμματα για ενυδάτωση κατά τα οποία τα παιδιά είχαν άμεση πρόσβαση σε εμφυαλωμένα νερά δίπλα στο γήπεδο. Η ομάδα των ερευνητών δεν ενθάρρυνε τα παιδιά για να ενυδατωθούν σε κανένα σημείο της διαδικασίας. Μετά το τέλος της προπόνησης γινόταν άμεση ανάλυση για το ειδικό βάρος και το χρώμα των ούρων και καταγραφόταν το βάρος (με τους ποδοσφαιριστές να φοράνε μόνο τα εσώρουκά τους) μετά την προπόνηση. Τις ημέρες των μετρήσεων η θερμοκρασία και η υγρασία περιβάλλοντος ήταν $27.2 \pm 2.9^{\circ}\text{C}$ και $57 \pm 9\%$, αντίστοιχα. Οι στατιστικές συγκρίσεις μεταξύ των τιμών θερμοκρασίας για τις 2 μέρες, δεν έδειξε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά.

Ανάλυση ούρων: Τα δείγματα ούρων αναλύονταν για το χρώμα συγκρίνοντας πλάι-πλάι το δείγμα με την κλίμακα χρώματος ούρων (56, 65). Η εκτίμηση γινόταν όλες τις φορές από το ίδιο άτομο, το οποίο στεκόταν σε ένα καλά φωτισμένο δωμάτιο (θερμοκρασία χώρου: $20-22^{\circ}\text{C}$) με το δείγμα εντός ενός καθαρού διάφανου σωλήνα. Το ειδικό βάρος των ούρων προσδιορίστηκε με τη βοήθεια επιτραπέζιου διαθλασίμετρου (Clinical Refractometer, Euromex Rf 460, Euromex Microscopes Ltd, Utrechtseweg 250, Arnhem, Holland) εις διπλούν. Οι νεαροί αθλητές κατατάχτηκαν ως αφυδατωμένοι ή ενυδατωμένοι σύμφωνα με τα κριτήρια υδάτωσης ($\text{USG} < 1.020$) που προτείνονται για τους ενήλικες από το Αμερικάνικο Κολλέγιο Αθλητιατρικής (12).

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι ± 1 τυπική απόκλιση για συνεχείς μεταβλητές, όπως και ως απόλυτες και σχετικές συχνότητες. Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών USG πριν την άσκηση και των αλλαγών του σωματικού βάρους προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια διαγράμματος διασποράς. Ενώ και μια ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης προσαρμόστηκε στο γράφημα. Η κατανομή των συμμετεχόντων σύμφωνα με τις τιμές του USG παρουσιάζεται με τη χρήση ιστογράμματος. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε μέσω στατιστικού προγράμματος SPSS 19.0 και η στατιστική σημαντικότητα ορίστηκε ως .05.

Αποτελέσματα

Ο προσδιορισμός των επιπέδων υδάτωσης έδειξε ότι σύμφωνα με τα κριτήρια για το USG, το 88.7% (95 από τα 107) των παιδιών ήταν αφυδατωμένα βάσει των πρώτων πρωινών ούρων. Ομοίως, βάσει της κλίμακας του χρώματος των ούρων, το 93.7% (100 από τα 107) ήταν αφυδατωμένο (σχήμα 1.1).

Η μέτρηση των ούρων πριν την προπόνηση της 1^{ης} ημέρας έδειξε ότι μόλις το 8.4% των παιδιών ήταν ενυδατωμένα. Ενώ για τη 2^η προπονητική ημέρα, μόλις το 12.5 % ήταν ενυδατωμένο. Αντιστοίχως, οι τιμές μετά την προπόνηση για τις 2 προπονητικές μέρες έδειξαν ότι σε αφυδατωμένη κατάσταση ($USG \geq 1.020$) βρισκόταν το 95.8% και το 97.2% των παιδιών αντίστοιχα. Παρά την άφθονη διάθεση υγρών, η μέση απώλεια βάρους ήταν -0.35 ± 0.04 kg μετά την 1^η προπονητική συνεδρία και -0.22 ± 0.03 kg μετά την 2^η (πίνακας 1.1). Είναι αξιοσημείωτο ότι τα 54 από τα 66 παιδιά (81.8 %) με $USG \geq 1.020$ πριν την άσκηση, μείωσαν περαιτέρω το βάρος τους μετά την 1^η προπονητική ημέρα, ενώ αντίστοιχα, 47 από τα 63 αφυδατωμένα παιδιά (74.6%) επίσης μείωσαν κι άλλο το βάρος τους μετά τη 2^η προπόνηση.

Η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του USG πριν την άσκηση και των μεταβολών του σωματικού βάρους δεν έδειξε καμία σημαντική σχέση ($p > 0.05$) (σχήμα 1.2). Τέλος, τα πολύ υψηλά ποσοστά των αφυδατωμένων νεαρών ποδοσφαιριστών, με βάση της τιμές του ειδικού βάρους των ούρων, αποτυπώνονται και στο σχήμα 1.3.

Σχολιασμός-Συμπεράσματα

Σκοποί της παρούσας μελέτης ήταν πρώτον, να εκτιμηθούν τα αρχικά επίπεδα υδάτωσης νεαρών αθλητών που συμμετέχουν σε ένα αθλητικό καμπ και δεύτερον, να εκτιμηθεί η υδατική ισορροπία του σώματος μετά από 2 προπονήσεις, σε σχέση με την κατά βούληση κατανάλωση νερού. Το κύριο εύρημα που προκύπτει από την παρούσα έρευνα είναι ότι η συντριπτική πλειοψηφία των παιδιών ήταν αφυδατωμένα, αλλά και ότι παρέμεναν αφυδατωμένα και κατά τη διάρκεια της παραμονής τους. Επιπρόσθετα, οι αθλητές που ξεκινούσαν την προπόνηση αφυδατωμένοι, αφυδατωνόντουσαν ακόμη περισσότερο κατά την προπόνηση, παρά την άφθονη διαθεσιμότητα νερού στον χώρο.

Τα υψηλά επίπεδα αφυδάτωσης που συναντήσαμε στην μελέτη είναι σε συμφωνία με άλλες μελέτες (88, 95, 96). Το 2006 η Stover και οι συνεργάτες της βρήκαν συνεχείς αυξημένες αρχικές τιμές USG σε νεαρούς ποδοσφαιριστές, με αποτέλεσμα οι αθλητές να παίρνουν μέρος στην προπόνηση αφυδατωμένοι (88). Πιο πρόσφατα βρέθηκε ότι τα παιδιά σε ένα ποδοσφαιρικό καμπ προσήλθαν αφυδατωμένα, και παρέμειναν σε όλη τη διάρκεια του καμπ (96). Είναι ενδιαφέρον να επισημανθεί ότι σύμφωνα με την Decher και τους συνεργάτες της, ότι πάνω από το 50% των 67 παιδιών που συμμετείχαν σε ένα αθλητικό καμπ, παρότι γνώριζαν εάν κάνανε «καλή» ή «κακή» δουλειά σχετικά με την υδάτωσή τους, μέσω ειδικού ερωτηματολογίου που κλήθηκαν να συμπληρώσουν, παρέμειναν αφυδατωμένα (95). Ομοίως σε μελέτη που δημοσιεύτηκε από το εργαστήριό μας, ~60% των συμμετεχόντων παιδιών παρέμεινε αφυδατωμένο ακόμη και μετά την συμμετοχή τους σε ένα παρεμβατικό πρόγραμμα παρέμβασης περί υδάτωσης και παρόλο που είχαν σκορ 9.0 ± 1.9 στα 10 στο ερωτηματολόγιο υδάτωσης που συμπλήρωσαν (115). Προφανώς και στις δύο προαναφερθείσες μελέτες, φαίνεται ότι τα παιδιά αδυνατούσαν να μετουσιώσουν τη γνώση τους περί υδάτωσης σε επιτυχημένες στρατηγικές υδάτωσης. Τα συγκεκριμένα στοιχεία αποδεικνύουν ότι οι γνώσεις για τη σημασία της υδάτωσης από μόνη της δεν φαίνεται να είναι ικανή για να αλλάξει τη διατροφική συμπεριφορά. Συνεπώς, διαρκείς προσπάθειες θα πρέπει να γίνονται από προπονητές, και αθλητές με στόχο την ενίσχυση της υδάτωσης.

Τα υψηλά επίπεδα αφυδάτωσης που καταγράφηκαν μεταξύ των παιδιών, παρόλη την απρόσκοπτη πρόσβαση σε νερά, καταδεικνύουν ένα φαινόμενο το οποίο έχει περιγραφεί ως ακούσια αφυδάτωση. Είναι αξιοσημείωτο ότι ακόμα και σε αθλήματα που πραγματοποιούνται σε κλειστούς χώρους όπως η καλαθοσφαίριση, όπου υπάρχουν περισσότερες δυνατότητες για να πει κάποιος λόγω της εγγύτητας στα υγρά και του μεγαλύτερου αριθμού διαλλειμάτων, το φαινόμενο της ακούσιας αφυδάτωσης είναι σύνηθες (85). Επίσης, στοιχεία από ποδοσφαιριστές υψηλού επιπέδου καταδεικνύουν ότι ακόμα και επαγγελματίες ποδοσφαιριστές δεν πίνουν επαρκώς για να καλύψουν τις απώλειές τους μέσω εφίδρωσης (109). Αυτή η παρατήρηση είναι κοινή ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών (110, 111) και είναι επίσης παρούσα σε προπονητικές περιόδους προετοιμασίας (112) αλλά και εντός της αγωνιστικής περιόδου (113).

Τα υψηλότερα ποσοστά που κατατάσσουν τους νεαρούς αθλητές ως σοβαρά αφυδατωμένους (σχήμα 2.3) εγείρουν ερωτήματα σχετικά με την αξιοπιστία των προτεινόμενων τιμών αναφοράς για την αφυδάτωση (πχ. $USG \geq 1.020$) από διάφορους οργανισμούς (12, 79). Μόλις πριν από λίγους μήνες ο Armstrong και οι συνεργάτες του δημοσίευσαν μια μελέτη η οποία προτείνει τιμές αναφοράς για την ενυδάτωση σε ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες υδάτωσης (ειδικό βάρος ούρων, ωσμωτικότητα ούρων και χρώμα), για ασκούμενους άνδρες οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις προτεινόμενες τιμές (80). Λαμβάνοντας υπόψη και τα δεδομένα από την

παρούσα μελέτη, μπορεί να προταθεί ότι: α) οι συγκεκριμένες τιμές δεν αντιπροσωπεύουν τα πραγματικά επίπεδα υδάτωσης των νεαρών ποδοσφαιριστών και β) ότι η τιμές αναφοράς που χρησιμοποιούνται, δεν είναι αντιπροσωπευτικές για όλες τις ηλικίες.

Σε μια προσπάθεια να προετοιμαστούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι παίκτες της εθνικής ομάδας της Αγγλίας στο χόκεϊ για να αγωνιστούν κάτω από ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες (32°C, 80% υγρασία) η Dabinett και οι συνεργάτες της ανέπτυξαν μια απλή στρατηγική ενυδάτωσης. Συμβούλεψαν τους παίκτες να καταναλώνουν 1L από ένα αθλητικό ποτό 3% σε υδατάνθρακες αμέσως πριν την έναρξη της προπόνησης και μετά με συχνότητα (~250mL κάθε 15 λεπτά) κατά τη διάρκεια της προπόνησης. Η συγκεκριμένη στρατηγική αποδείχτηκε επιτυχής στη διατήρηση καλών επιπέδων υδάτωσης των αθλητών κατά την άσκηση υπό ζεστές περιβαλλοντικές συνθήκες (205). Ομοίως, η Stover και οι συνεργάτες της κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η κατανάλωση 2 μπουκαλιών των 590mL νερού ή αθλητικού ποτού, (το ένα μεταξύ δείπνου και βραδινού ύπνου και το άλλο πριν την πρωινή προπόνηση) είναι μια απλή και αποδοτική μέθοδος με στόχο την βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης νεαρών αθλητών, όπως φαίνεται και από τις τιμές του USG (88). Συμπερασματικά, η ενημέρωση σχετικά με τη σημασία της υδάτωσης, η διευκόλυνση σε πρόσβαση σε υγρά, σε συνδυασμό με απλές, πρακτικές και ρεαλιστικές στρατηγικές υδάτωσης, μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά τους νεαρούς αθλητές που ασκούνται υπό ζεστές συνθήκες.

Η δίψα είναι γνωστό ότι διεγείρεται τόσο από ωσμωτικούς όσο και από πιεσο-υποδοχείς (18). Αναμέναμε ότι τα αφυδατωμένα άτομα θα εμφανίσουν υπερωσμωτική υποβολαιμία, η οποία με τη σειρά της θα διεγείρει τη δίψα. Υποθέσαμε συνεπώς, ότι τα ήδη αφυδατωμένα παιδιά θα διψούσαν ακόμα περισσότερο λόγω άσκησης στη ζέστη και συνεπώς θα καταναλώναν περισσότερα υγρά. Υποθέσαμε επίσης, ότι η κατά βούληση κατανάλωση υγρών στην προπόνηση θα οδηγούσε σε μειωμένη εμφάνιση του φαινομένου της ακούσιας αφυδάτωσης όπως αυτό προσδιορίζεται μέσω μεταβολών στο σωματικό βάρος. Για να το εξετάσουμε αυτό συσχετίσαμε το USG, με τις προκαλούμενες λόγω άσκησης μεταβολές του σωματικού βάρους. Προς μεγάλη έκπληξή μας, βρήκαμε ότι ο βαθμός της προκαλούμενης λόγω άσκησης αφυδάτωσης δεν επηρεάστηκε από το επίπεδο υδάτωσης προ-άσκησης, γεγονός που δείχνει ότι η δίψα δε μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο σημάδι για την πρόληψη περαιτέρω αφυδάτωσης σε ήδη αφυδατωμένα άτομα.

Από την άλλη, έχει προταθεί ότι η μοναδική συμβουλή η οποία χρειάζεται κατά τη διάρκεια της άσκησης στη ζέστη, είναι να πίνει κάποιος ανάλογα με το αίσθημα της δίψας (206-208). Το στοιχείο ωστόσο που προκύπτουν από αυτή τη μελέτη δεν υποστηρίζουν αυτή την άποψη. Το γεγονός ότι τα περισσότερα από τα ήδη αφυδατωμένα παιδιά (81.8% και 74.6% μετά το τέλος των 2 προπονητικών συνεδριών αντίστοιχα) μείωσαν περαιτέρω το σωματικό τους βάρος, παρά

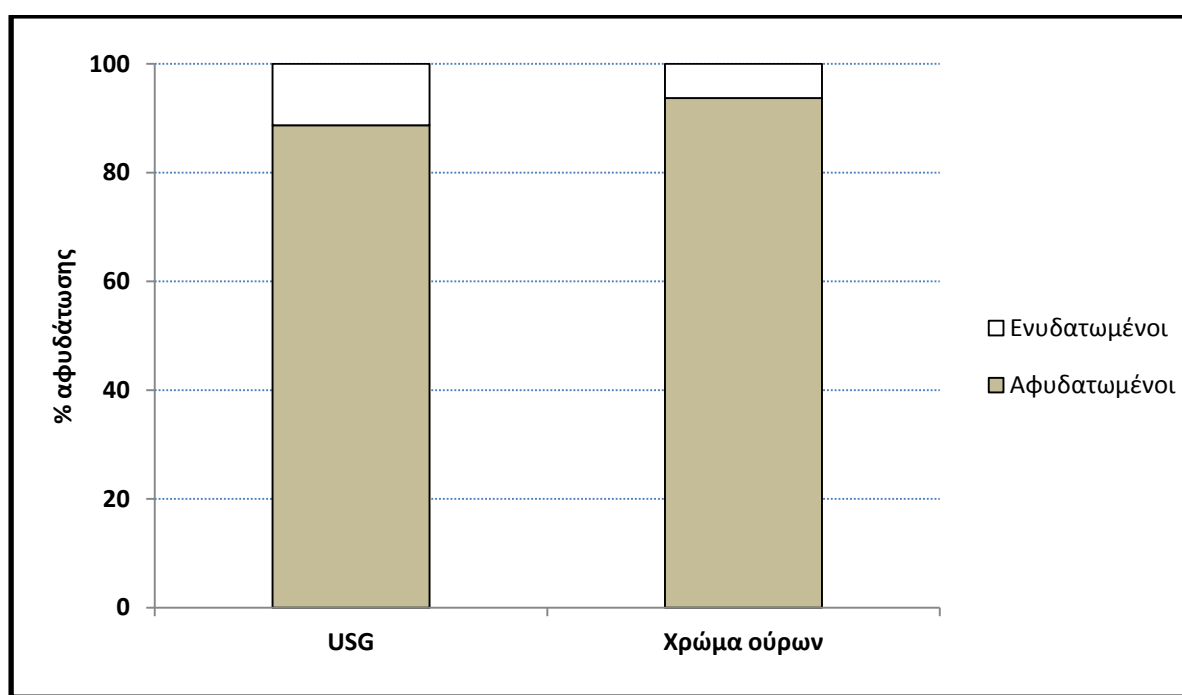
την διαθεσιμότητα υγρών στα γήπεδα, αποδεικνύει ότι η άποψη του να πίνει κάποιος σύμφωνα με τη δίψα του δεν είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος αναπλήρωσης υγρών ούτε για αφυδατωμένους νεαρούς αθλητές. Θα ήταν ενδιαφέρον συνεπώς, να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα ενός εξατομικευμένου πρωτόκολλου ενυδάτωσης, κάτι το οποίο προτείνεται από το Αμερικάνικο Κολλέγιο Αθλητιατρικής, σε σχέση με την κατά βούληση πρόσληψη υγρών, στην αθλητική απόδοση και στη θερμορύθμιση.

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη παρουσιάζει τα υψηλότερα αναφερόμενα ποσοστά επικράτησης της αφυδάτωσης μεταξύ νεαρών αθλητών που συμμετείχαν σε ένα καλοκαιρινό αθλητικό καμπ. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο ότι σχεδόν το 80% των αφυδατωμένων ποδοσφαιριστών, αφυδατώθηκαν ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια της προπόνησης, ανεξαρτήτως της διαθεσιμότητας σε υγρά. Τα συγκεκριμένα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η συμβουλή του να πίνεις σύμφωνα με το αίσθημα της δίψας κατά την προπόνηση, δεν προλαμβάνει την περαιτέρω αφυδάτωση σε υπό-υδατωμένους νεαρούς αθλητές.

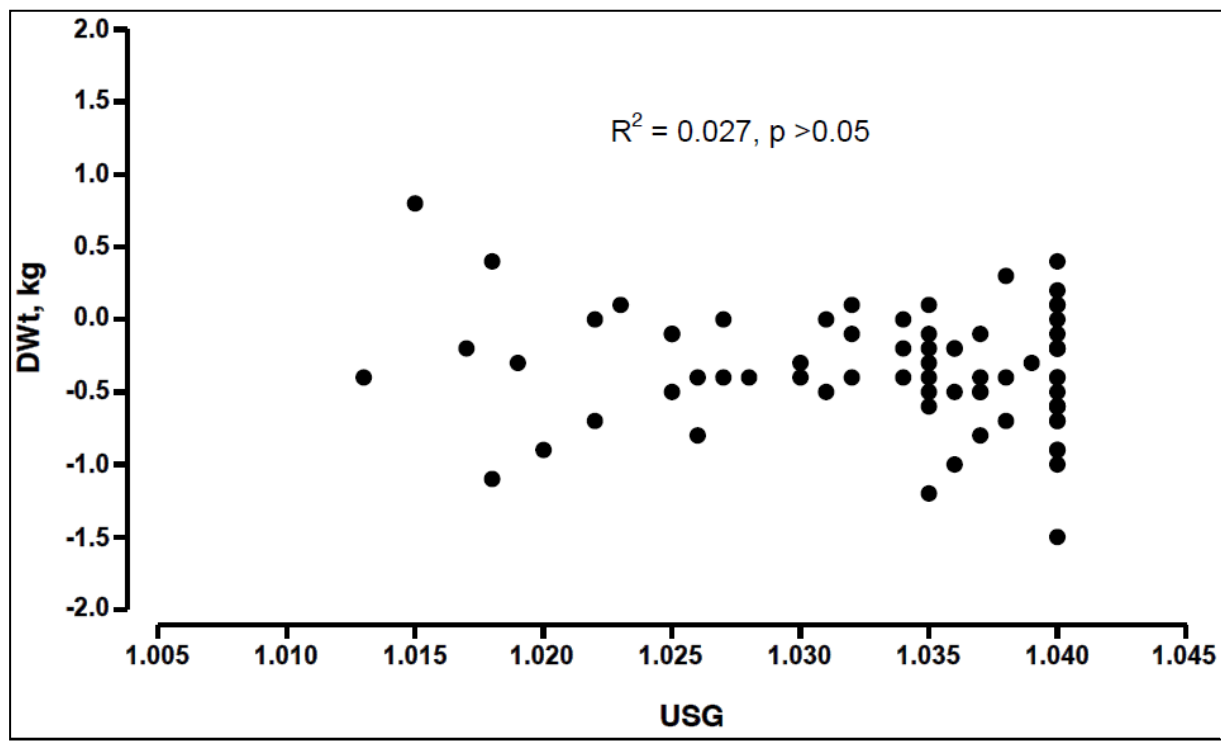
Πίνακες-Γραφήματα

Πίνακας 1.1 Οι μέσες τιμές στο ειδικό βάρος ούρων (USG), στο χρώμα των ούρων, στα ποσοστά αφυδάτωσης, πριν και μετά την προπόνηση και οι μεταβολές του σωματικού βάρους (ΔBW) (κιλά), για την 1^η και 2^η προπονητική ημέρα (n=72).

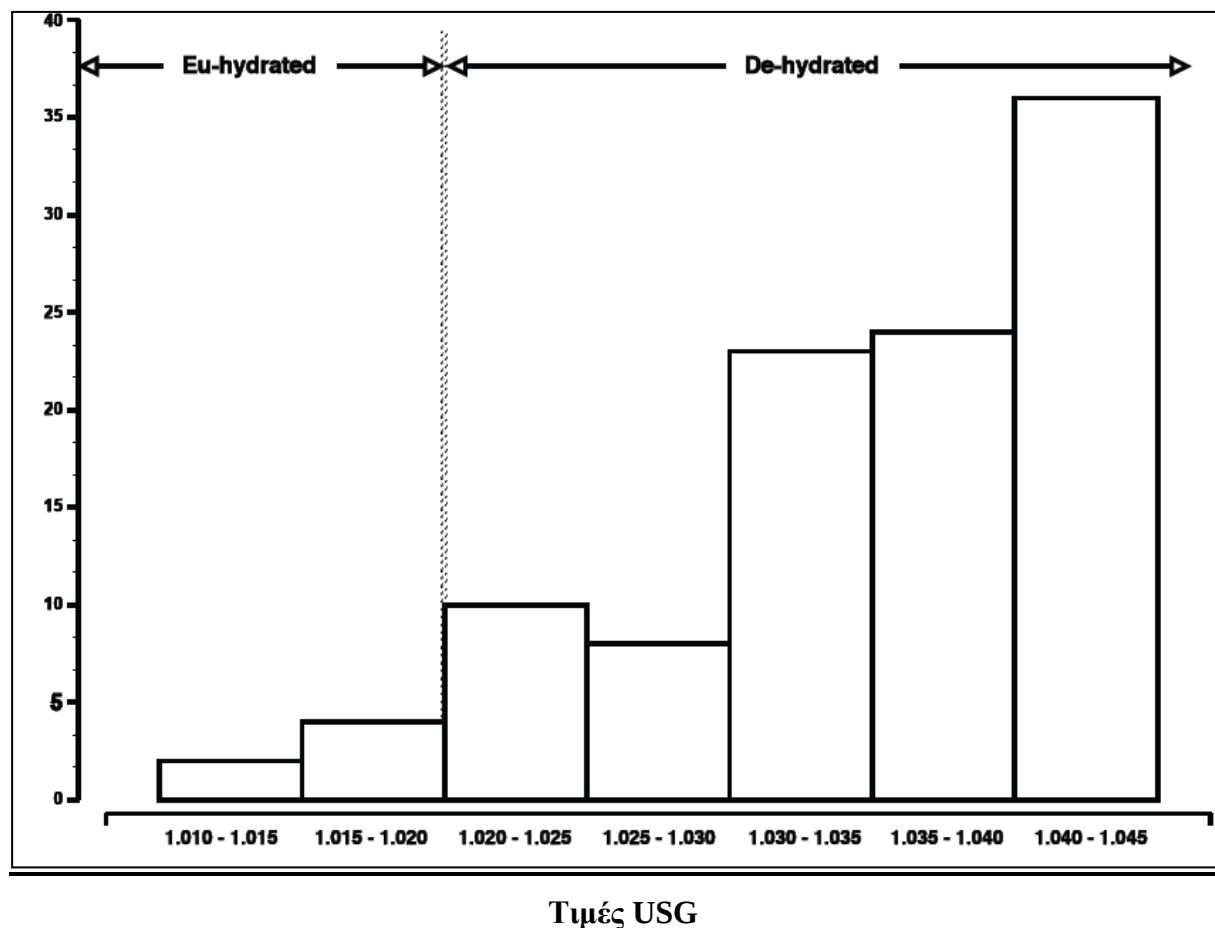
Πριν την προπόνηση			Μετά την προπόνηση			
1 ^η προπονητική ημέρα						
USG	Χρώμα ούρων	% αφυδατωμένων αθλητών	USG	Χρώμα ούρων	% αφυδατωμένων αθλητών	ΔBW
1.033±0.007	5.4±0.11	91.6	1.033±0.005	5.7±0.9	95.8	-0.35±0.04
2 ^η προπονητική ημέρα						
USG	Χρώμα ούρων	% αφυδατωμένων αθλητών	USG	Χρώμα ούρων	% αφυδατωμένων αθλητών	ΔBW
1.031±0.008	5.4±0.12	87.5	1.030±0.006	5.5±0.9	97.2	-0.22±0.03



Σχήμα 1.1. Το επίπεδο υδάτωσης των παιδιών, σύμφωνα με το χρώμα και το ειδικό βάρος των ούρων (USG), βάσει του πρώτου πρωινού δείγματος.



Σχήμα 1.2. Διάγραμμα διασποράς για τη συσχέτιση των τιμών του ειδικού βάρους των ούρων πριν την έναρξη της άσκησης (USG_pre-exercise) και των μεταβολών του σωματικού βάρους (ΔBW).



Σχήμα 1.3. Η κατανομή των συμμετεχόντων βάσει των τιμών του USG.

2η Μελέτη: Η εκπαιδευτική παρέμβαση σχετικά με έμφαση στην πρόσληψη νερού βελτιώνει τα επίπεδα υδάτωσης και ενισχύει την αθλητική απόδοση σε νεαρούς αθλητές

Εισαγωγή

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι η αφυδάτωση της τάξεως του 2% του συνολικού σωματικού βάρους, έχει αρνητικές επιδράσεις στην απόδοση, στη λειτουργία των οργάνων και στην υγεία γενικότερα. Επίσης είναι διαπιστωμένο το γεγονός ότι ακόμα και όταν νερό ή αθλητικά ποτά είναι διαθέσιμα, ανεπαρκής πρόσληψη υγρών κατά την άσκηση υπό ζέστη παρατηρείται, επιφέροντας αρνητικές συνέπειες τόσο στους ενήλικες όσο και στα παιδιά (89, 91). Από παλιότερες μελέτες έχει προταθεί ότι τα παιδιά εμφανίζουν μειωμένη ικανότητα άσκησης στη ζέστη λόγω αυξημένου ποσοστού λίπους, μειωμένης μέγιστης αερόβιας ικανότητας και μειωμένου ρυθμού εφίδρωσης (101-103). Επίσης τα παιδιά όπως και οι ενήλικες, δεν πίνουν αρκετά για να αναπληρώσουν τις απώλειες υγρών κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον, ακόμα και όταν τα υγρά παρέχονται κατά βούληση, φαινόμενο γνωστό ως ακούσια αφυδάτωση (77, 92). Πιο πρόσφατες έρευνες ωστόσο δεν εντοπίζουν διαφορές στη θερμορύθμιση μεταξύ ενήλικων και παιδιών, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα δεδομένα στο συγκεκριμένο πεδίο δεν είναι ξεκάθαρα (107, 209). Επιπροσθέτως, λίγα είναι γνωστά για την ικανότητα άσκησης των παιδιών στη ζέστη. Οι λίγες έρευνες οι οποίες έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα, πραγματοποιήθηκαν σε μη-εγκλιματισμένα παιδιά που δεν ασκούσαν, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (89-92). Επίσης υπάρχει έλλειψη δεδομένων σχετικά με τυχόν σχέση των επιπέδων υδάτωσης των παιδιών και της απόδοσης, σε πραγματικές συνθήκες. Μία πρόσφατη έρευνα από τον McDermott και τους συνεργάτες του έδειξε ότι τα παιδιά έφταναν σε ένα αθλητικό καμπ αφυδατωμένα, διατηρούσαν αυτή την κατάσταση καθ' όλη την παραμονή τους στο χώρο, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσής τους. Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα παρέμβασης που χρησιμοποιήθηκε δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα (96).

Σκοπός της παρούσας μελέτης λοιπόν ήταν να εξεταστεί η επίδραση ενός διατροφικού προγράμματος παρέμβασης με έμφαση στην κατανάλωση νερού στην πρόληψη της αφυδάτωσης και παράλληλα να μελετηθούν εάν τυχόν βελτιώσεις στα επίπεδα υδάτωσης οδηγούν σε παράλληλη βελτίωση στην απόδοση νεαρών αθλητών-τριών.

Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες

Εξεταζόμενοι

Ένα σύνολο 92 αθλητών-τριών της καλαθοσφαίρισης και της πετοσφαίρισης συμμετείχαν στη μελέτη, με τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά τους να παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1. Την 1^η εβδομάδα, 31 παιδιά (αγόρια:13 κορίτσια:18) αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου (CON) και τη 2^η εβδομάδα 61 παιδιά (αγόρια:30 κορίτσια:31) αποτέλεσαν την ομάδα παρέμβασης (INT). Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε 2 συναπτές εβδομάδες σε αθλητικό καμπ. Η μελέτη είχε την έγκριση από την επιτροπή Βιοηθικής του Πανεπιστημίου και όλοι οι εθελοντές και οι γονείς τους αφού ενημερώθηκαν για τη φύση της μελέτης, υπέγραψαν συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής. Όλα τα παιδιά ήταν υγιή, και προπονούνταν σταθερά τουλάχιστον επί 2 χρόνια (3 φορές την εβδομάδα). Ένα ιατρικό ιστορικό χρησιμοποιήθηκε ούτως ώστε να αποκλειστούν συμμετέχοντες με παθήσεις οι οποίες θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα: (i) κλινικά στοιχεία καρδιαγγειακής, αιματολογικής, ηπατικής, πνευμονικής ή ψυχιατρικής πάθησης, (ii) φαρμακευτική αγωγή εντός 2 εβδομάδων από την έναρξη της μελέτης, (iii) αδυναμία συμμετοχής σε ολόκληρη τη διάρκεια της μελέτης.

Πειραματικός Σχεδιασμός

Το καθημερινό πρόγραμμα του καμπ περιελάμβανε μία πρωινή και μία απογευματινή προπόνηση. Το επίπεδο υδάτωσης προσδιοριζόταν το πρωί της 2^{ης} (pre) και της 4^{ης} (post) ημέρας του καμπ βάσει των πρώτων πρωινών ούρων, ενώ παράλληλα γινόταν και καταγραφή του σωματικού βάρους. Μετά από την κατανάλωση συγκεκριμένου πρωινού γεύματος, ακολουθούσε μία σταθερή προθέρμανση αποτελούμενη κυρίως από ελαφρύ τρέξιμο και ορισμένες διατακτικές ασκήσεις. Εν συνεχεία τα παιδιά χωριζόντουσαν σε ομάδες και εκτελούσαν συγκεκριμένα τεστ απόδοσης με τυχαία σειρά: 600μ μέγιστου τρεξίματος, 30μ σπριντ τρέξιμο, κατακόρυφο άλμα και τεστ δεξιότητας στην καλαθοσφαίριση και στην πετοσφαίριση. Το κατακόρυφο άλμα προσδιοριζόταν ως εξής: οι εξεταζόμενοι σημείωναν σε τοίχο το ύψος τους με τα χέρια στην ανάταση, εν συνεχεία πραγματοποιούσαν 3 άλματα και στα οποία στο καθένα σημείωναν το ύψος που έφταναν. Η διαφορά μεταξύ του αρχικού άλματος και του σημαδιού κατά το μέγιστο άλμα, αποτελούσε το καταγραφόμενο ύψος του κατακόρυφου άλματος. Το τεστ δεξιότητας στην πετοσφαίριση ήταν ο αριθμός των επιτυχημένων σερβίς από τις 5 προσπάθειες οι οποίες έπρεπε να καταλήξουν σε συγκεκριμένο-οριοθετημένο χώρο στην απέναντι πλευρά του γηπέδου. Για την καλαθοσφαίριση ήταν ο αριθμός των εύστοχων βολών

στις 5 προσπάθειες. Η καρδιακή συχνότητα καταγραφόταν τηλεμετρικά καθ' όλη τη διάρκεια των τεστ απόδοσης και αμέσως μετά το τέλος της δρομικής δοκιμασίας των 600 και 300 μέτρων. Οι δοκιμασίες απόδοσης πραγματοποιούνταν την 2^η και την 4^η ημέρα παραμονής των παιδιών στο καμπ, χωρίς να έχει προηγηθεί καμία εξοικείωση, ούτως ώστε να αποφευχθεί η αλλοίωση των δεδομένων λόγω πιθανής επίδρασης λόγω εκμάθησης. Οι θερμοκρασίες για τις ημέρες 2 και 4 στην ομάδα ελέγχου ήταν 27.0 και 29.0°C, ενώ για την ομάδα παρέμβασης οι θερμοκρασίες τις ημέρες των δοκιμασιών ήταν 29.0°C και 28°C αντίστοιχα. Δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκρασιών τις ημέρες που γίνονταν οι μετρήσεις σε καμία από τις 2 ομάδες. Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με ένα ερωτηματολόγιο διατροφικών συνηθειών που τα παιδιά κλήθηκαν να συμπληρώσουν, η πλειονότητα των παιδιών κατανάλωσε κυρίως νερό.

Προσδιορισμός των επιπέδων υδάτωσης: Το επίπεδο υδάτωσης προσδιορίστηκε από τα πρώτα πρωινά ούρα, βάσει του ειδικού βάρους ούρων και της ωσμωτικότητας των ούρων. Ως σημείο αναφοράς για την ενυδάτωση ορίστηκε η τιμή <1.020 για το USG, και <700 mOsm/kg νερού για την ωσμωτικότητα των ούρων, σύμφωνα με τις υπάρχουσες συστάσεις της επίσημης διακήρυξης του Αμερικάνικου Κολλεγίου Αθλητιατρικής (12). Το ειδικό βάρος των ούρων μετρήθηκε με τη βοήθεια ενός επιτραπέζιου διαθλασίμετρου (Gast Manufacturing Inc., Benton Harbor, Michigan, USA). Οι ωσμωτικότητες στα ούρα μετρήθηκαν δύο φορές την ίδια μέρα σε οσμόμετρο 3D3 της Advanced Instruments Inc. (Norwood, Massachusetts, USA). Κατά την τελευταία μέρα της παραμονής τους στο καμπ τα παιδιά συμπλήρωσαν και ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με την κατανάλωση υγρών που έκαναν στο καμπ και με πρακτικά θέματα που σχετίζονταν με την πρόσβασή τους σε υγρά.

Πρόγραμμα Παρέμβασης: Μετά τα αποτελέσματα των τεστ απόδοσης της 2^{ης} ημέρας τα παιδιά που ανήκαν στην ομάδα ελέγχου, δε δέχτηκαν καμία πληροφόρηση, αλλά είχαν ελεύθερη πρόσβαση σε υγρά όπως στις συνηθισμένες προπονήσεις. Αντίθετα στην ομάδα παρέμβασης μετά το τέλος των δοκιμασιών απόδοσης, οι εθελοντές συμμετείχαν σε ένα πρόγραμμα παρέμβασης το οποίο αποτελούνταν από τα κάτωθι:

- Μία ωριαία ομιλία σχετικά με τα οφέλη της υδάτωσης, κατά τη διάρκεια της οποίας στα παιδιά δόθηκαν οδηγίες για τη διατήρηση βέλτιστων επιπέδων υδάτωσης. Επίσης στα παιδιά επισημάνθηκαν κάποια σημεία κλειδιά για τη διατήρηση ιδανικών επιπέδων υδάτωσης.
- Η κλίμακα του χρώματος των ούρων (56, 65) εξηγήθηκε και αναρτήθηκε σε όλες τις τουαλέτες των εγκαταστάσεων του καμπ.

- Βελτιώθηκε η προσβασιμότητα σε νερά σε όλες τις εγκαταστάσεις του καμπ, στην προπόνηση, στον χώρο του εστιατορίου, και στους χώρους ανάπαυσης, με μπουκάλια νερού τοποθετημένα παντού.
- Κατά τη διάρκεια ορισμένων προπονήσεων, οι αθλητές ζυγίστηκαν πριν και μετά με ελάχιστο ρουχισμό ούτως ώστε να εντοπιστούν τυχόν απώλειες υγρών στις προπονήσεις, ενώ δεν τους δόθηκαν περαιτέρω πληροφορίες.

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα θα παρουσιαστούν ως μέσοι ± 1 σταθερό σφάλμα του μέσου. Ανάλυση διακύμανσης κατά δύο παράγοντες χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο διαφορών μεταξύ των δύο ομάδων στα δεδομένα που ακολουθούσαν την κανονική κατανομή. Η κανονικότητα του δείγματος εξετάστηκε με το τεστ Shapiro-Wilk. Για κατανομές που ακολουθούσαν τη μη-κανονική κατανομή, η λογαρίθμησή τους χρησιμοποιήθηκε ούτως ώστε να εξεταστούν τυχόν διαφορές. Για τις διαφορές στα δημογραφικά χαρακτηριστικά, καθώς και για τις μεταβολές μεταξύ των ομάδων, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης κατά ένα παράγοντα. Ως αποδεκτό επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας θεωρήθηκε η τιμή $p=0.05$.

Αποτελέσματα

Οι 92 αθλητές-τριες της καλαθοσφαίρισης και της πετοσφαίρισης που συμμετείχαν στη μελέτη χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, την ομάδα ελέγχου (ηλικία 13.3 ± 0.4 έτη, βάρος 55.7 ± 2.5 κιλά, ύψος 1.66 ± 0.25 m και σωματικό λίπος $18.9 \pm 1.5\%$) και στην ομάδα παρέμβασης (INT) (ηλικία 14.1 ± 0.6 έτη, βάρος 54.5 ± 1.8 κιλά, ύψος 1.63 ± 0.73 m και σωματικό λίπος $19.4 \pm 1.3\%$). Δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων.

Ο προσδιορισμός των επιπέδων υδάτωσης έδειξε ότι με βάση τα κριτήρια του USG (<1.020) 96.7% (30 από τα 31) και 91.7% (56 από τα 61) των ομάδων CON & INT αντίστοιχα, ήταν αφυδατωμένα κατά τη 2^η ημέρα στο καμπ. Την 4^η ημέρα το 96.7% (30 από 31) και το 66.1% (40 από 61) των CON & INT ομάδων, αντίστοιχα, ήταν αφυδατωμένα. Τα στοιχεία δείχνουν ότι ένα σημαντικά μικρότερο ποσοστό ατόμων ήταν αφυδατωμένο ως αποτέλεσμα της παρέμβασης ($p=0.003$) (Σχήμα. 2.1).

Σύμφωνα με το σχήμα 2.2, όταν η αφυδάτωση προσδιορίστηκε βάσει της ωσμωτικότητας των ούρων (>700 mOsm/kg water) τότε το 90.3% (28 από 31) και 83.3% (51 από 61) των CON &

INT ομάδων, αντίστοιχα, ήταν αφυδατωμένα πριν την παρέμβαση (2^η μέρα). Ως αποτέλεσμα της παρέμβασης, το ποσοστό των παιδιών που ήταν αφυδατωμένα στην ομάδα παρέμβασης μειώθηκε στο 62.1% ($p=0.005$), ενώ στην ομάδα ελέγχου δεν υπήρξε καμία σημαντική αλλαγή (90.0%).

Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παιδιών στα τεστ απόδοσης. Ο χρόνος για την ολοκλήρωση του τεστ αντοχής 600 m βελτιώθηκε σημαντικά μόνο στην ομάδα παρέμβασης: INT pre: 189 ± 5 sec, post: 167 ± 4 sec, ($p=0.009$) ενώ δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στην καρδιακή συχνότητα αμέσως μετά το πέρας του τεστ [pre: 191 ± 1 bpm, post: 190 ± 1 bpm ($p>0.05$)]. Δεν αναφέρθηκαν επίσης διαφορές πριν και μετά την παρέμβαση σε καμία από τις 2 ομάδες στην απόδοση στην ταχύτητα και στο κάθετο άλμα. Τα αποτελέσματα στο τεστ δεξιότητας για την ομάδα ελέγχου (CON) ήταν 1.48 ± 1.0 και 1.48 ± 1.17 , πριν και μετά, αντίστοιχα ($p>0.05$). Για την ομάδα παρέμβασης (INT) τα αποτελέσματα ήταν 1.50 ± 1.0 και 1.55 ± 1.0 , πριν και μετά, αντίστοιχα ($p>0.05$).

Στο τέλος της παραμονής τους στο καμπ οι αθλητές-τριες ρωτήθηκαν συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετικά με την αντίληψή τους περί υδάτωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3, και αναλύονται από το 1-10 (1=πολύ άσχημο, 5=ok, 10=καλή δουλειά) και για τις δύο ομάδες. Δεν αναφέρθηκαν διαφορές μεταξύ των ομάδων σύμφωνα με το ερωτηματολόγιο περιβαλλοντικών συμπτωμάτων, σε ότι έχει να κάνει με συμπτώματα που σχετίζονται με τη ζέστη ή την αφυδάτωση.

Σχολιασμός-Συμπεράσματα

Το κύριο εύρημα της παρούσας μελέτης ήταν ότι ένα σχετικά απλό αλλά κατανοητό πρόγραμμα παρέμβασης αποδείχτηκε επιτυχές για την βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης εντός μόλις 2 ημερών. Επίσης, η βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης μέσω της κατά βούληση κατανάλωσης νερού, οδήγησε τους/τις αθλητές-τριες οι οποίοι γυμναζόντουσαν υπό ζέστη, σε σημαντική βελτίωση του χρόνου απόδοσης στο τεστ αντοχής.

Σύμφωνα με τα υπάρχοντα ερευνητικά δεδομένα, η παρούσα μελέτη είναι η πρώτη μελέτη πεδίου η οποία εμφανίζει βελτίωση της απόδοσης που να σχετίζεται με τα επίπεδα υδάτωσης μεταξύ των παιδιών. Μια πιθανή εξήγηση για τη συγκεκριμένη βελτίωση στην δοκιμασία αντοχής, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην καρδιακή συχνότητα μετά το πέρας της δοκιμασίας, είναι ότι ο όγκος παλμού διατηρήθηκε καλύτερα, συνεπώς και η καρδιακή παροχή, με τελικό αποτέλεσμα τη βελτίωση της αερόβιας ικανότητας. Τα συγκεκριμένα ευρήματα έρχονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα των Gonzalez-Alonso και

των συνεργατών του (210). Επιπροσθέτως, παρόλη τη βελτίωση που παρατηρήθηκε στον χρόνο απόδοσης και η οποία θα μπορούσε να επηρεαστεί-προκληθεί λόγω επίδρασης εκμάθησης από την 1^η δοκιμή, δεν σημειώθηκε καμία βελτίωση στην ομάδα ελέγχου, γεγονός που υποστηρίζει τα ευρήματα της παρούσας έρευνας.

Τα πολύ υψηλά επίπεδα αφυδάτωσης που παρατηρήθηκαν στους νεαρούς αθλητές κατά τη διάρκεια του καμπ, σύμφωνα με τις αρχικές τιμές των USG και της ωσμωτικότητας των ούρων, είναι σε συμφωνία με τις τιμές αντίστοιχης μελέτης, η οποία βρήκε ιδιαίτερα υψηλές τιμές USG σε αθλητές ποδοσφαίρου, με τελικό αποτέλεσμα οι αθλητές να εμφανίζονται στην προπόνηση αφυδατωμένοι (88). Αυτές οι υψηλές τιμές υποδεικνύουν ότι για τα παιδιά τα οποία ασκούνται, η ενημέρωση σχετικά με τις αρνητικές συνέπειες της αφυδάτωσης και της πιθανότητας πρόκλησης τραυματισμών λόγω ζέστης κατά την άσκηση από τη μια μεριά και από την άλλη, οι ευεργετικές συνέπειες των βέλτιστων επιπέδων υδάτωσης, θα πρέπει να είναι άμεση προτεραιότητα σε καμπ, αγώνες και προπονήσεις.

Το πρόγραμμα παρέμβασης που χρησιμοποιήθηκε μέσω της ομιλίας σχετικά με τη σημασία της ενυδάτωσης για την υγεία και της απρόσκοπτης πρόσβασης σε υγρά, οδήγησε σε σημαντική μείωση του ποσοστού των αφυδατωμένων παιδιών στην ομάδα παρέμβασης. Σε μια πρόσφατη έρευνα, αναφέρθηκε ότι η κατανάλωση 2 μπουκαλιών των 591 mL νερού ή αθλητικού ποτού, το ένα μεταξύ δείπνου και ύπνου και το άλλο πριν την έναρξη της πρωινής προπόνησης, είναι μια απλή και αποτελεσματική μέθοδος η οποία οδηγεί σε σημαντική βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης παικτών ποδοσφαίρου στο λύκειο, σύμφωνα με τις τιμές του USG (83). Συνεπώς, η παρέμβαση με στόχο την πληροφόρηση και η διευκόλυνση κατανάλωσης υγρών, σε συνδυασμό με απλές αλλά ρεαλιστικές μεθόδους ενυδάτωσης, μπορεί να ωφελήσουν σημαντικά τους νέους που ασκούνται σε καλοκαιρινά καμπ.

Υπάρχει πλήθος μελετών που να εξετάζουν την πρόσληψη υγρών πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά την προπόνηση και τον αγώνα, και οι οποίες αποδεικνύουν ότι η ανεπάρκεια κατανάλωσης υγρών μειώνει σημαντικά την απόδοση (45, 75, 139, 146, 211-213). Ωστόσο, μέχρι σήμερα καμία μελέτη δεν είχε ασχοληθεί με την επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στην απόδοση στην αντοχή σε παιδιά. Από τα στοιχεία της παρούσας μελέτης, φαίνεται ότι η ελεύθερη πρόσβαση σε υγρά και η ενημέρωση σχετικά με τα οφέλη των καλών επιπέδων υδάτωσης, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν σε κατανάλωση υγρών, οδήγησαν σε σημαντική βελτίωση του χρόνου κάλυψης 600μ από τα παιδιά.

Αξίζει τέλος να αναφερθεί ότι δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων στην απόδοση ταχύτητας, στο κατακόρυφο άλμα, και στις δοκιμασίες επιδεξιότητας. Σε

μια ανασκόπηση από τον Maughan (45), φάνηκε ότι η μυϊκή δύναμη και η απόδοση στην ταχύτητα παραμένουν αμετάβλητες από τα επίπεδα υδάτωσης, εξηγώντας συνεπώς και την έλλειψη διαφορών στην παρούσα μελέτη στις αντίστοιχες παραμέτρους. Ωστόσο η Shirreffs και οι συνεργάτες της, προτείνουν ότι η μέτρια αφυδάτωση μειώνει την εγρήγορση ενός ατόμου καθώς και την ικανότητά του να συγκεντρωθεί (156).

Τέλος στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε ότι τα άτομα και στις δύο ομάδες ήταν αφυδατωμένα κατά τη διάρκεια παραμονής τους στο καμπ. Παρόλο που οι πλειοψηφία των ατόμων παρέμεναν αφυδατωμένα, θεωρούσαν ότι είχαν κάνει καλή δουλειά για να είναι ενυδατωμένα (8,2 στα 10). Σε συμφωνία λοιπόν με τα αποτελέσματα πρόσφατης μελέτης, τα παιδιά ξεχώριζαν εάν ήταν αφυδατωμένα ή όχι (95). Ωστόσο, εμφάνιζαν μια αδυναμία να προσαρμόσουν τις γνώσεις τους πάνω στην υδάτωση σε επιτυχημένες στρατηγικές υδάτωσης.

Συμπερασματικά, λίγες είναι οι μελέτες που έχουν ασχοληθεί με την ικανότητα των παιδιών να ασκούνται στη ζέστη και τη σχέση των επιπέδων υδάτωσης τους με την απόδοση. Στην παρούσα έρευνα αποδείχθηκε ότι η βελτίωση των επιπέδων υδάτωσης, μέσω μιας ενημερωτικής παρέμβασης οδήγησε σε παράλληλη σημαντική βελτίωση στην απόδοση αντοχής στα παιδιά. Είναι προφανές λοιπόν ότι θα πρέπει να γίνονται συνεχείς προσπάθειες από τους προπονητές, τους γονείς και τους αθλητές, ούτως ώστε να πληροφορούν τη νεολαία σχετικά με τα οφέλη των βέλτιστων επιπέδων υδάτωσης, την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων ενυδατικών στρατηγικών, καθώς και των ιδανικών και πρακτικών μεθόδων προσδιορισμού και παρακολούθησης των επιπέδων υδάτωσης.

Πίνακες-Γραφήματα

Πίνακας 2.1: Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων στη μελέτη

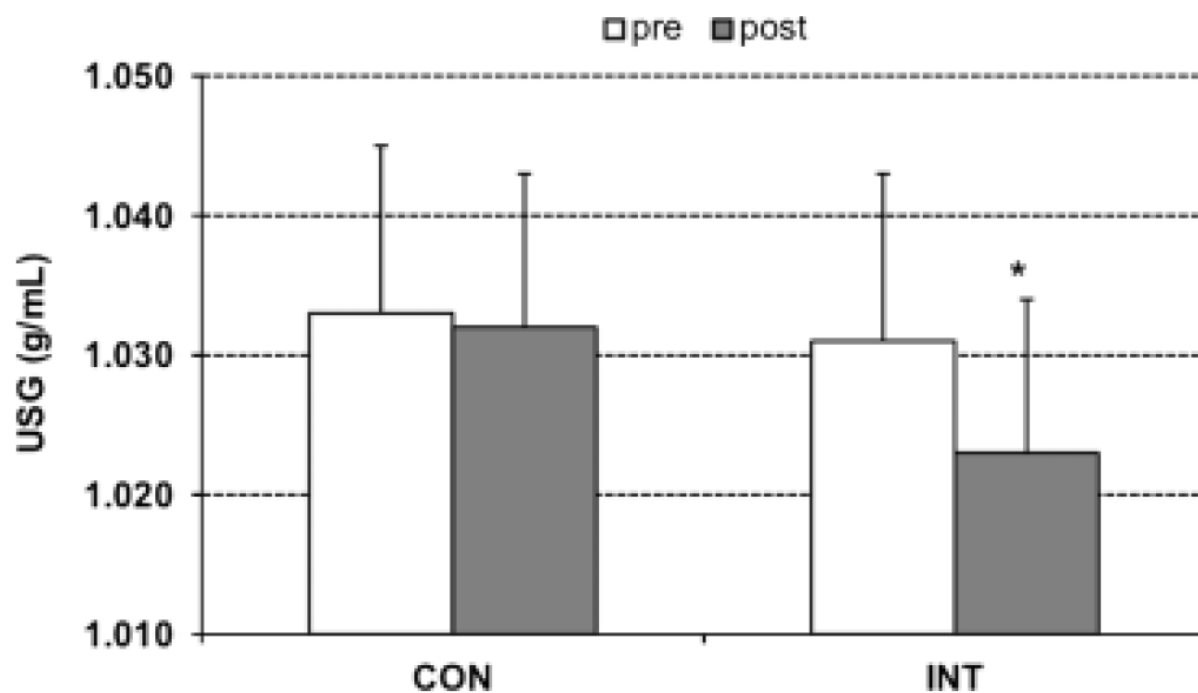
Χαρακτηριστικά	n=92	CON=31	INT=61
Ηλικία (έτη)	13.8±4.2	13.2±2.3	14.0±4.8
Φύλο (άνδρες/γυναίκες)	43/49	13/18	30/31
Βάρος (κιλά)	54.9±13.7	55.75±2.5	54.5±13.7
Ύψος (cm)	164±13.9	165±14.8	163.1±13.4
Λιπώδης μάζα (%)	19.2±7.3	18.8±7.4	19.4±7.2

Πίνακας 2.2: Αποτελέσματα στα τεστ απόδοσης

Test	CON _{pre}	CON _{post}	% μεταβολής	INT _{pre}	INT _{post}	% μεταβολής
600 m (sec)	186±10	177±5	-7.7±2.2	189±5	167±4*	-12.7±1.5
30 m (sec)	5.6±0.1	5.6±0.1	0.74±1.06	5.7±0.5	5.6±0.6	-1.07±0.72
Κατακόρυφο άλμα (cm)	26.3±1.5	25.3±1.8	-0.9±1.05	25.0±1.0	24.6±1.1	-0.4±1.10
Τεστ επιδεξιότητας	1.5±1.0	1.5±1.2	0.4±0.9	1.5±1.0	1.6±1.0	0.9±0.3

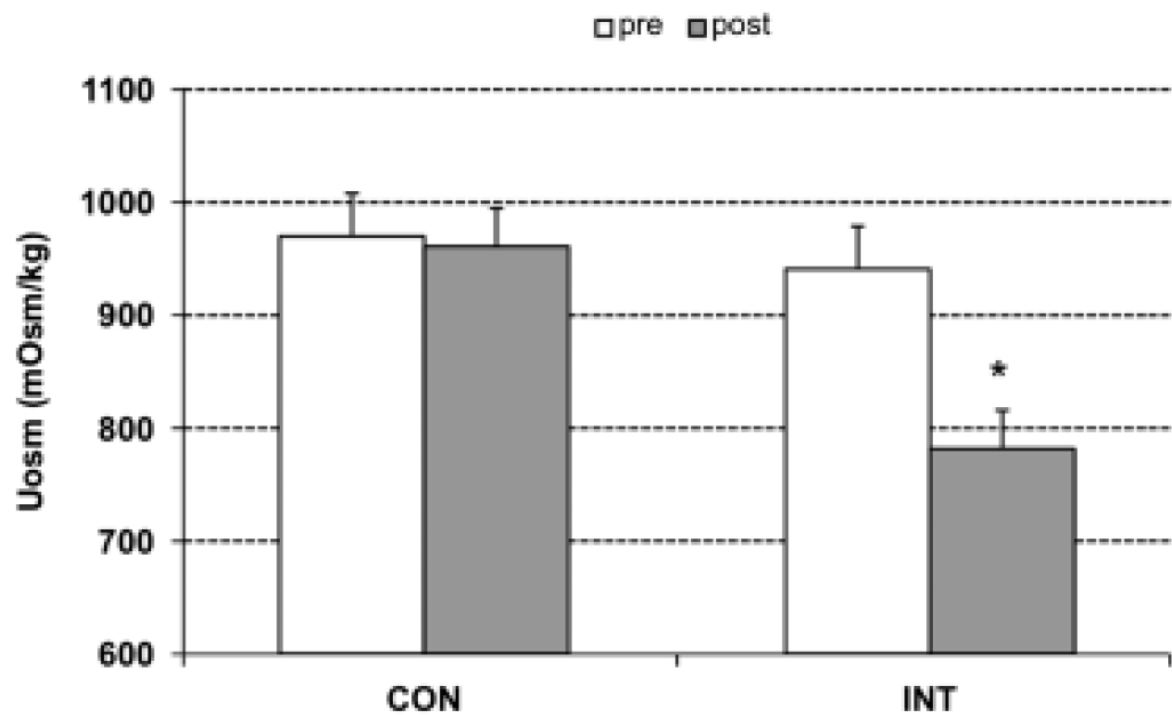
Πίνακας 2.3: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου σχετικά με την αντίληψη περί υδάτωσης

Ερωτήσεις	CON	INT
Θεωρείς ότι έκανες καλή δουλειά κρατώντας τον εαυτός σου ενυδατωμένο στο καμπ;	8.2±2.4	9.0±1.9
Το καμπ ενθάρρυνε την ενυδάτωσή σου;	7.2±3.0	9.3±1.6
Είχες χρόνο να καταναλώσεις υγρά;	8.4±2.4	9.9±1.9
Ήταν η πρόσβαση σε υγρά στο καμπ, εύκολη;	9.4±1.7	9.5±1.9
Υπήρχε κάτι το οποίο σε παρεμπόδιζε από την κατανάλωση υγρών στο καμπ;	0.2±0.4	0.04±0.2



**Υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση μεταξύ των 2 ομάδων, πριν και μετά την παρέμβαση, $p < 0.05$*

Σχήμα 2.1. Το ειδικό βάρος ούρων (USG) πριν και μετά το πρόγραμμα παρέμβασης στην ομάδα παρέμβασης (INT) και στην ομάδα ελέγχου (CON)



**Υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση μεταξύ των 2 ομάδων, πριν και μετά την παρέμβαση, $p < 0.05$*

Σχήμα 2.2. Η ωσμωτικότητα των ούρων πριν και μετά το πρόγραμμα παρέμβασης στην ομάδα ελέγχου (CON) και στην ομάδα παρέμβασης (INT).

3η Μελέτη: Η επίδραση των επιπέδων υδάτωσης στην καρδιαγγειακή λειτουργία

Εισαγωγή

Το ενδοθήλιο παίζει σημαντικότερο ρόλο στη ρύθμιση της καρδιαγγειακής ομοιόστασης. Λόγω της στρατηγικής του θέσης, το ενδοθήλιο «αντιλαμβάνεται» οποιεσδήποτε αλλαγές στις αιμοδυναμικές δυνάμεις και «απαντά» απελευθερώνοντας αγγειοδιασταλτικές ουσίες. Η κρίσιμη αυτή ισορροπία μεταξύ των προερχόμενων από το ενδοθήλιο διασταλτικών και συσταλτικών δυνάμεων, είναι που διατηρεί την αγγειακή ομοιόσταση (188). Επίσης, η ενδοθηλιακή δυσλειτουργία έχει αποδειχτεί ως ανεξάρτητος προδιαθετικός παράγοντας για τα καρδιαγγειακά ακόμα και σε νεαρά και υγιή άτομα (214). Επιπροσθέτως, η δυσλειτουργία του ενδοθηλίου έχει αναγνωριστεί ως κλασικός δείκτης της αθηροσκλήρωσης (215).

Στον αντίποδα, ολοένα και περισσότερες έρευνες αποδεικνύουν ότι τα επίπεδα υδάτωσης έχουν σημαντικό ρόλο στις καρδιοαγγειακές παθήσεις, μεταξύ άλλων χρόνιων παθήσεων. Σύμφωνα με τον Thornton και τους συνεργάτες του (121), η αφυδάτωση φαίνεται να εμπλέκεται, μέσω του πολύπλοκου ρόλου της αγγειοπιεσίνης, στην παθολογία όχι μόνο των καρδιαγγειακών νοσημάτων, αλλά και στην εξέλιξη της παχυσαρκίας, του διαβήτη, ακόμα και διαφόρων μορφών καρκίνου, προτείνοντας μία κοινή αιτιολογία (120). Σε μια πρόσφατη δε ανασκόπηση από τους Manz και Wentz, η ήπιας μορφής αφυδάτωση φαίνεται να σχετίζεται μεταξύ άλλων, με την υπέρταση καθώς και την στεφανιαία νόσο (122). Παρόλα τα προαναφερθέντα, η επίδραση των μέτρων επιπέδων αφυδάτωσης στην καρδιαγγειακή λειτουργία δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά.

Συνεπώς, από τη στιγμή που το επίπεδο υδάτωσης ίσως να σχετίζεται με παραδοσιακούς παράγοντες κινδύνου πρόκλησης καρδιαγγειακών παθήσεων, οι οποίοι με τη σειρά τους επηρεάζονται άμεσα από πιθανή δυσλειτουργία του ενδοθηλίου, υποθέσαμε ότι οι συγκεκριμένες καταστάσεις (αφυδάτωση και ενδοθηλιακή δυσλειτουργία) πιθανώς να αλληλοεπηρεάζονται. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα επιστημονικά δεδομένα, δεν υπάρχει κάποια μελέτη η οποία να έχει εξετάσει ευθέως την μεταξύ τους σχέση.

Σκοπός λοιπόν της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να προσδιοριστεί η επίδραση της μέτριας αφυδάτωσης (~2% της συνολικής σωματικής μάζας) στην ενδοθηλιακή λειτουργία σε υγιή, νεαρά άτομα.

Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες

Εξεταζόμενοι

Στην έρευνα συμμετείχαν δέκα υγιείς ενήλικες, φυσιολογικού BMI, φυσικά δραστήριοι, μη-καπνιστές, με ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1. Η συμμετοχή των εθελοντών έγινε μετά από αναλυτική παρουσίαση των στόχων της μελέτης, των υποχρεώσεών τους, καθώς και των πιθανών κινδύνων που απορρέουν από τη συμμετοχή τους. Ο κάθε εθελοντής υπέγραψε συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής πριν από τη συμμετοχή του στη μελέτη. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την Διακήρυξη του Ελσίνκι και αφού πήρε την έγκριση από την Επιτροπή Βιοηθικής του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου. Τα κριτήρια αποκλεισμού για τη συμμετοχή στη μελέτη περιελάμβαναν μια φυσιολογική εξέταση, μετρήσεις αρτηριακής πίεσης και όγκου παλμού, καθώς και την απουσία οποιασδήποτε μεταβολικής, καρδιαγγειακής ή νεφρικής πάθησης. Η σύσταση του σώματος πραγματοποιήθηκε με απορροφησιμετρία ακτίνων X διπλής ενέργειας (μοντέλο DPX-MD; Lunar Corp, Madison, WI, software version 3.6). Η μέθοδος αυτή συνίσταται από τη σάρωση ολόκληρης της επιφάνειας του σώματος, πάνω από τα ρούχα, με ακτίνες X δύο διακριτών ενεργειακών επιπέδων, προκειμένου να μετρηθεί η απορρόφηση από το σώμα, η οποία αντιστοιχίζεται σε σωματικό λίπος και άλιπη μυϊκή και σκελετική μάζα σώματος. Η μέτρηση αυτή διαρκεί περίπου 20 λεπτά και από την οποία προκύπτει η σωματική σύσταση και η οστική πυκνότητα του κάθε εθελοντή.

Πειραματικός σχεδιασμός

Αρχικές μετρήσεις. Στους εθελοντές είχε δοθεί η οδηγία να καταναλώσουν τουλάχιστον 30 ml νερού /κιλό σωματικού βάρους την προηγούμενη μέρα του πειράματος (216). Επιπλέον, τους είχε συσταθεί να αποφύγουν οποιαδήποτε έντονη φυσική δραστηριότητα, καθώς και την κατανάλωση αλκοόλ ή ποτού που να περιέχει καφεΐνη. Επίσης, για να αποκλειστεί η πιθανότητα η διατροφή να είναι συγχυτικός παράγοντας για την ενδοθηλιακή λειτουργία, μια συγκεκριμένη διατροφή (55% υδατάνθρακες, 30% λίπος, 15% πρωτεΐνη) ακολουθήθηκε τη μέρα πριν αλλά και κατά την ημέρα του πειράματος. Γραπτές οδηγίες σχετικά με την ακολουθούμενη διατροφή δόθηκαν στους εθελοντές, καθώς και μία τηλεφωνική υπενθύμιση πραγματοποιήθηκε την ημέρα πριν την μέτρηση.

Όλοι οι εθελοντές προσήλθαν το πρωί στο εργαστήριο και αφού είχαν παρέλθει τουλάχιστον 10 ώρες νηστείας, σε καλά ενυδατωμένη κατάσταση. Μετά το άδειασμα της ουροδόχου κύστης τους, το ειδικό βάρος ούρων (USG) μετρήθηκε προκειμένου να εξακριβωθεί η καλή κατάσταση ενυδάτωσης (<1.020) και στη συνέχεια καταγράφηκε το σωματικό βάρος που αντιστοιχούσε στη συγκεκριμένη κατάσταση υδάτωσης (166). Οι εθελοντές παρέμειναν σε καθιστή θέση για 20

λεπτά πριν την λήψη δείγματος αίματος και τελικά μετρήθηκε η ενδοθηλιακή λειτουργία μέσω της αγγειοδιαστολής μέσω ροής (Flow-Mediated-Dilatation, FMD).

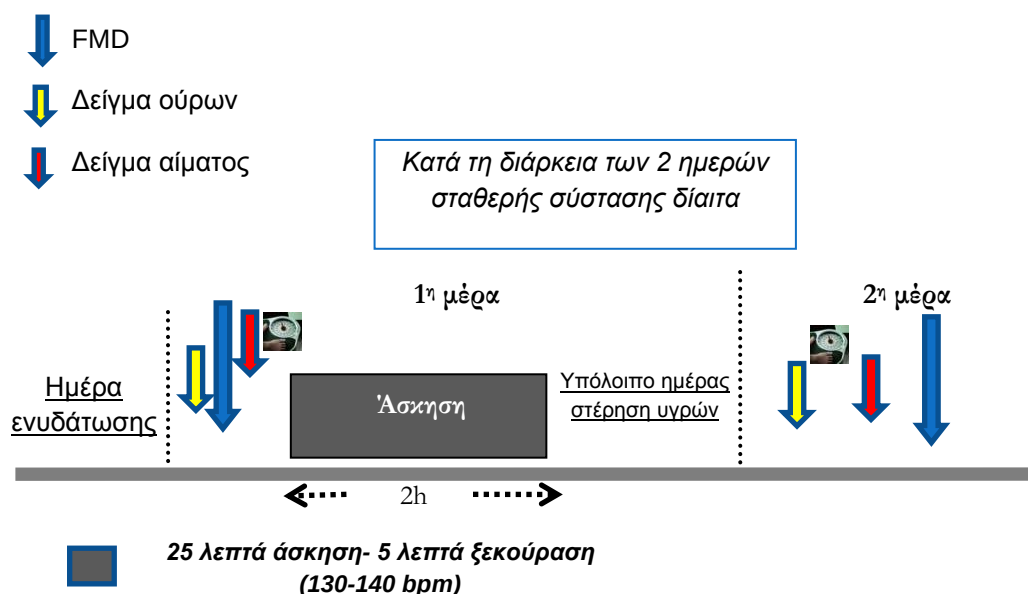
Πρωτόκολλο άσκησης: Μετά το πέρας των προαναφερθέντων αρχικών μετρήσεων, οι εθελοντές και στις δύο δοκιμές ακολούθησαν ένα πρωτόκολλο άσκησης στο διάδρομο (ανά 30 λεπτά) στο 70% της μέγιστης προβλεπόμενης καρδιακής συχνότητας (220-ηλικία), σε περιβάλλον με σταθερή θερμοκρασία 31°C. Κάθε 30λεπτη περίοδος αποτελούταν από 25 λεπτά άσκησης και 5 λεπτά ξεκούρασης (217, 218).

Στη δοκιμή της αφυδάτωσης (DEH) (αφυδάτωση + άσκηση), το σωματικό βάρος μετριοταν ανά 30 λεπτά και το πρωτόκολλο ολοκληρωνόταν όταν είχε επιτευχθεί μία συνολική μείωση του σωματικού βάρους κατά 2%. Μετά το τέλος της άσκησης η συνολική απώλεια σωματικού βάρους καταγραφόταν. Σε περίπτωση που το ποσοστό της αφυδάτωσης ξεπερνούσε το 2% η αντίστοιχη ποσότητα νερού που απαιτείτο, για την επιθυμητή απώλεια σωματικού βάρους, καταναλωνόταν. Για το υπόλοιπο τη ημέρας, στους εθελοντές δεν επιτρεπόταν η κατανάλωση υγρών (παρά μόνο 0.5 λίτρων νερού που τους δόθηκε από τους ερευνητές), ενώ για μεσημεριανό και βραδινό, ακολουθήθηκε συγκεκριμένη διατροφή περιορισμένη σε υγρά.

Αντίθετα, στη δοκιμή ελέγχου (CON) (ενυδάτωσης + άσκηση) το σωματικό βάρος καταγραφόταν κάθε 25 λεπτά και η τυχόν απώλεια βάρους αντικαθιστούταν με την κατανάλωση αντίστοιχης ποσότητας νερού, ούτως ώστε να επιτευχθούν επίπεδα ενυδάτωσης μετά το πέρας της άσκησης. Για το υπόλοιπο της ημέρας, στους εθελοντές δόθηκε η ίδια διατροφή, με τη διαφορά ότι θα έπρεπε να πίνουν νερό κατά βούληση μέχρι το επόμενο πρωί.

Μετρήσεις την επόμενη μέρα: Το επόμενο πρωινό οι εθελοντές προσήλθαν στο εργαστήριο μετά από τουλάχιστον 10ωρη νηστεία και το σωματικό τους βάρος καταγράφηκε. Οι αντίστοιχες προαναφερθείσες μετρήσεις στο δείγμα ούρων που λήφθηκε πραγματοποιήθηκαν και στις δύο δοκιμές, έτσι ώστε να επιβεβαιωθούν τα αντίστοιχα επίπεδα υδάτωσης, ενώ στη δοκιμή DEH πραγματοποιήθηκε και συλλογή δείγματος αίματος. Η τελευταία φάση του πρωτοκόλλου περιελάμβανε την τελική μέτρηση του FMD.

Σχηματικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Μετρήσεις: Ο αιματοκρίτης μετρήθηκε με τη μέθοδο του μικρο-αιματοκρίτη. Τα δείγματα ελέγχθησαν δύο φορές, αφού πρώτα φυγοκεντρήθηκαν για 4 λεπτά στις 10.000 στροφές. Η αιμοσφαιρίνη υπολογίστηκε με τη μέθοδο της κυανομεθαιμοσφαιρίνης, με τη βοήθεια αντιδραστηρίων της Sigma-Aldrich, Inc (Σεντ Λουις, ΗΠΑ). Τα δείγματα για την αιμοσφαιρίνη, μετρήθηκαν επίσης τρεις φορές. Οι μεταβολές του όγκου του πλάσματος προσδιορίστηκαν από τις τιμές του μικροαιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης, με βάση την εξίσωση των Dill και Costill (52). Η υπόλοιπη ποσότητα του αίματος διαχωρίστηκε με φυγοκέντρηση, σε πλάσμα και ορό και αποθηκεύτηκε (-80°C) για περαιτέρω ανάλυση της γλυκόζης πλάσματος, τριγλυκεριδίων και ολικής χοληστερόλης. Όλες οι βιοχημικές εξετάσεις έγιναν σε αυτόματο βιοχημικό αναλυτή (ACE Schiapparelli Biosystems Inc, Fairfield, New Jersey, USA). Το ειδικό βάρος των ούρων μετρήθηκε με διαθλασίμετρο χειρός ATAGO (cat. no 2734, Ιαπωνία) ενώ τέλος, οι μεταβολές της σωματικής μάζας προσδιορίστηκαν με ηλεκτρονικό ζυγό SECA (με ακρίβεια 100 γρ. Vogel & Halke Αμβούργο, Γερμανία).

Όσον αφορά τη λειτουργία του ενδοθηλίου αυτή προσδιορίστηκε με τη μέθοδο της **Αγγειοδιαστολή μέσω ροής** (Flow-Mediated-Dilatation, FMD).

Πιο αναλυτικά: Ο προσδιορισμός του FMD πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μίας 14.0-MHz πολλαπλών συχνοτήτων συστοιχίας βελόνων η οποία συνδεόταν με υψηλής ευκρίνειας μηχανήμα υπερήχων (Vivid 7 Pro; General Electric, WI, USA) όπως έχει περιγραφεί διεξοδικά στη μελέτη του Κόλλια και των συνεργατών του (219). Μετά από 10 λεπτά ανάπαυσης σε ύπτια

θέση σε ένα ήσυχο, κλιματιζόμενο δωμάτιο με σταθερή θερμοκρασία $22 \pm 1^{\circ}\text{C}$, η εσωτερική διάμετρος της βραχιόνιας αρτηρίας του εθελοντή αξιολογήθηκε. Η περίδεση του άνω βραχίονα για 5 λεπτά, σε υπέρ-συστολικά επίπεδα (50 mmHg πάνω από τη συστολική αρτηριακή πίεση) μεταξύ του καρπού έως την κορυφή του βραχίονα, οδήγησε σε αντιδραστική υπεραιμία μετά την διακοπή της περίδεσης. Η συγκεκριμένη αύξηση της πίεσης λόγω ροής στο αίμα, είχε ως αποτέλεσμα την προκαλούμενη από το ενδοθήλιο αγγειοδιαστολή μέσω ροής (188). Τα δεδομένα άρχισαν να καταγράφονται πριν και αμέσως μετά τη διακοπή της περίδεσης, με στόχο τη μέτρηση της μέγιστης ροής αίματος και την διάμετρο της βραχιόνιας αρτηρίας κάθε 30 δευτερόλεπτα για 2 λεπτά. Το FMD υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{FMD (\%)} = [(\text{διάμετρος υπεραιμίας} - \text{διάμετρος ηρεμίας}) / \text{διάμετρο ηρεμίας}] \times 100$$

Η μέτρηση της διαμέτρου της βραχιόνιας αρτηρίας πραγματοποιήθηκε από έναν έμπειρο χειριστή του μηχανήματος ο οποίος δεν είχε γνώση του ερευνητικού πρωτοκόλλου, ούτε και του επιπέδου υδάτωσης του εθελοντή. Η ενδο-μεταβλητότητα δύο συνεχών μετρήσεων από τον ίδιο χειριστή, στο εργαστήριο ήταν 0.706.

Αντίστοιχα, η αντιδραστική ροή λόγω υπεραιμίας υπολογίστηκε ως: (ροή υπεραιμίας / αρχική ροή) * 100. Η ροή καταγράφηκε βάσει της εξίσωσης: $\text{Ροή} = \pi * R^2 * \text{μέση ταχύτητα}$, όπου, $\pi=3,14$, R =η διάμετρος της βραχιόνιας αρτηρίας, ενώ η μέση ταχύτητα υπολογίστηκε μέσω του υπέρηχου doppler.

Η συστολική και διαστολική αρτηριακή πίεση μετρήθηκε στη αριστερή βραχιόνια αρτηρία με τη χρήση ενός πιεσόμετρου υδραργύρου. Η μέση αρτηριακή πίεση υπολογίστηκε ως:

$$[(2 \times \text{διαστολική αρτηριακή πίεση}) + \text{συστολική αρτηριακή πίεση}] / 3.$$

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν 6-8 λεπτά πριν τη μέτρηση της βραχιόνιας αρτηρίας.

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι ± 1 τυπικό σφάλμα του μέσου. Για να εκτιμηθεί η επίδραση της αφυδάτωσης στις μεταβλητές της μελέτης, το t τεστ του Student χρησιμοποιήθηκε. Ως αποδεκτό επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας θεωρήθηκε η τιμή $p < 0.05$

Αποτελέσματα

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι αλλαγές σε συγκεκριμένους δείκτες των επιπέδων υδάτωσης. Η άσκηση μέχρι απώλειας του 2% του σωματικού βάρους, σε συνδυασμό με την στέρηση κατανάλωσης νερού, οδήγησε σε απώλεια $-1,9 \pm 0,1\%$ του σωματικού βάρους, καθώς και σε μία παράλληλη σημαντική μείωση του όγκου του πλάσματος κατά $3,5 \pm 1,8\%$ στη DEH δοκιμή. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές σε κανέναν από τους αντίστοιχους δείκτες επιπέδων υδάτωσης κατά τη διάρκεια της δοκιμής ελέγχου.

Η διάμετρος της βραχιόνιας αρτηρίας σε ηρεμία παρέμεινε αμετάβλητη και στις δύο δοκιμές (DEH: 0.416 ± 0.03 , 0.414 ± 0.04 cm και CON: 0.389 ± 0.04 , 0.387 ± 0.03 cm, $p > 0.05$). Ομοίως, οι αντιδραστικές ροές δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των δύο συνθηκών του πειράματος [DEH: 323.6 ± 55.1 , $348.7 \pm 99.3\%$ ($p = 0.709$) και CON: 369.8 ± 69.1 , $327.9 \pm 30.6\%$ ($p = 0.401$)].

Αντίθετα, η αφυδάτωση προκάλεσε σημαντική μείωση του FMD από $8,2 \pm 1,2\%$ στο baseline, στο $6,0 \pm 1,0\%$ στο τέλος του σταδίου της αφυδάτωσης (-26.8%) ($p = 0.018$). Σε αντίθεση με τη δοκιμή CON, όπου το FMD δεν μεταβλήθηκε στατιστικά σημαντικά (-3.5%) ($p > 0.05$) (πίνακας 3.4).

Οι προκαλούμενες μεταβολές στα επίπεδα υδάτωσης δεν προκάλεσαν σημαντικές αλλαγές στην αρτηριακή πίεση ούτε στην καρδιακή συχνότητα ($p > 0.05$) στη DEH δοκιμή, σύμφωνα με τον πίνακα 3.3.

Σχολιασμός-Συμπεράσματα

Το κύριο εύρημα της μελέτης ήταν ότι ακόμα και η μέτρια μορφής αφυδάτωση οδήγησε σε σημαντική υστέρηση του FMD, δείκτη της λειτουργίας του ενδοθηλίου, σε ένα δείγμα νεαρών και υγιών ατόμων. Τα συγκεκριμένα δεδομένα, είναι τα πρώτα που εξετάζουν την πιθανή σχέση μεταξύ μέτριας αφυδάτωσης και ενδοθηλιακής λειτουργίας και τα οποία προτείνουν ότι τα μέτρια επίπεδα αφυδάτωσης επηρεάζουν αρνητικά την καρδιαγγειακή ομοιοστάση βραχυπρόθεσμα.

Είναι ευρέως γνωστό ότι μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του ενδοθηλίου είναι η «ανίχνευση» αιμοδυναμικών αλλαγών και η παραγωγή πολυάριθμων ουσιών, οι οποίες βοηθούν στη διατήρηση της «ακεραιότητας» του αγγειακού τοιχώματος και στη ρύθμιση της λειτουργίας

των αιμοφόρων αγγείων (220). Η παρατηρούμενη μείωση στον όγκο του πλάσματος στην παρούσα μελέτη (-3.5%) υποδεικνύει ότι ίσως η συγκεκριμένη αιμοδυναμική μεταβολή μπορεί να προκάλεσε μία «αντίδραση» στο στρώμα των ενδοθηλιακών κυττάρων, ακόμη και σε νεαρά και υγιή άτομα.

Επιπλέον βάσει των αποτελεσμάτων από την ανάλυση των υπερήχων, η διάμετρος της βραχιόνιας αρτηρίας κατά την ηρεμία παρέμεινε ουσιαστικά ανεπηρέαστη κατά τη διάρκεια των δοκιμών, ενώ παράλληλα σημειώθηκε σημαντική μείωση του FMD κατά τη διάρκεια του σταδίου της αφυδάτωσης. Συνεπώς, η πιθανότητα ότι η παρατηρούμενη μείωση της ενδοθηλιακής λειτουργίας ίσως να οφείλεται και σε απώλεια της ελαστικότητας της αρτηρίας είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Επιπρόσθετα, η «διέγερση» λόγω ροής, η οποία ουσιαστικά είναι η δύναμη την οποία η αιματική ροή ασκεί στα τοιχώματα του ενδοθηλίου, παρέμεινε ίδια μεταξύ των δύο συνθηκών του πειράματος, συνεπώς πιθανές άμεσες επιδράσεις στο FMD λόγω της «διέγερσης» λόγω ροής, δεν ευσταθούν.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του Gonzalez-Alonso και των συνεργατών του οι οποίοι επίσης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πίεση του αίματος παρέμεινε πρακτικά ανεπηρέαστη ακόμη και κάτω από εντονότερες συνθήκες αφυδάτωσης όπου παρατηρούνταν μείωση της τάξεως του 4% της συνολικής σωματικής μάζας (75). Το συγκεκριμένο εύρημα προτείνει ότι η μείωση στο FMD που παρατηρήθηκε στην παρούσα μελέτη πιθανώς να είναι ανεξάρτητη από την φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού με στόχο τη διατήρηση σταθερής πίεσης του αίματος υπό συνθήκες αφυδάτωσης.

Εναλλακτικά, ενόσω οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με την ενεργοποίηση του «μονοπατιού» ρενίνης-αγγειοπρεσίνης-αλδοστερόνης, είναι ικανοί για τη διατήρηση σταθερής πίεσης του αίματος, μία παράλληλη αρνητική επίδραση στην ενδοθηλιακή λειτουργία γίνεται εμφανής. Είναι αποδεδειγμένο ότι η αυξημένη έκκριση αγγειοπρεσίνης, λόγω αφυδάτωσης, διατηρεί το αγγείο σε αυξημένη κατάσταση σκληρότητας και επίσης προκαλεί σημαντική μείωση της αιμάτωσης του ιστού (120, 221, 222). Όντως λοιπόν, η προκαλούμενη λόγω αγγειοπρεσίνης ενδοθηλιακή δυσλειτουργία θεωρείται ως μία από τις μεγαλύτερες προ-αθηροσκληρωτικές επιδράσεις της συγκεκριμένης ορμόνης.

Είναι επίσης κοινό εύρημα ότι οι αλλαγές σε δείκτες σχετιζόμενους με το ιξώδες του αίματος, όπως είναι τα επίπεδα του αιματοκρίτη σχετίζονται θετικά με την πρόκληση στεφανιαίας νόσου (131, 223). Η σημασία των βέλτιστων επιπέδων αφυδάτωσης στην υγεία (137), καθώς και στην πρόληψη διαφόρων παθήσεων, συμπεριλαμβανομένης και της στεφανιαίας νόσου έχει επίσης αναφερθεί (122, 133). Παρόλα αυτά ο ακριβής φυσιολογικός μηχανισμός που συνδέει την

αφυδάτωση με τις χρόνιες παθήσεις δεν έχει εξακριβωθεί πλήρως. Στην παρούσα μελέτη δείξαμε ότι ακόμη και τα μέτρια επίπεδα αφυδάτωσης φαίνεται να επηρεάζουν τη λειτουργία του ενδοθηλίου βραχυπρόθεσμα. Παρόλα αυτά, τα συγκεκριμένα ευρήματα δε μπορούν να εξαχθούν αβίαστα και για επίδραση της αφυδάτωσης μακροπρόθεσμα. Άρα η άποψη ότι όταν ένα άτομο υπόκειται σε παρατεταμένη χρονικά αρνητική υδατική ισορροπία, τότε προκαλούνται και ανεπιθύμητες επιδράσεις στην καρδιαγγειακή ομοιόσταση, θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο έρευνας σε μακροχρόνιες μελέτες. Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι ιδιαιτέρως σημαντικό σε πληθυσμούς οι οποίοι είναι χρονίως αφυδατωμένοι όπως οι ηλικιωμένοι, στους οποίους τα αυξημένα επίπεδα αφυδάτωσης (224), και η παράλληλη μείωση στην πρόσληψη υγρών (220, 225) και στην αίσθηση της δίψας (226), είναι συνεχή ευρήματα. Κατά συνέπεια, η χρονική επίδραση της αφυδάτωσης στην ενδοθηλιακή λειτουργία και η επίδραση διαφορετικών επιπέδων αφυδάτωσης, είναι ενδιαφέροντα ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης.

Τα στοιχεία από την παρούσα μελέτη προσθέτουν μία ακόμη σημαντική παράμετρο η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τους μελετητές στη μεθοδολογία μέτρησης του FMD. Τα αποτελέσματά μας δείχνουν ότι το επίπεδο υδάτωσης των εξεταζόμενων θα πρέπει να συνυπολογίζεται μεταξύ άλλων, ειδιάλλως υπάρχει πιθανότητα παρερμηνεύσης των αποτελεσμάτων.

Ένας πιθανός περιορισμός στην παρούσα μελέτη είναι η απουσία δειγματοληψίας αίματος στη δοκιμή ελέγχου. Ωστόσο, για μια τόσο σύντομης διάρκειας άσκηση, δεν αναμένονταν αξιοσημείωτες μεταβολές σε αιματολογικές παραμέτρους που να σχετίζονταν με τη λειτουργία του ενδοθηλίου.

Τέλος, παρόλο που η πιθανότητα αργοπορημένης επίδρασης της άσκησης στο FMD δε μπορεί να αποκλειστεί με βεβαιότητα, δεν είναι καθόλου πιθανή, λόγω του γεγονότος ότι οι επιδράσεις μίας απότομης συνεδρίας άσκησης έχει αποδειχτεί ότι διαρκούν μόλις για λίγες ώρες μετά το πέρας αυτής και ουσιαστικά εξαφανίζονται μετά το πέρας 24 ωρών (227). Επιπρόσθετα ο έλεγχος για την επίδραση της άσκησης αποτελούσε σημαντικό παράγοντα για το σχεδιασμό της μελέτης, εξ' ου και η χρησιμοποίηση της ομάδας ελέγχου.

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη επιδεικνύει το γεγονός ότι ακόμη και τα μέτρια επίπεδα αφυδάτωσης σε νεαρά και υγιή άτομα, προκαλούν δυσμενείς μεταβολές στη λειτουργία του ενδοθηλίου και πιθανώς και στην καρδιαγγειακή ομοιόσταση. Οι κλινικές επιπτώσεις, οι ακριβείς

φυσιολογικοί μηχανισμοί, καθώς και τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα αυτού του ευρήματος, απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

Πίνακες-Γραφήματα

Πίνακας 3.1: Φυσιολογικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων

Χαρακτηριστικά	n=10
Ηλικία (έτη)	24.3±1.6
Φύλο (άνδρας /γυναίκα)	10/0
Βάρος (κιλά)	80.8±4.3
Ύψος (εκατοστά)	180.2±5.6
BMI (kg·m ⁻²)	24.4±0.3
Ολικό λίπος σώματος (%)	18.2±2.7
Ισχνή μάζα σώματος (κιλά)	63.3±1.4
Γλυκόζη νηστείας (mmol/L)	5.2±0.07
Τριγλυκερίδια πλάσματος (mmol/L)	0.94±0.08
Ολική χοληστερόλη (mmol/L)	4.51±0.25
HDL-χοληστερόλη (mmol/L)	1.21±0.08

Πίνακας 3.2: Δείκτες των επιπέδων υδάτωσης και στις δύο δοκιμές του πειραματικού πρωτόκολλου

	DEH			CONTROL		
	Αρχική μέτρηση	Τελική μέτρηση	p-value	Αρχική μέτρηση	Τελική μέτρηση	p-value
Σωματικό Βάρος (κιλά)	79.5±2.8	78.0±2.7	0.001	79.9±2.6	80.2±2.9	0.62
Ειδικό βάρος ούρων (mg/dL)	1.014±0.009	1.029±0.007	0.001	1.013±0.006	1.014±0.005	0.57
Μεταβολή Σωματικού Βάρους (%)		-1.9±0.1			0.2±0.04	

Πίνακας 3.3: Καρδιαγγειακές μεταβολές στη φάση ενυδάτωσης και στη φάση αφυδάτωσης στην DEH δοκιμή

	Ενυδάτωση	Αφυδάτωση	p-value
Καρδιακή συχνότητα (παλμοί/λεπτό)	77±2	78±2	0.45
Πίεση Αίματος (mmHg)			
Συστολική	119±4	115±3	0.11
Διαστολική	72±3	69±2	0.43
Μέση Αρτηριακή	89±3	85±2	0.36

Πίνακας 3.4: Η αντίδραση του FMD στις δύο δοκιμές του πειράματος.

	Αρχική μέτρηση	Τελική μέτρηση	% μεταβολής	p-value
FMD (DEH)	8.2±1.2%	6.0±1.0%*	-26.8	0.018
FMD (CON)	5.6±0.8%	5.4±1.1%	-3.5	0.887

* Υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των αρχικών και τελικών μετρήσεων του FMD στην DEH δοκιμή, $p<0.05$

4η Μελέτη: Η επίδραση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων στην αθλητική απόδοση

Εισαγωγή

Η υδατική ισορροπία είναι σημαντική για τη ζωή και για την υγεία γενικότερα. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι ακόμα και επίπεδα αφυδάτωσης του 2% αυξάνουν την καρδιαγγειακή κόπωση (146), μειώνουν την αθλητική απόδοση (139, 179) και εξαλείφουν τα πλεονεκτήματα του θερμοεγκλιματισμού (228). Έχει επίσης αναφερθεί ότι η πρόσληψη ενός υδατανθρακούχου διαλύματος κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης >1 ώρας, καθυστερεί την εμφάνιση του αισθήματος της κόπωσης (229, 230) και βελτιώνει την απόδοση (231, 232). Η συγκεκριμένη βελτίωση στην απόδοση αποδίδεται κυρίως στην διατήρηση υψηλότερων ρυθμών οξειδωσης γλυκόζης κατά τα τελευταία στάδια της άσκησης, καθώς και στην εξοικονόμηση του ηπατικού γλυκογόνου (233, 234). Ωστόσο κάτι αντίστοιχο δε συμβαίνει σε αγωνίσματα μικρότερης διάρκειας (<1h) και υψηλής έντασης (>75% $\text{VO}_{2\text{max}}$) όπου τα αποτελέσματα παραμένουν αντικρουόμενα, με μελέτες οι οποίες δείχνουν βελτίωση στην απόδοση (231, 232, 235) και άλλες οι οποίες δεν έχουν δείξει καμία βελτίωση (236-238). Ο φυσιολογικός μηχανισμός που πιθανώς να υπάρχει πίσω από αυτές τις παρατηρήσεις, δεν έχει ξεκαθαριστεί ακόμη πλήρως. Έχει αναφερθεί ότι οι εξωγενείς υδατάνθρακες υπό αυτές τις συνθήκες έχουν ελάχιστη συμμετοχή στο ρυθμό οξειδωσης των υδατανθράκων στους μυς (239). Επιπρόσθετα, είναι κοινώς αποδεκτό ότι η συγκέντρωση του μυϊκού γλυκογόνου δεν αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα κατά τη διάρκεια έντονων αγωνισμάτων τα οποία διαρκούν μέχρι τη 1 ώρα (239, 240). Συνεπώς, μπορεί κάποιος να υποθέσει ότι οι στοματικοί ή/και φαρυγγικοί υποδοχείς εμπλέκονται στη διαδικασία και ίσως παίζουν σημαντικό ρόλο (241). Μελέτες που έχουν δημοσιευτεί έχουν δείξει ότι η ενεργοποίηση των συγκεκριμένων υποδοχέων επηρεάζει την αίσθηση της δίψας καθώς και τη θερμορύθμιση σε αφυδατωμένα άτομα (20, 242). Πρόσφατα επιστημονικά δεδομένα έχουν μελετήσει το ρόλο της διαδικασίας του ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας, ως πιθανού μηχανισμού ο οποίος επηρεάζει την αθλητική απόδοση σε σύντομης διάρκειας και έντονα αγωνίσματα. Ανεξάρτητα από το είδος της άσκησης (κυκλοεργόμετρο ή δαπεδοεργόμετρο), υπάρχουν μελέτες οι οποίες εμφανίζουν θετική επίδραση της διαδικασίας του ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας με αθλητικό-υδατανθρακούχο ποτό στην αθλητική απόδοση (25, 27, 30, 32), ενώ άλλες μελέτες δεν έχουν αναφέρει καμία τέτοια επίδραση (26, 235).

Παρότι το νερό αποτελεί το πιο σύνηθες καταναλισκόμενο ποτό κατά την άσκηση, καμία μελέτη δεν έχει εξετάσει την πιθανή επίδραση του ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας ή της

κατάποσης μικρής ποσότητας νερού, στην απόδοση. Μία πρωτότυπη μελέτη η οποία χρησιμοποίησε απεικόνιση μέσω μαγνητικής τομογραφίας, έδειξε ενεργοποίηση περιοχών του εγκεφάλου οι οποίες φαίνεται να σχετίζονται με την αμοιβή και τον κινητικό έλεγχο, κατά τη διάρκεια ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας με υδατανθρακούχο διάλυμα σε ηρεμία. Τα συγκεκριμένα ευρήματα προτείνουν ότι η παρουσία υδατανθράκων στη στοματική κοιλότητα ενισχύουν την απόδοση πιθανά μέσω ενεργοποίησης του κεντρικού νευρικού συστήματος (32).

Με βάση τα υπάρχοντα ερευνητικά δεδομένα, δεν έχει πραγματοποιηθεί μελέτη η οποία να εξετάζει την πιθανή ενεργοποίηση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων, μέσω της κατάποσης μικρής ποσότητας νερού, στην αθλητική απόδοση σε ήδη αφυδατωμένα άτομα. Υποθέσαμε ότι η ενεργοποίηση των συγκεκριμένων υποδοχέων, μέσω της κατανάλωσης μικρής ποσότητας νερού, θα οδηγήσει σε αυξημένης διάρκειας χρόνο άσκησης, σε σύγκριση με τη διαδικασία ξεπλύματος της στοματικής κοιλότητας σε αφυδατωμένα άτομα.

Μέθοδοι και αναλυτικές διαδικασίες

Εξεταζόμενοι

Στη συγκεκριμένη μελέτη έλαβαν μέρος 10 ποδηλάτες αντοχής με σωματομετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον πίνακα 4.1. Η συμμετοχή των εθελοντών έγινε μετά από αναλυτική παρουσίαση των στόχων της μελέτης, των υποχρεώσεών τους, καθώς και των πιθανών κινδύνων που απορρέουν από τη συμμετοχή τους. Ο κάθε εθελοντής υπέγραψε συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής πριν από τη συμμετοχή του στη μελέτη. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την Διακήρυξη του Ελσίνκι και αφού πήρε την έγκριση από την Επιτροπή Βιοηθικής του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου. Τα κριτήρια αποκλεισμού για τη συμμετοχή στη μελέτη περιελάμβαναν μια φυσιολογική εξέταση και την απουσία οποιασδήποτε μεταβολικής, καρδιαγγειακής ή νεφρικής πάθησης. Η σύσταση του σώματος πραγματοποιήθηκε με απορροφησιομετρία ακτίνων X διπλής ενέργειας (μοντέλο DPX-MD; Lunar Corp, Madison, WI).

Πειραματικός Σχεδιασμός

Όλες οι δοκιμασίες πραγματοποιήθηκαν το πρωί και μετά από δεκάωρη νηστεία, σε περιβάλλον με θερμοκρασία ~31°C. Οι δοκιμασίες απείχαν μεταξύ τους τουλάχιστον μία εβδομάδα. Τη μέρα πριν από κάθε δοκιμασία, ζητήθηκε από τους εθελοντές να απέχουν από την κατανάλωση αλκοόλ, ποτών που να περιέχουν καφεΐνη, καθώς και από οποιαδήποτε έντονη φυσική

δραστηριότητα. Για να ελαχιστοποιηθούν οι διαφορές στην αρχική συγκέντρωση γλυκογόνου, ζητήθηκε από τους εθελοντές να καταγράψουν τη δίαιτά τους το εικοσιτετράωρο που προηγείτο της μέτρησης και στη συνέχεια, να επαναλάβουν την ίδια διατροφή σε κάθε επερχόμενη μέτρηση.

Κατά την 1^η επίσκεψη, οι εθελοντές πραγματοποίησαν ένα τεστ αυξανόμενης έντασης έως εξάντλησης σε κυκλοεργόμετρο (Monark 839 E, Vansbro, Sweden) με σκοπό τον καθορισμό της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (VO_{2max}) και του μέγιστου έργου (W_{max}). Ο εξεταζόμενος ποδηλατούσε για 5 λεπτά στα 100 Watt για προθέρμανση. Μετά το πέρας της προθέρμανσης, η αντίσταση αυξανόταν κατά 50 Watt κάθε 2.5 λεπτά, μέχρι η καρδιακή συχνότητα να φτάσει τους 160 παλμούς/λεπτό. Από αυτό το σημείο και έπειτα, η αντίσταση αυξανόταν με ρυθμό 25 Watt κάθε 2.5 λεπτά μέχρι εξάντλησης. Το W_{max} υπολογιζόταν μέσω της εξίσωσης :

$$W_{max} = W_{out} + (t / 150) \times 25$$

όπου W_{out} είναι η αντίσταση στο τελευταίο ολοκληρωμένο στάδιο, και t ο χρόνος του τελευταίου μη ολοκληρωμένου σταδίου (243).

Στάδιο αφυδάτωσης. Κατά την άφιξή τους στο εργαστήριο οι εθελοντές έδιναν δείγμα ούρων για ανάλυση. Το αρχικό σωματικό βάρος τους καταγραφόταν, με τους εθελοντές να φοράνε μόνο τα εσώρουχά τους. Εν συνεχεία, ένας φλεβικός καθετήρας τοποθετιόνταν σε φλέβα του πήχεως. Για να αποφευχθεί η δημιουργία πηγμάτων εσωτερικά του καθετήρα γινόταν πλύση του, με 4 mL αραιού διαλύματος ηπαρίνης ($20 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$) μετά τη λήψη κάθε δείγματος αίματος. Μετά από 20 λεπτά σε ανάπαυση από καθιστή στάση το πρώτο δείγμα αίματος λαμβάνονταν. Μετά το πέρας της δειγματοληψίας, ακολουθούσε το στάδιο της αφυδάτωσης και εν συνεχεία η δοκιμασία απόδοσης. Τέλος, οι συνολικές αλλαγές σωματικού βάρους υπολογιζόντουσαν, και δείγματα αίματος λαμβανόντουσαν στο τέλος της αφυδάτωσης καθώς και στο τέλος της δοκιμασίας απόδοσης.

Το πρωτόκολλο αφυδάτωσης περιελάμβανε 2 ώρες εναλλασσόμενης άσκησης σε κυκλοεργόμετρο και δαπεδοεργόμετρο (ανά 30 λεπτά) με στόχο τη συνολική μείωση 2% του σωματικού βάρους. Κάθε 30λεπτη περίοδος διαχωριζόταν σε 25 λεπτά άσκησης και 5 λεπτά ανάπαυσης. Η ένταση της άσκησης είχε προσαρμοστεί έτσι ώστε η καρδιακή συχνότητα να πλησιάζει το 70% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (130 με 140 παλμούς το λεπτό) που στο κυκλοεργόμετρο αντιστοιχούσε κατά μέσο όρο στα $110 \pm 10 \text{ Watt}$ και στο δαπεδοεργόμετρο τα $8.0 \pm 0.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Το σωματικό βάρος μετριοταν αμέσως μετά την πάροδο κάθε 25λεπτου της άσκησης (244). Μετά το τέλος κάθε 25λεπτου διαστήματος, οι εθελοντές με τη βοήθεια στεγνής

πετσέτας παρέμεναν στεγνοί και το σωματικό τους βάρος καταγραφόταν φορώντας μόνο τα εσώρουχά τους. Το πρωτόκολλο αφυδάτωσης προκάλεσε μία αλλαγή του $-1.9 \pm 0.1\%$ στο συνολικό σωματικό βάρος των εθελοντών.

Δοκιμασία απόδοσης. Αμέσως μετά τη ζύγιση και τη συλλογή δείγματος αίματος και ούρων, οι εθελοντές ξεκινούσαν το τεστ μέχρι εξάντλησης, το οποίο περιελάμβανε σταθερής-έντασης ποδηλασίας στο 75% του $W_{\max}$ του κάθε εξεταζόμενου, με ρυθμό μεταξύ 80 και 100 στροφών. Πριν την έναρξη του τεστ, στους ποδηλάτες είχε δοθεί η οδηγία να ποδηλατήσουν μέχρι εξάντλησης. Τα ακόλουθα κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για να επιβεβαιωθεί ότι όντως οι εθελοντές ποδηλάτησαν μέχρι εξάντλησης ήταν: 1) αδυναμία διατήρησης των στροφών πάνω από τις 60 στροφές ανά λεπτό (245), και 2) καρδιακή συχνότητα τουλάχιστον του 85% από αυτή που παρατηρήθηκε κατά το τεστ εκτίμησης της $W_{\max}$. Το ύψος της σέλας του ποδηλάτου ήταν το ίδιο για κάθε εθελοντή σε όλες τις δοκιμασίες, ενώ οι εθελοντές έπρεπε να φοράνε ειδικά ποδηλατικά παπούτσια στη δοκιμασία απόδοσης. Προφορική ενίσχυση δινόταν από την πλευρά των ερευνητών στους ποδηλάτες μόνο στο τελευταίο στάδιο του τεστ. Τέλος, όλα τα ρολόγια, χρονόμετρα και καρδιοσυχνόμετρα, είχαν απομακρυνθεί από τη θέα των εξεταζόμενων καθ' όλη τη διάρκεια του τεστ.

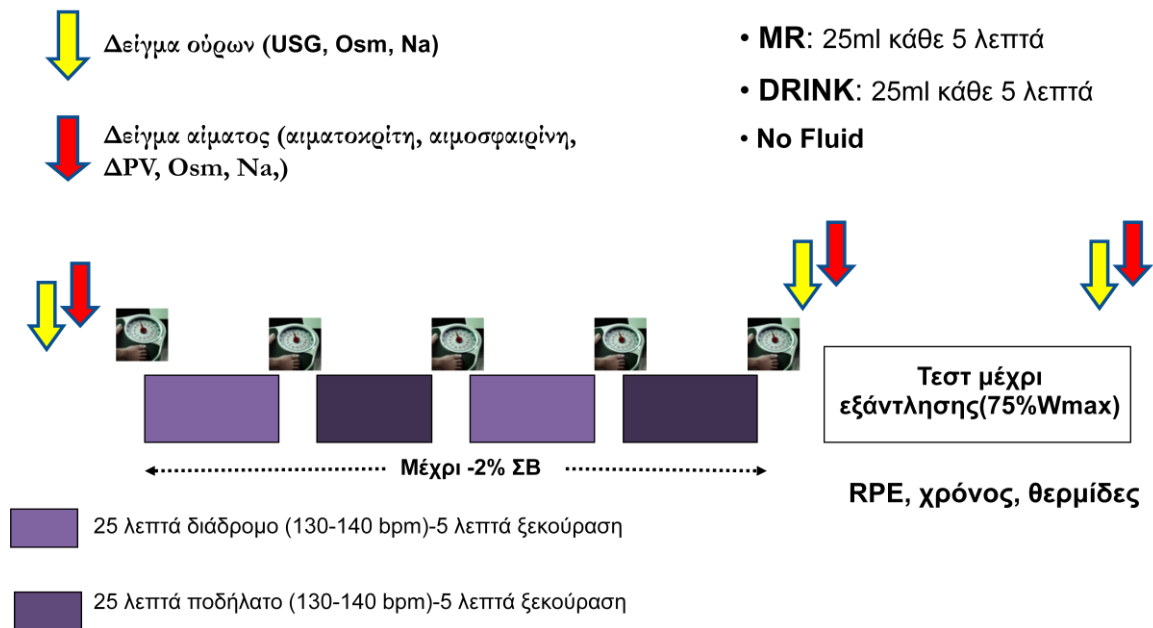
Κατά τη διάρκεια του τεστ απόδοσης οι εθελοντές ακολούθησαν μία από τις κάτωθι παρεμβάσεις με τυχαία σειρά:

1. *Ξέπλυμα στοματικής κοιλότητας (MR):* οι εθελοντές ξέπλεναν τη στοματική τους κοιλότητα με 25 mL νερού κάθε 5 λεπτά (25). Οι εξεταζόμενοι είχαν την οδηγία να ξεπλένουν τη στοματική τους κοιλότητα με νερό για 5 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια απέβαλαν την ποσότητα σε κουβά μπροστά τους που κρατούσε ο ερευνητής. Η συγκεκριμένη ποσότητα νερού μετριοταν σε ζυγαριά για να επιβεβαιωθεί ότι δεν είχε καταναλωθεί τίποτα.

2. *Κατάποση (DR):* οι εθελοντές κατά τη διάρκεια του τεστ κατανάλωναν 25 mL νερού κάθε 5 λεπτά. Η θερμοκρασία του νερού ήταν περίπου 15 °C βάσει μελέτης η οποία είχε προσδιορίσει την επιθυμητή θερμοκρασία νερού για αφυδατωμένα άτομα (246).

3. *Control (CON):* οι εθελοντές ολοκλήρωσαν τη δοκιμασία απόδοσης χωρίς την κατανάλωση οποιασδήποτε ποσότητας υγρού. Η συγκεκριμένη δοκιμή αποτέλεσε και τη δοκιμή ελέγχου.

Συνοπτικά το πειραματικό πρωτόκολλο παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Μετρήσεις: Τα δείγματα αίματος ήταν περίπου 15 mL σε κάθε λήψη. Άμεση ήταν η ανάλυση για τη συγκέντρωση του γαλακτικού στο αίμα, η οποία έγινε 2 φορές (Accutrend Lactate; Roche Diagnostics, Mannheim, Γερμανία). Ο αιματοκρίτης μετρήθηκε με τη μέθοδο του μικρο-αιματοκρίτη. Τα δείγματα ελέγχθηκαν τρεις φορές, αφού πρώτα φυγοκεντρήθηκαν για 4 λεπτά στις 10.000 στροφές. Η αιμοσφαιρίνη υπολογίστηκε με τη μέθοδο της κυανομεθαιμοσφαιρίνης, με τη βοήθεια αντιδραστηρίων της Sigma-Aldrich, Inc (Σεντ Λουις, ΗΠΑ). Τα δείγματα για την αιμοσφαιρίνη, μετρήθηκαν επίσης τρεις φορές. Ενώ οι μεταβολές του όγκου του πλάσματος προσδιορίστηκαν από τις τιμές του μικροαιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης, με βάση την εξίσωση των Dill και Costill (52). Το ειδικό βάρος των ούρων μετρήθηκε με διαθλασίμετρο χειρός ATAGO (cat. no 2734, Ιαπωνία) ενώ τέλος, οι μεταβολές της σωματικής μάζας προσδιορίστηκαν με ηλεκτρονικό ζυγό SECA (με ακρίβεια 100 γρ. Vogel & Halke Αμβούργο, Γερμανία). Ο ρυθμός εφίδρωσης (SR) υπολογίστηκε βάσει της εξίσωσης:

$$SR = ([\text{βάρος πριν την έναρξη του τεστ} - \text{βάρος μετά το τέλος του τεστ}] + \text{υγρά που καταναλώθηκαν}) / \text{χρόνο (79)}.$$

Η απόδοση κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας υπολογίστηκε με τη χρήση ηλεκτρονικού χρονομέτρου χειρός. Η καρδιακή συχνότητα καταγράφηκε με τη βοήθεια καρδιοσυχνόμετρου (Suunto T3C, Vantaa, Φιλανδία) ενώ ο δείκτης αντιλαμβανόμενης κόπωσης, μέσω της κλίμακας Borg (247). Το συνολικό έργο καταγράφηκε από τη συνολική τιμή που κατεγράφη στην οθόνη του κυκλοεργόμετρου Monark 839 E.

Στατιστική ανάλυση

Τα δεδομένα παρουσιάζονται ως μέσοι ± 1 τυπικό σφάλμα του μέσου. Οι συγκρίσεις ανάμεσα στις διάφορες δοκιμές της μελέτης πραγματοποιήθηκαν με ανάλυση διακύμανσης για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (Repeated Measures Analysis of Variance). Για την μεταξύ των διαφόρων σημείων σύγκριση ανάμεσα στις διάφορες δοκιμές χρησιμοποιήθηκε το τεστ Tukey. Οι διαφορές μεταξύ των δοκιμασιών παρουσιάζονται ως μέσοι ± 1 τυπικό σφάλμα του μέσου, μαζί με τα κατά 95% διαστήματα εμπιστοσύνης τους (CI). Ως αποδεκτό επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας θεωρήθηκε η τιμή $p < 0.05$.

Αποτελέσματα

Η κατανάλωση μιας μικρής ποσότητας νερού οδήγησε σε μεγαλύτερης διάρκειας άσκηση μέχρι εξάντλησης σε ελαφρώς αφυδατωμένα άτομα, σε σχέση με τη MR ή την CON δοκιμή [DR: 21.9 ± 1.2 λεπτά, 95% CI: 19.2 με 24.6, MR: 18.7 ± 1.3 λεπτά, 95% CI: 15.8 με 21.7, CON: 17.7 ± 1.1 λεπτά, 95% CI: 15.2 με 20.2 ($p = 0.012$)] (Σχήμα 4.1).

Τα 8 από τα 10 άτομα απέδωσαν καλύτερα κατά την DR σε σχέση με την MR και Control δοκιμή, ενώ τα 6 από τα 10 ποδηλάτησαν περισσότερη ώρα κατά την MR σε σχέση με την Control (Σχήμα 4.2). Η μικρή ποσότητα νερού που καταναλώθηκε κατέληξε σε μια αύξηση του χρόνου ποδηλασίας της τάξεως του $21.5 \pm 6.8\%$ (DR Vs MR) ενώ κατά $25.2 \pm 7.9\%$ αυξήθηκε ο χρόνος ποδηλασίας μέχρι εξάντλησης σε σχέση με τη δοκιμασία ελέγχου.

Οι τιμές για μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος, καρδιακή συχνότητα, και δείκτη υποκειμενικής κόπωσης, καθώς και συνολικού έργου στο πέρας της δοκιμασίας απόδοσης, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Η καρδιακή συχνότητα αυξήθηκε σταδιακά κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας μέχρι εξάντλησης, αγγίζοντας τιμές του 87 ± 3 , 89 ± 4 , και $88 \pm 3\%$ της μέγιστης καρδιακής συχνότητας, κατά τη διάρκεια του τελευταίου λεπτού του τεστ απόδοσης σε MR, DR, και CON δοκιμασία αντίστοιχα. Η μέγιστη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος 3 λεπτά μετά το τέλος του τεστ απόδοσης μετρήθηκε: στα 11.4 ± 1.8 , 10.9 ± 1.6 , 11.8 ± 2.1 mmol/L, αντίστοιχα. Όλοι οι ποδηλάτες ολοκλήρωσαν τη δοκιμασία μέχρι εξάντλησης με τιμές της τάξεως του: 15.7 ± 0.4 (MR), 15.5 ± 0.4 (DR), 15.7 ± 0.5 (CON) σύμφωνα με την κλίμακα Borg. Το συνολικό έργο ήταν σημαντικά υψηλότερο στη DR δοκιμή κατά την οποία οι εθελοντές κατανάλωναν

νερό, ωστόσο δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά σε καμία από τις προαναφερθείσες παραμέτρους μεταξύ των τριών δοκιμών ($p>0.05$).

Σύμφωνα με τις καταγεγραμμένες τιμές της μεταβολής του συνολικού σωματικού βάρους, οι εθελοντές ξεκίνησαν το τεστ απόδοσης όντας αφυδατωμένοι κατά -1.9 ± 0.1 (MR), -2.1 ± 0.1 (DR), και $-2.0\pm 0.1\%$ (CON) του συνολικού τους σωματικού βάρους. Επιπρόσθετα, μετά το πέρας της δοκιμασίας απόδοσης, η αφυδάτωση έφτασε το: -2.8 ± 0.1 , -2.9 ± 0.1 , και $-2.8\pm 0.1\%$ στις MR, DR και CON δοκιμές, αντίστοιχα ($p<0.05$). Οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί εφίδρωσης ήταν 1.5 ± 0.2 , 1.7 ± 0.4 και 1.5 ± 0.3 $L\cdot h^{-1}$ για τις MR, DR και CON δοκιμές αντίστοιχα, με τους εξεταζόμενους να καταναλώνουν μόλις 100 mL νερού μόνο στην DR δοκιμή.

Τέλος, ο όγκος πλάσματος μειώθηκε κατά τη διάρκεια του χρόνου, φτάνοντας το -2.2 ± 0.4 (MR), -2.0 ± 0.3 (DR), και $-2.1\pm 0.4\%$ (CON), στο τέλος της φάσης της αφυδάτωσης, και το -2.5 ± 0.4 (MR), -2.2 ± 0.3 (DR), και $2.3\pm 0.4\%$ (CON), στο τέλος της δοκιμασίας απόδοσης.

Σχολιασμός-Συμπεράσματα

Στην παρούσα έρευνα, εξετάστηκε η επίδραση της πιθανής ενεργοποίησης των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων, μέσω του «ξεπλύματος» της στοματικής κοιλότητας ή της κατανάλωσης μικρής ποσότητας νερού, στην απόδοση σε αφυδατωμένα άτομα. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα επιστημονικά δεδομένα, η παρούσα μελέτη είναι η πρώτη μελέτη η οποία εξέτασε το ρόλο των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων με νερό στην ποδηλατική απόδοση. Το κύριο εύρημα της μελέτης είναι ότι οι ποδηλάτες οι οποίοι κατανάλωσαν μικρή ποσότητα νερού, ποδηλάτησαν σημαντικά περισσότερο σε σχέση με την MR ή την CON δοκιμή.

Σε όλες τις δημοσιευμένες μελέτες, η διαδικασία του «ξεπλύματος» της στοματικής κοιλότητας είχε πραγματοποιηθεί με τη χρήση υδατανθρακούχου διαλύματος (25-28, 30-32). Στην περίπτωση κατά την οποία η συγκεκριμένη διαδικασία οδηγούσε σε βελτίωση της απόδοσης, οι ερευνητές απέδιδαν τη συγκεκριμένη βελτίωση σε κεντρική επίδραση λόγω της παρουσίας υδατανθράκων εντός της στοματικής κοιλότητας, η οποία με τη σειρά της, διεγείρει τα κέντρα αμοιβής και απόλαυσης στον εγκέφαλο (25, 30, 32). Επιπλέον, η συγκεκριμένη κεντρική διέγερση φαινόταν να ενεργοποιείται ανεξάρτητα από τον τύπο των υδατανθράκων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και από τη γεύση. Προς αποφυγή οποιασδήποτε επίδρασης λόγω χρησιμοποίησης υδατανθράκων, στην παρούσα μελέτη παρείχαμε στους εθελοντές απλό νερό. Αποδείξαμε λοιπόν, ότι ακόμη και μια μικρή ποσότητα νερού είναι ικανή να βελτιώσει την απόδοση σε επίπεδα έντασης τα οποία παρατηρούνται σε αγωνίσματα αντοχής, σε σύγκριση με

το «ξέπλυμα» της στοματικής κοιλότητας. Η αποτελεσματικότητα του νερού υποδεικνύει πιθανώς, ότι η αίσθηση της κατάποσης σε συνδυασμό με την δροσερή αίσθηση που το νερό προκαλεί στο γαστρεντερικό σωλήνα, μπορεί να προσδώσει κίνητρο σε αφυδατωμένα άτομα το οποίο να καταλήξει σε βελτίωση της απόδοσης. Τέλος, η απουσία οποιουδήποτε είδους υδατάνθρακα εντός της στοματικής κοιλότητας στη συγκεκριμένη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, αποκλείει την οποιαδήποτε πιθανότητα συνεισφοράς στους ρυθμούς συνολικής οξείδωσης των υδατανθράκων μέσω ακούσιας κατάποσης.

Υπάρχουν επίσης στοιχεία ότι η διαδικασία της κατάποσης από μόνη της, ενεργοποιεί τους στοματοφαρυγγικούς υποδοχείς οι οποίοι με τη σειρά τους, επηρεάζουν την υδατική ισορροπία, τη θερμορύθμιση, και πιθανώς την αθλητική απόδοση. Σύμφωνα με την μελέτη από τον Takamata και τους συνεργάτες του (242) η διαδικασία της κατάποσης έχει μια αντανakλαστική επίδραση στην ωσμωτική ρύθμιση της εφίδρωσης, καθώς και στην αντί-διουρητική ορμόνη σε αφυδατωμένα άτομα. Επιπροσθέτως, σε μία κλασική μελέτη των Figaro και Mack, οι εθελοντές πραγματοποίησαν τρία παρόμοια πρωτόκολλα αφυδάτωσης ακολουθούμενα από 75 λεπτά επανυδάτωσης στα οποία: 1) γινόταν άφθονη κατανάλωση νερού κατά βούληση (control δοκιμή), 2) έκχυση αντίστοιχης ποσότητας νερού απευθείας στο στομάχι μέσω ρινογαστρικού σωλήνα (έκχυση) και 3) κατά βούληση κατάποση με ταυτόχρονη εξαγωγή του καταναλισκόμενου νερού μέσω ρινογαστρικού σωλήνα (εξαγωγή). Οι επιστήμονες βρήκαν μία αντανakλαστική ανάσχεση της αντί-διουρητικής ορμόνης όπως και της δίψας στην control δοκιμή και στη δοκιμή της εξαγωγής, αλλά όχι κατά την έκχυση, γεγονός το οποίο καταδεικνύει ότι τα αντανakλαστικά των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων ρυθμίζουν τη δίψα και την έκκριση της αντιδιουρητικής.

Τέλος, ο Casa και οι συνεργάτες του, έδειξαν ότι η εκ του στόματος, παρά η ενδοφλεβίως χορηγούμενη επανυδάτωση, σε αφυδατωμένα άτομα, οδήγησε σε καλύτερη διατήρηση πολλών σημαντικών φυσιολογικών παραμέτρων. Παρότι οι διαφορές αυτές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές μεταξύ των δύο μεθόδων επανυδάτωσης, υπήρξε μια ξεκάθαρη τάση προς τη βελτίωση της απόδοσης όταν τα υγρά περνούσαν μέσω του στόματος, του φάρυγγα, του στομάχου και του εντέρου (241).

Σε μια πρόσφατα δημοσίευση από τον Rollo και τους συνεργάτες του, εξετάστηκε η επίδραση της κατάποσης σε σχέση με το «ξέπλυμα» της στοματικής κοιλότητας ενός υδατανθρακούχου διαλύματος, κατά τη διάρκεια μίας ωριαίας δοκιμασίας στο δαπεδοεργόμετρο (31). Σε αντίθεση με τα ευρήματα της μελέτης των Pottier και των συνεργατών του (28), το κύριο εύρημα της μελέτης έδειξε ότι η κατάποση ενός 6.5% υδατανθρακούχου διαλύματος σχετίστηκε ευθέως με

την μεγαλύτερη απόσταση που διάνυσαν οι δρομείς σε σχέση με την διαδικασία του «ξεπλύματος» της στοματικής κοιλότητας ή την placebo δοκιμή. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ο ρόλος της συνολικής ποσότητας διαλύματος ο οποίος καταναλώθηκε, στη βελτίωση της απόδοσης. Εν αντιθέσει με τη μεθοδολογία της δικής μας μελέτης όπου οι εθελοντές ήταν αφυδατωμένοι και κατανάλωσαν 100 ± 16.6 mL νερού, οι συμμετέχοντες στις προαναφερθείσες μελέτες, κατανάλωσαν 5-10 φορές περισσότερο όγκο υγρών (~500 και ~1000 mL, αντιστοίχως).

Αναγνωρίζουμε ότι ένας πιθανός περιορισμός στην παρούσα μελέτη είναι η φύση του τεστ απόδοσης το οποίο χρησιμοποιήθηκε. Παρότι χρησιμοποιείται κατά κόρον, η δοκιμασία απόδοσης μέχρι εξάντλησης μπορεί να θεωρηθεί υποκειμενική. Παρόλα αυτά, οι παράμετροι οι οποίοι μελετήθηκαν στα τελικά στάδια της δοκιμασίας (καρδιακή συχνότητα, ρυθμός στροφαρίσματος, και γαλακτικό στο αίμα) δεν αποκάλυψαν καμία στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των εθελοντών, γεγονός που υποδεικνύει ότι όλοι οι εθελοντές ήταν σχεδόν στα ίδια επίπεδα κόπωσης όταν η δοκιμασία απόδοσης έλαβε τέλος. Επιπρόσθετα, τα επίπεδα αφυδάτωσης στο τέλος της δοκιμασίας, εκφραζόμενα ως μεταβολή της σωματικής μάζας, δεν διέφεραν μεταξύ των δοκιμών (CON= -2.79 ± 0.13 , MR= -2.77 ± 0.18 και DR= $-2.94 \pm 0.17\%$; $p=0.48$) γεγονός που ισχυροποιεί την άποψη ότι οι προαναφερθείσες διαφορές στο χρόνο ποδηλασίας μέχρι εξάντλησης ήταν ανεξάρτητες και από τα επίπεδα αφυδάτωσης.

Συμπερασματικά, στην παρούσα μελέτη αποδείχτηκε ότι η κατάποση μιας μικρής ποσότητας νερού οδήγησε σε αυξημένο χρόνο άσκησης σε αφυδατωμένα άτομα, ακόμη και σε σύντομη αλλά έντονη δοκιμασία, πιθανώς μέσω ενεργοποίησης των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων. Οι ακριβείς φυσιολογικοί μηχανισμοί καθώς επίσης και η σχέση τους με την αθλητική απόδοση ωστόσο, απαιτούν περαιτέρω μελέτη.

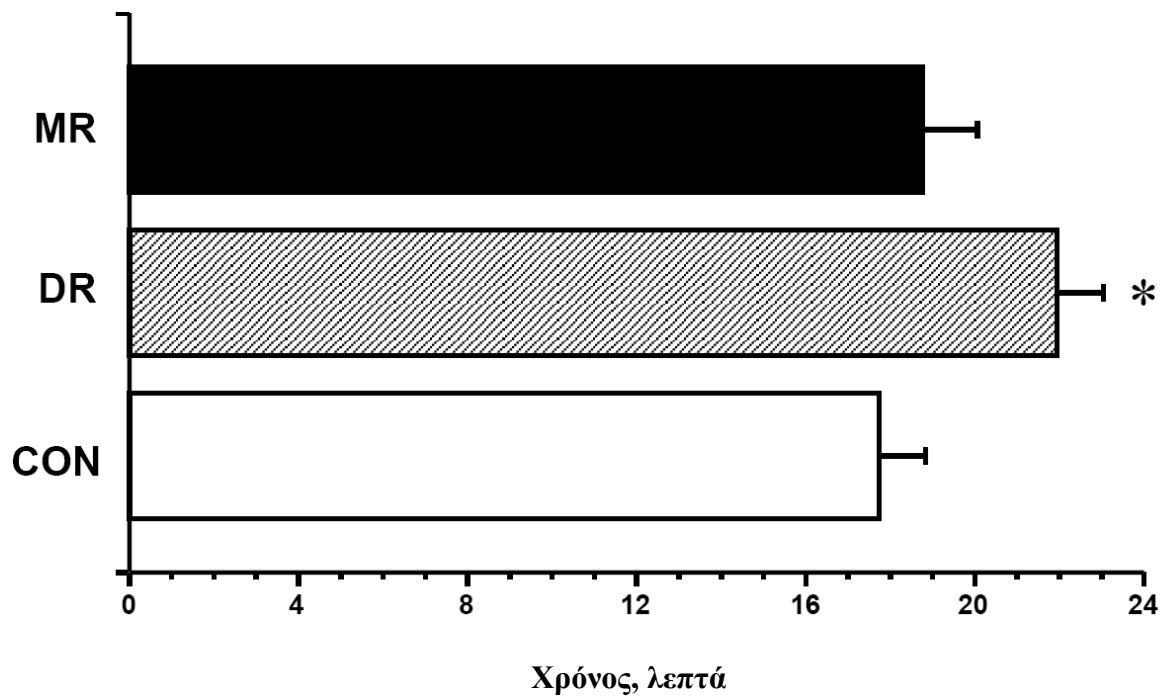
Πίνακες-γραφήματα

Πίνακας 4.1. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά των εθελοντών

Αριθμός συμμετεχόντων	n=10
Ηλικία (έτη)	25.9 ± 1.0
Σωματικό βάρος (κιλά)	78.2 ± 2.2
Ύψος (μέτρα)	1.78 ± 0.02
Δείκτης Μάζας Σώματος ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	23.4 ± 0.4
Λιπώδης Μάζα (%)	15.6 ± 1.6
VO_2 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	53.8 ± 4.8

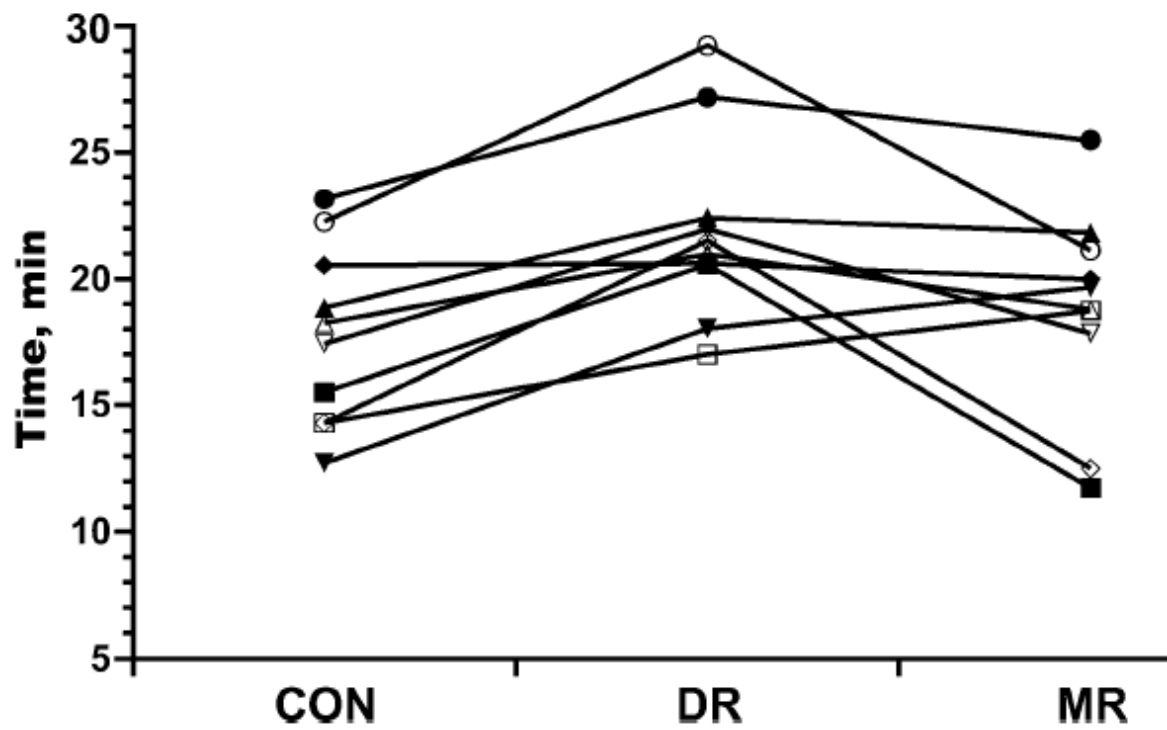
Πίνακας 4.2. Συγκέντρωση γαλακτικού οξέος, καρδιακή συχνότητα, δείκτης αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE) και συνολικό έργο στο τέλος της δοκιμασίας απόδοσης.

	MR	DRINK	CONTROL
Γαλακτικό (mmol/L)	11.4 ± 1.8	10.9 ± 1.6	11.8 ± 2.1
Καρδιακή συχνότητα (παλμοί/λεπτό)	167.1 ± 3.0	167.1 ± 3.5	167.3 ± 3.1
RPE (Borg)	15.7 ± 0.4	15.5 ± 0.4	15.7 ± 0.5
Συνολικό έργο (kJ)	228.6 ± 20.3	258.9 ± 15.0	221.4 ± 16.2



**Υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με την MR και CON δοκιμή, $p < 0.05$*

Σχήμα 4.1. Ο μέσος χρόνος απόδοσης στις MR, DR και CON δοκιμές.



Σχήμα 4.2. Ατομικά δεδομένα απόδοσης στις τρεις δοκιμές. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει και διαφορετικό εθελοντή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η επίδραση της αφυδάτωσης στην καρδιαγγειακή λειτουργία και στην αθλητική απόδοση. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε: (i) η έκταση της επικράτησης της αφυδάτωσης σε παιδιά-αθλητές που συμμετείχαν σε αθλητικά καμπ και αναζητήθηκε η σχέση της πρόσληψης υγρών με την απόδοση και τη δίψα (μελέτες #1 και #2), (ii) η επίδραση που τα μειωμένα επίπεδα υγρών στο σώμα έχουν στην καρδιαγγειακή λειτουργία, μέσω πιθανής επίδρασής τους στη λειτουργία του ενδοθηλίου (μελέτη #3) και (iii) η πιθανή δράση-ενεργοποίηση των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων σε αφυδατωμένα άτομα και η τυχόν επίδρασή τους στην αθλητική απόδοση (μελέτη #4).

Τα ευρήματα των συγκεκριμένων μελετών παρέχουν σημαντικά δεδομένα σχετικά με την επίδραση που έχει η αφυδάτωση στην αθλητική απόδοση αλλά και στην υγεία γενικότερα, τα οποία συνοψίζονται ως εξής:

- Το φαινόμενο της αφυδάτωσης είναι πολύ σύνθηες και σε παιδιά-αθλητές, τα οποία μάλιστα εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά αφυδάτωσης. Το οποιοδήποτε πρόγραμμα παρέμβασης με στόχο την ενημέρωσή τους σχετικά με τα οφέλη της διατήρησης των βέλτιστων επιπέδων υδάτωσης φαίνεται να βοηθάει σημαντικά, βελτιώνοντας πέρα από τα επίπεδα υδάτωσης και την απόδοση, ενώ ταυτόχρονα φαίνεται ότι η διαδεδομένη άποψη του να πίνει κάποιος σύμφωνα με το αίσθημα της δίψας του κατά την προπόνηση, δεν είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος αναπλήρωσης των απωλειών του σε υγρά.
- Τα μειωμένα επίπεδα υγρών στο σώμα, φαίνεται να επηρεάζουν αρνητικά την ενδοθηλιακή λειτουργία, προσδιοριζόμενης μέσω της μέτρησης της αγγειοδιαστολής μέσω ροής (FMD). Η εξέχουσα σημασία του ενδοθηλίου για την καρδιαγγειακή λειτουργία, ίσως και να συνδέει αρνητικά την ύπαρξη της αφυδάτωσης με τη συνολική καρδιαγγειακή λειτουργία, γεγονός ιδιαίτερα κρίσιμο για ευαίσθητους πληθυσμούς και το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και κατά την πραγματοποίηση μέτρησης της λειτουργίας του ενδοθηλίου.
- Το αίσθημα της κατάποσης νερού, φαίνεται να ενεργοποιεί τους υποδοχείς που βρίσκονται εντός της στοματικής κοιλότητας και του φάρυγγα, οι οποίοι με τη σειρά τους επηρεάζουν σημαντικά την αθλητική απόδοση ήδη αφυδατωμένων ατόμων.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα παρέχουν σημαντικά στοιχεία για την επίδραση που έχουν τα μειωμένα επίπεδα υδάτωσης στον οργανισμό, στην αθλητική απόδοση και στην καρδιαγγειακή λειτουργία, παράλληλα όμως δίνουν το έρεισμα και για περαιτέρω μελέτες.

Οι μελέτες #1, #2 που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή, είναι από τις λίγες αντίστοιχες μελέτες που υπάρχουν σχετικά με την εκτίμηση των επιπέδων υδάτωσης σε παιδιά-αθλητές. Παραδόξως, υπάρχουν περιορισμένα επιστημονικά δεδομένα για αυτόν τον συγκεκριμένο και εξαιρετικά κρίσιμο πληθυσμό που ασκείται υπό συνθήκες εκτός εργαστηρίου και θα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρον λοιπόν, να πραγματοποιηθούν και άλλες μεγαλύτερες πληθυσμιακές μελέτες σε σχέση με τα επίπεδα υδάτωσης και τους νεαρούς αθλητές. Θα ήταν επίσης χρήσιμο να μελετηθεί και η επίδραση και άλλων παραγόντων όπως είναι η φύση του αθλήματος. Θα είχε παραδείγματος χάρη αξία να μελετηθεί η συμπεριφορά των αθλητών του υγρού στίβου στο θέμα των επιπέδων υδάτωσης τους. Επιπλέον θα ήταν πολύ πρακτικό να εξετασθούν και να προταθούν και άλλα παρεμβατικά προγράμματα ενημέρωσης, καθώς και καινούργιες-καινοτόμες αλλά και ρεαλιστικές στρατηγικές ενυδάτωσης οι οποίες να μπορούν εύκολα να ακολουθηθούν, από γονείς, προπονητές και αθλητές και να έχουν επιτυχή αποτελέσματα.

Όσον αφορά τη σχέση της αφυδάτωσης με την καρδιαγγειακή λειτουργία είναι προφανές ότι έχουμε να κάνουμε με ένα πολύπλοκο και πολυπαραγοντικό ζήτημα, το οποίο παρουσιάζει, λόγω και του γεγονότος ότι άρχισε να μελετείται διεξοδικά τα τελευταία χρόνια, σημαντικά ερευνητικά κενά. Στο συγκεκριμένο κομμάτι της σχέσης μεταξύ των επιπέδων υδάτωσης και της καρδιαγγειακής λειτουργίας, θα ήταν ουσιώδες εάν μπορούσαν να αποκαλυφτούν οι φυσιολογικοί μηχανισμοί που βρίσκονται πίσω από τις τυχόν μεταβολές, πχ. μέσω μετρήσεων ορμονών οι οποίες σχετίζονται άμεσα και με την αφυδάτωση αλλά και με τη λειτουργία του ενδοθελίου. Η μέτρηση παραδείγματος χάρη της αγγειοπιεσίνης η οποία αυξάνεται με την αφυδάτωση και παράλληλα αποτελεί ισχυρό αγγειοσυσταλτικό παράγοντα θα έδινε σημαντικές πληροφορίες για τη σχέση υδάτωσης-ενδοθελιακής λειτουργίας. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον επίσης θα ήταν να μελετηθούν και οι τυχόν επιδράσεις διαφορετικών επιπέδων αφυδάτωσης, όπως επίσης και η χρονική δράση της αφυδάτωσης (έναρξη και διάρκεια) σε σχέση με το ενδοθήλιο. Τέλος, θα είχε αξία να ερευνηθεί και η επίδραση των απωλειών σε υγρά στην ενδοθελιακή λειτουργία, σε «ευαίσθητες» πληθυσμιακές ομάδες (πχ. ηλικιωμένοι).

Τέλος, σε ότι έχει να κάνει σχέση με τη δράση των υποδοχέων εντός της στοματικής κοιλότητας και στον φάρυγγα με την αθλητική απόδοση, οφείλουμε να αναγνωρίσουμε καταρχήν ότι η

απόλυτη εξακρίβωση της ύπαρξής τους, θα αποτελούσε σημαντικότατο εύρημα. Πέραν τούτου, η πραγματοποίηση ερευνών που να εξετάζουν την τυχόν επίδρασή τους, καθώς και τη σύγκριση μεταξύ της μεθόδου του Mouth-Rinse ή της κατάποσης μικρής ποσότητας υγρών, στην απόδοση σε μελέτες πεδίου, θα παρουσίαζε σημαντικό επιστημονικό αλλά και αθλητικό ενδιαφέρον. Τέλος, με βάση και τα αποτελέσματα της πρωτοποριακής έρευνας των Chambers και των συνεργατών του με τη χρήση απεικόνισης περιοχών του εγκεφάλου μέσω μαγνητικής τομογραφίας (32), θα είχε αξία να πραγματοποιηθούν και άλλες αντίστοιχες μελέτες οι οποίες να ερευνούν περιοχές του εγκεφάλου που πιθανώς να ενεργοποιούνται μέσω της κατάποσης μικρής ποσότητας υγρών ως απόρροια της δράσης των στοματοφαρυγγικών υποδοχέων.

Παράρτημα 1: Δημοσιεύσεις

Στη συνέχεια παραθέτονται οι δημοσιεύσεις που έχουν προκύψει από τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής. Οι δύο δημοσιεύσεις που ακολουθούν στηρίζονται στα αποτελέσματα της 2^{ης} και της 4^{ης} μελέτης. Τα αποτελέσματα της 3^{ης} μελέτης βρίσκονται υπό κρίση, ενώ της 1^{ης} μελέτης, υπό κρίση προς δημοσίευση.

Educational intervention on water intake improves hydration status and enhances exercise performance in athletic youth

S. A. Kavouras, G. Arnaoutis, M. Makrillos, C. Garagouni, E. Nikolaou, O. Chira, E. Ellinikaki, L. S. Sidossis

Laboratory of Nutrition & Clinical Dietetics, Department of Nutrition and Dietetics, Harokopio University, Athens, Greece
Corresponding author: Stavros A. Kavouras, PhD, FACSM, Laboratory of Nutrition & Clinical Dietetics, Department of Nutrition and Dietetics, Harokopio University, 70 El. Venizelou Ave, 17671 Athens, Greece. Tel: +30210-9549173, Fax: +30210-9549141, E-mail: skav@hua.gr

Accepted for publication 10 January 2011

We aimed to evaluate whether an intervention program emphasizing in increased fluid intake can improve exercise performance in children exercising in the heat. Ninety-two young athletes participated in the study (age: 13.8 ± 0.4 years, weight: 54.9 ± 1.5 kg). Thirty-one (boys: 13, girls: 18) children served as the control group (CON) and 61 (boys: 30, girls: 31) as the intervention (INT). Volunteers had free access to fluids. Hydration was assessed on the basis of first morning urine. A series of field tests were used to evaluate exercise performance. All tests occurred outdoors in the morning (mean ambient temperature = 28°C). After baseline testing, INT attended a lecture on hydration, and urine color charts were mounted in all bathrooms. Additionally, water accessibility was facilitated in training,

dining and resting areas. Hydration status was improved significantly in the INT [USG: pre = 1.031 ± 0.09 , post = 1.023 ± 0.012 , $P < 0.05$; urine osmolality (mOsm/kg water): pre = 941 ± 30 , post = 782 ± 34 , $P < 0.05$], while no statistically significant changes were found in the CON [USG: pre = 1.033 ± 0.011 , post = 1.032 ± 0.013 , $P > 0.05$; urine osmolality (mOsm/kg water) 970 ± 38 vs 961 ± 38 , $P > 0.05$]. Performance in an endurance run was improved significantly only in INT (time for 600 m: pre = 189 ± 5 s, post = 167 ± 4 s, $P < 0.05$). Improving hydration status by ad libitum consumption of water can enhance performance in young children exercising in the heat.

Water and electrolyte balance are critical for the function of all organs and indeed, for maintaining health in general. It has been shown that losses as small as 2% of body weight (BW) increase significantly physiologic strain (Gonzalez-Alonso et al., 1995), decrease exercise performance (Montain & Coyle, 1992; Gonzalez-Alonso et al., 1997) and hinder the thermoregulatory advantages conferred by high aerobic fitness (Cadarette et al., 1984) and heat acclimatization (Sawka et al., 1983).

It has been also documented that even when water or sports drink availability is present, inadequate fluid intake during exercise under warm conditions is disadvantageous for both children and adults (Bar-Or et al., 1980; Meyer et al., 1995). Early studies have indicated that children usually exhibit lower maximal aerobic capacity, higher adiposity and less sweat than do adults when exercising in warm environments, due to their greater body surface area-to-mass ratio, which in turn leads to faster heat absorption from the environment when ambient temperature exceeds skin temperature (Epstein et al., 1983; Falk et al., 1992a,b; Marino et al., 2000). This fact limits their reliance in evaporative heat loss (Meyer et al., 1992).

Furthermore, children, similar to adults, do not drink enough to adequately replace water losses under warm conditions and exhibit hypohydration even when fluids are provided ad libitum, a phenomenon described as involuntary dehydration (Bar-Or et al., 1980; Greenleaf, 1992; Wilk & Bar-Or, 1996). However, contrary to the aforementioned observations, current research information fails to indicate thermoregulatory differences in the heat between children and adults, demonstrating that data in this specific field are not entirely clear (Falk & Dotan, 2008; Rowland, 2008).

Furthermore, little information is available concerning the capacity of children exercising in the heat. The majority of the research to date has been performed in sedentary non-acclimatized children under controlled environments (Bar-Or et al., 1980; Meyer et al., 1995; Wilk & Bar-Or, 1996; Iuliano et al., 1998). Additionally, there is a lack of studies investigating the relationship between the hydration status of children and their physical performance in free-living situations. To our knowledge, the relation of hydration status in children exercising in free-living situations has not been investigated systematically

(Wilk et al., 2007; Rivera-Brown et al., 2008). A recent work by McDermott et al. (2009) showed that children arrived at a football camp hypohydrated and maintained this condition throughout their stay leading to impaired recovery and subsequent performance. The educational intervention used did not reveal a clear change in hydration status.

It was hypothesized that facilitation of water intake will lead to significant enhancement in the field tests. Therefore, the purpose of the present study was to investigate the effect of a nutrition intervention program emphasizing water consumption on the prevention of dehydration, and in addition, study the effects of hydration improvement in the physical performance of young athletes.

Materials and methods

Data collection occurred in a summer training camp during two consecutive 5 days in Loutraki, Greece during August 2007. A total of 92 young trained volleyball or basketball athletes participated in the study; their physiological characteristics are presented in Table 1. In the first week, 31 children (boys: 13, girls: 18) served as the control group (CON) and at the second week 61 children (boys: 30, girls: 31) served as the intervention group (INT). Although this study design, where two completely separate sets of youths were used, may have had some limitations concerning the between-week differences in environmental factors however, this was unavoidable due to all the extra hydration info provided in the INT group. The study was approved by the University human subjects committee and all volunteers and their parents were informed about the nature of the study and gave informed written consent. All subjected were healthy, active individuals and trained regularly at least for 2 years (at mean: three times per week) and had a normal BMI for age, according to Cole criteria (Cole et al., 2007). A medical history questionnaire was used to exclude participant with conditions that could affect the interpretation of our data, including:

- Evidence of clinically relevant cardiovascular, hematologic, hepatic, gastrointestinal, renal, pulmonary, endocrine or psychiatric history of disease.
- Surgical operation on digestive tract, except possible appendectomy.
- Regular drug treatment within 15 days before start of the study.
- Inability to participate in the entire study.

Protocol

The daily program in the camp consisted of an early morning workout, a mid-day rest and an evening training. Hydration

status was assessed in the morning of the second (pre) and fourth (post) day of the camp (08:00 hours) based on the first morning urine sample and BW was also measured. After a standardized breakfast-snack, a specific warm-up was performed, including mainly light running and basic stretching exercises. Afterward, children were divided into groups and performed a series of field performance tests randomly: 600 m maximum running test, 30 m maximum sprint running test, vertical jump and a skill test for volley ball and basketball. Vertical jump was measured by getting the children to reach up against a flat wall, with a flat surface under their feet and mark off the highest point they could reach flat-footed (standing height). Then, they were instructed to complete three jumps from a squatting position, marking off the highest point they could reach. The distance between the two marks (standing height vs highest point) was measured and served as their vertical jump. The skill test in volleyball was the number of successful service out of five trials that will reach a specific metal rectangular target (130 × 78 × 68 cm) on the opposite part of the court. For basketball, the skill test consisted of the number of point scored in five consecutive free throws from the keyhole. Heart rate was measured during the tests with telemetry and it was recorded immediately after the end of the 600 m and 30 m run. The performance tests were performed only in the second and fourth day of the children's stay in the camp, without any earlier familiarization, in order to avoid any biased results due to learning effect. The environmental temperatures for days 2 and 4 for the control group were 27.0 and 29.0 °C and wet bulb temperature (WBGT) 21.5 and 20.0 °C, respectively, while for the intervention group environmental temperatures were 29.0 °C for day 2 and 28 °C for day 4, while WBGT was 20.0 and 21 °C, respectively. Statistical comparisons between WBGT values for both groups did not reveal any significant differences.

Bottled water (Volvic[®], Puy De Dome, France) was distributed to all camp facilities, while kids had free access to the camp's cafeteria, which also provided sport and soft drinks. Nevertheless, according to a specific Food Frequency Questionnaire that was provided, most of the children were drinking mainly water.

Hydration assessment

Hydration status was assessed from first morning urine samples based on urine specific gravity (USG) and urine osmolality (Uosm). Cut off point for euhydration was based on USG < 1.020 and Uosm < 700 mOsm/kg water, according to the ACSM position statement (Sawka et al., 2007). USG was measured with a table-based refractometer (Gast Manufacturing Inc., Benton Harbor, Michigan, USA). Urine osmolality was measured in duplicate, by freezing point depression (3D3 Advanced Osmometer, Advanced Instruments Inc., Norwood, Massachusetts, USA). A modified version of the environmental symptom questionnaire (Sampson & Kobrick, 1980) was used at the end of the performance tests both pre- and post-intervention. An exit camp questionnaire was also provided on day 5 in order to assess volunteers perception regarding their fluid intake and practical issues related to fluid access.

Intervention plan

Following the second day evaluation in the control group, no instructions or feedback was given to the kids, but they had free access to fluids as they do during typical workouts or games. In the intervention group following the hydration assessment and the performance testing, the athletes

Table 1. Physiological characteristics of the study participants

Characteristics	n = 92	CON = 31	INT = 61
Age (years)	13.8 ± 4.2	13.2 ± 2.3	14.0 ± 4.8
Gender (men/women)	43/49	13/18	30/31
Weight (kg)	54.9 ± 13.7	55.75 ± 2.5	54.5 ± 13.7
Height (cm)	164 ± 13.9	165 ± 14.8	163.1 ± 13.4
Body fat (%)	19.2 ± 7.3	18.8 ± 7.4	19.4 ± 7.2

Values are means ± SE.

participated in an intervention program that consisted of the following:

- One-hour lecture on hydration and its benefits, during which subjects were given instructions for maintaining optimal hydration. Verbal and written key points for maintenance of good hydration status were also provided.
- The urine color chart (Armstrong et al., 1994, 1998) was explained and color copies were mounted in all bathrooms of the camp facilities.
- Improved water accessibility throughout the facilities of the sports camp, in training, dining and rest areas with bottles of water placed everywhere.
- During some of the workouts, athletes were weighted before and after with minimal clothing to identify fluid losses during the workouts, while no instructions were given.

The control group had exactly the same conditions except that no educational intervention was provided.

Authorized persons performed data entry in a blind fashion using a personal computer equipped with statistical software SPSS 16. For purposes of data control, a second, authorized person re-entered the data; and then, a computerized cross-control was performed to assess data conformity. Once data conformity was achieved, the data were considered clean and ready for analysis. Data are presented as mean $\pm$ SE or frequencies. A two-way analysis of variance model was used to check differences between the two groups and over time (pre- and post-intervention) in normally distributed data. Normality was tested by the Shapiro-Wilk test. For non-normally distributed variables, their log-transformation was used to test differences. Differences in demographic characteristics as well as changes between groups were tested by one-way analysis of variance. A type I error of 0.05 or less was the threshold for statistical significance.

Results

The 92 young trained volleyball and basketball athletes participated in the study, were separated in two groups, the control (CON) (age 13.3 ± 0.4 years, weight 55.7 ± 2.5 kg, height 1.66 ± 0.25 m and body fat $18.9 \pm 1.5\%$) and the intervention (INT) group (age 14.1 ± 0.6 years, weight 54.5 ± 1.8 kg, height 1.63 ± 0.73 m and body fat $19.4 \pm 1.3\%$). Non statistical significance was found between the characteristics of the study participants. Hydration assessment showed that based on the USG criteria (<1.020), 96.7% (30 out of 31) and 91.7% (56 out of 61) of the CON and INT group, respectively, were dehydrated on the second day of the camp. At the fourth day, 96.7% (30 out of 31) and 66.1% (40 out of 61) of the CON and INT group, respectively, were classified as dehydrated. The data showed that a significantly smaller percent of subjects was classified as dehydrated as a response of the intervention ($P = 0.003$) (Fig. 1).

As shown in Fig. 2, when dehydration was assessed based on the urine osmolality (>700 mOsm/kg water), then 90.3% (28 out of 31) and 83.3% (51 out of 61) of the CON and INT group, respectively, were dehydrated before the intervention (second

Water intake and endurance performance

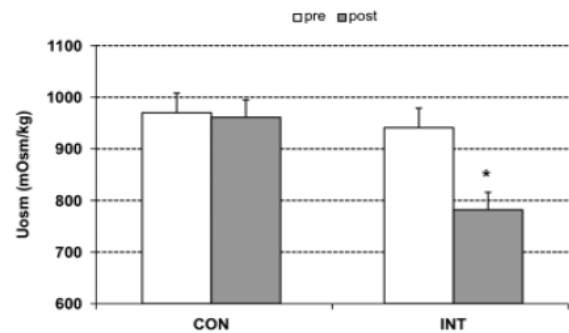


Fig. 1. Urine specific gravity (USG) before and after the intervention in the control and intervention group. *Statistically significant difference between pre and post in each group.

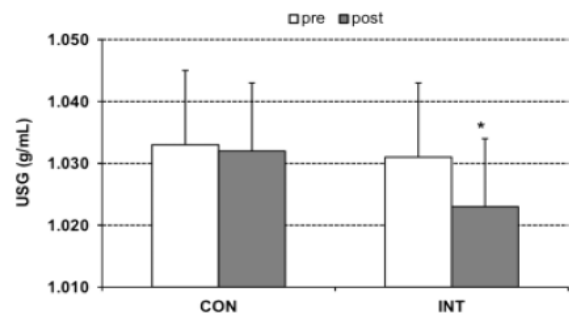


Fig. 2. Urine osmolality before and after the intervention in the control and intervention group. *Statistically significant difference between pre and post in each group.

day). As a response to the intervention, the percentage of the subjects that were classified as dehydrated in the INT group decreased to 62.1% ($P = 0.005$), while there was no difference in the CON group (90.0%).

Table 2 presents the results in the performance tests performed by the children. Endurance performance in the 600 m running test was improved only in INT [pre: 189 ± 5 s, post: 167 ± 4 s ($P = 0.009$)] while no differences were found in the heart rate immediately after the test [pre: 191 ± 1 bpm, post: 190 ± 1 bpm ($P > 0.05$)]. No differences were found between the pre and post intervention in both of the groups in sprint performance and vertical jump. Skill test score for the CON group was 1.48 ± 1.0 and 1.48 ± 1.17 , pre and post, respectively ($P > 0.05$). For the INT group, the same score was 1.50 ± 1.0 and 1.55 ± 1.0 , pre and post, respectively ($P > 0.05$).

At the end of the camp, athletes were asked different questions related to self-perception of the hydration. The results presented in Table 3, were reported to a score ranging from 1 to 10 (1 = very bad, 5 = ok, 10 = great job) for the CON and INT group. From the environmental symptoms

Table 2. Performance tests

Test	CON _{pre}	CON _{post}	% change	INT _{pre}	INT _{post}	% change
600 m (s)	186 ± 10	177 ± 5	-7.7 ± 2.2	189 ± 5	167 ± 4*	-12.7 ± 1.5
30 m (s)	5.6 ± 0.1	5.6 ± 0.1	0.74 ± 1.06	5.7 ± 0.5	5.6 ± 0.6	-1.07 ± 0.72
Vertical jump (cm)	26.3 ± 1.5	25.3 ± 1.8	-0.9 ± 1.05	25.0 ± 1.0	24.6 ± 1.1	-0.4 ± 1.10
Skill test	1.5 ± 1.0	1.5 ± 1.2	0.4 ± 0.9	1.5 ± 1.0	1.6 ± 1.0	0.9 ± 0.3

Values are means ± SE. *Statistically significant difference between pre and post.

questionnaire, no differences were found among the groups in symptoms related to heat or dehydration.

Discussion

The main finding of the study was that a relative simple but comprehensive intervention program proved successful for enhancing hydration status over just a 2-day period. Additionally, the improvement of hydration status through ad libitum water intake, in free-living young athletes training in the heat, led to significant increases in endurance exercise performance.

To our knowledge, this research is the first field study which finds enhanced performance related to hydration status in the rarely studied youth population. A possible explanation for this improvement in endurance performance time, taking into consideration the fact that no differences were found in the heart rate immediately after the 600 m performance test, is that stroke volume was better preserved, consequently cardiac output was maintained and as a final result, aerobic capacity was significantly improved. These conclusions are in accordance with the results by Gonzalez-Alonso et al. (2000). Interestingly in a recent study, significantly greater heart rate was observed in dehydrated athletes at the end of submaximal or 10 and 20 min after the maximal trail running (Casa et al., 2010). However, in the present study the duration of the performance test was shorter and more intense inducing in both trials the same, near maximal, heart rate. Similarly with Casa et al. (2010), no differences in heart rate during exercise were found during maximal exercise.

Furthermore, although the improvement observed in performance time could be influenced by a learning effect from the first trial, no performance enhancement was revealed in the control group, supporting the finding of this investigation.

The high incidence of dehydration observed during the summer camp, pointed out by the USG and Uosm values on the baseline measurements, is in accordance with the values measured by two indicative studies, which found consistently high baseline USG values of young soccer players, resulting in the fact that athletes showed up to practice in a hypohy-

Table 3. Hydration awareness questionnaire scores

Questions	CON	INT
Do you think you did a good job keeping yourself hydrated during the camp?	8.2 ± 2.4	9.0 ± 1.9
Did the camp encourage hydration?	7.2 ± 3.0	9.3 ± 1.6
Did the camp allow you time to drink?	8.4 ± 2.4	9.9 ± 1.9
Were fluids readily accessible at the camp?	9.4 ± 1.7	9.5 ± 1.9
Was there anything that prevented you from hydrating during the camp?	0.2 ± 0.4	0.04 ± 0.2

Values are means ± SE.

drated state (Stover et al., 2006; Kotsis et al., 2007). These high values indicate that for the exercising children, education concerning the deleterious effects of dehydration and the possibility of heat injuries during exercise and on the other hand, the beneficial effects of optimal hydration status should be a priority at camps, games and practices.

However, the intervention program that was used through the lectures concerning the importance of good hydration on health and the free access to fluids resulted in a significant decline in the percentage of the dehydrated children in the intervention group. In a recent study, it was concluded that the provision of two 591 mL bottles of water or sport drink, one consumed between dinner and sleep and the other before morning training, is a simple method which leads to significant improvement to the hydration status of high-school football players, as indicated by USG values (Stover et al., 2006). Therefore, intervention to teach and facilitation of hydration accessibility, along with simple and realistic hydration strategies will benefit youths exercising at summer camps.

There is a plethora of investigations examining fluid intake before, during and after training and competition that have suggested that a lack of adequate fluid intake impairs or decreases physical performance (Sawka et al., 1983; Cadarette et al., 1984; Montain & Coyle, 1992; Gonzalez-Alonso et al., 1995, 1997; Armstrong et al., 1997; Maughan, 2003). To our knowledge, no study until now has examined the effect of hydration status on endurance performance in children. From the data presented, it is documented that free accessibility in water and education concerning the benefits of

optimal hydration status, which in turn increased the consumption of fluids, led to a significant improvement to the endurance test (600 m) performed by children.

Nevertheless, no significant differences were observed between the two groups in sprint performance, vertical jump and skill tests. In a review by Maughan (2003), it is shown that muscle strength and sprint performance appear to remain relatively unaffected under hypohydration state, explaining in part the observed non-significant results in sprint performance and vertical jump. However, Shirreffs et al. (2004) suggests that mild dehydration reduces the subjective perception of alertness and ability to concentrate.

Finally, in the present study it was observed that the subjects in both the control and the intervention group were in a hypohydrated state throughout their stay in the summer camp. Even though, most of the athletes in the control group and in the intervention group remained dehydrated they perceived that were doing good job staying hydrated (8.2 out of 10). In accordance with the results by a recent study, the children in the camp generally recognized whether they were doing a good or a bad job hydrating (Decher et al., 2008). However, they established a lack of transforming the hydration knowledge into effective hydration strategies. At last, it is important to mention the lack of any significant differences through the environmental symptoms questionnaire, which was provided, probably due to the fact that it

depicts incidence and severity of symptoms produced by exposure to extreme climatic conditions (Sampson & Kobrick, 1980).

Perspectives

Few studies have investigated the capacity of children exercising in the heat and the relationship of their hydration status and performance. In the present study, we demonstrated that the improvement in hydration status, through an educational intervention led to significant enhancement in endurance performance in exercising children. It is obvious that continued efforts must be made by coaches, camp staff and athletes, in order to educate the youths toward the benefits of optimal hydration state, the development of more efficient hydration strategies and the methods of assessing and monitoring their hydration status.

Key words: urine specific gravity, fluid ingestion, sport camp, hydration state, dehydration, children, environmental symptoms questionnaire.

Acknowledgements

The study was supported by Danone Research, Daniel Carasso Research Centre, France. No conflict of interest or any financial disclosure exists.

References

- Armstrong LE, Maresh CM, Castellani JW, Bergeron MF, Kenefick RW, LaGasse KE, Riebe D. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr* 1994; 4: 265–279.
- Armstrong LE, Maresh CM, Gabaree CV, Hoffman JR, Kavouras SA, Kenefick RW, Castellani JW, Ahlquist LE. Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol* 1997; 82: 2028–2035.
- Armstrong LE, Soto JA, Hacker FT Jr., Casa DJ, Kavouras SA, Maresh CM. Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *Int J Sport Nutr* 1998; 8: 345–355.
- Bar-Or O, Dotan R, Inbar O, Rotshtein A, Zonder H. Voluntary hypohydration in 10- to 12-year-old boys. *J Appl Physiol* 1980; 48: 104–108.
- Cadarette BS, Sawka MN, Toner MM, Pandolf KB. Aerobic fitness and the hypohydration response to exercise-heat stress. *Aviat Space Environ Med* 1984; 55: 507–512.
- Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, Ganio MS, McDermott BP, Walker Yeargin S, Yamamoto LM, Mazerolle SM, Roti MW, Armstrong LE, Maresh CM. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train* 2010; 45: 147–156.
- Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ* 2000; 320(7244): 1240–1243.
- Decher NR, Casa DJ, Yeargin SW, Ganio MS, Levcreault ML, Dann CL, James CT, McCaffrey MA, Oconnor CB, Brown SW. Hydration status, knowledge, and behavior in youths at summer sports camps. *Int J Sports Physiol Perform* 2008; 3: 262–278.
- Epstein Y, Shapiro Y, Brill S. Role of surface area-to-mass ratio and work efficiency in heat intolerance. *J Appl Physiol* 1983; 54: 831–836.
- Falk B, Bar-Or O, Calvert R, MacDougall JD. Sweat gland response to exercise in the heat among pre-, mid-, and late-pubertal boys. *Med Sci Sports Exerc* 1992a; 24: 313–319.
- Falk B, Bar-Or O, MacDougall JD. Thermoregulatory responses of pre-, mid-, and late-pubertal boys to exercise in dry heat. *Med Sci Sports Exerc* 1992b; 24: 688–694.
- Falk B, Dotan R. Children's thermoregulation during exercise in the heat: a revisit. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008; 33: 420–427.
- Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol* 1995; 79: 1487–1496.
- Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1997; 82: 1229–1236.

- Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000; 278: H321–H330.
- Greenleaf JE. Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 645–656.
- Iuliano S, Naughton G, Collier G, Carlson J. Examination of the self-selected fluid intake practices by junior athletes during a simulated duathlon event. *Int J Sport Nutr* 1998; 8: 10–23.
- Kotsis YP, Kavouras SA, Tsekouras YE, Pidoulas GP, Sotiropoulos A, Makrillos M, Sidossis LS. Prevalence of dehydration in young soccer players during a summer soccer camp (abstract). *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: S49.
- Marino FE, Mbambo Z, Kortekaas E, Wilson G, Lambert MI, Noakes TD, Dennis SC. Advantages of smaller body mass during distance running in warm, humid environments. *Pflugers Arch* 2000; 441: 359–367.
- Maughan RJ. Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57(Suppl. 2): S19–S23.
- McDermott BP, Casa DJ, Yeargin SW, Ganio MS, Lopez RM, Mooradian EA. Hydration status, sweat rates, and rehydration education of youth football campers. *J Sport Rehabil* 2009; 18: 535–552.
- Meyer F, Bar-Or O, MacDougall D, Heigenhauser GJ. Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 776–781.
- Meyer F, Bar-Or O, Wilk B. Children's perceptual responses to ingesting drinks of different compositions during and following exercise in the heat. *Int J Sport Nutr* 1995; 5: 13–24.
- Mountain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 1992; 73: 1340–1350.
- Rivera-Brown AM, Ramirez-Marrero FA, Wilk B, Bar-Or O. Voluntary drinking and hydration in trained, heat-acclimatized girls exercising in a hot and humid climate. *Eur J Appl Physiol* 2008; 103: 109–116.
- Rowland T. Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. *J Appl Physiol* 2008; 105: 718–724.
- Sampson JB, Kobrick JL. The environmental symptoms questionnaire: revisions and new field data. *Aviat Space Environ Med* 1980; 51: 872–877.
- Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Mountain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 377–390.
- Sawka MN, Toner MM, Francesconi RP, Pandolf KB. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J Appl Physiol* 1983; 55: 1147–1153.
- Shirreffs SM, Merson SJ, Fraser SM, Archer DT. The effects of fluid restriction on hydration status and subjective feelings in man. *Br J Nutr* 2004; 91: 951–958.
- Stover EA, Zachwieja J, Stofan J, Murray R, Horswill CA. Consistently high urine specific gravity in adolescent American football players and the impact of an acute drinking strategy. *Int J Sports Med* 2006; 27: 330–335.
- Wilk B, Bar-Or O. Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J Appl Physiol* 1996; 80: 1112–1117.
- Wilk B, Rivera-Brown AM, Bar-Or O. Voluntary drinking and hydration in non-acclimatized girls exercising in the heat. *Eur J Appl Physiol* 2007; 101: 727–734.

Water Ingestion Improves Performance Compared with Mouth Rinse in Dehydrated Subjects

GIANNIS ARNAOUTIS, STAVROS A. KAVOURAS, IRINI CHRISTAKI, and LABROS S. SIDOSSIS

Laboratory of Nutrition and Clinical Dietetics, Department of Nutrition and Dietetics, Harokopio University, Athens, GREECE

ABSTRACT

ARNAOUTIS, G., S. A. KAVOURAS, I. CHRISTAKI, and L. S. SIDOSSIS. Water Ingestion Improves Performance Compared with Mouth Rinse in Dehydrated Subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 44, No. 1, pp. 175–179, 2012. It has been suggested that mouth rinse and/or ingestion of fluids during exercise may have a beneficial effect on performance. However, the existing results are controversial. **Purpose:** We hypothesized that pharyngeal receptor activation through ingestion of a small amount of water could enhance performance better than mouth rinse in dehydrated subjects. **Methods:** Ten healthy trained male cyclists (weight = 78.2 ± 2.2 kg, age = 25.9 ± 1.0 yr, body fat = $15.6\% \pm 1.6\%$, $\dot{V}O_{2\max} = 53.8 \pm 4.8$ mL·kg⁻¹·min⁻¹) completed three time-to-exhaustion cycling tests at 75% of their maximum power output after being dehydrated by 2% of their total body weight. Dehydration was induced by a 2-h moderate-intensity exercise (70% of maximum HR), which included 30-min intervals alternating between jogging and cycling in the heat (31°C). All subjects repeated the protocol in random order on three separate occasions: a) mouth rinse with 25 mL of plain water before and every 5 min of the trial (MR), b) ingestion of 25 mL of plain water before and every 5 min (DR), and c) control (CON), where no fluids were provided. Blood and urine samples were collected at the beginning of the dehydration phase, before the performance test, and at the end of the experimental protocol. **Results:** A significantly greater time to exhaustion was recorded in the DR trial compared with MR and CON trials (21.9 ± 1.2 vs 18.7 ± 1.3 and 17.7 ± 1.1 min, respectively, $P < 0.05$). There were no differences in mean HR, maximum lactate concentration, or RPE between the three trials ($P > 0.05$). **Conclusions:** The results demonstrated that ingestion of even a small amount of water increased exercise time in dehydrated subjects possibly through activation of pharyngeal receptors. **Key Words:** SPORTS DRINK, DEHYDRATION, HYDRATION STATUS, EXERCISE, CYCLING, ORAL/PHARYNGEAL RECEPTORS

Fluid homeostasis is critical for life and maintenance of health in general. Numerous studies have shown that even dehydration of 2% of body weight increases cardiovascular strain (17), decreases exercise performance (18,23), and hinders the thermoregulatory advantages conferred by high aerobic fitness and heat acclimatization (33).

It is also well documented that the ingestion of a CHO solution during intense exercise lasting >1 h delays fatigue (12,32) and improves performance (1,19). This improvement has been attributed mainly to the maintenance of higher glucose oxidation rates during the later stages of exercise and liver glycogen sparing (13,31). However, this is not the case in shorter (<1 h) and intense events (>75% $\dot{V}O_{2\max}$) where the results remain controversial, with some studies showing an improvement in performance (1,5,19) and others having

not found such an effect (3,14,24). The physiological mechanism behind these observations is unclear. It has been reported that exogenous CHO under these conditions have minimal contribution to CHO oxidation in the muscle (22). In addition, it is well documented that muscle glycogen concentration is not the limiting factor during intense events lasting up to 1 h (22,29). Therefore, it has been hypothesized that mouth and/or pharyngeal receptors are involved in this process and may play an important role (10). Previous studies have suggested that activation of those receptors influence thirst and thermoregulatory responses in dehydrated subjects (16,30).

Recent scientific data have investigated the role of mouth rinse as a possible mechanism that could influence athletic performance in intense and short events. Despite the mode of exercise used (running or cycling), some studies indicate a positive effect of mouth rinsing with a CHO drink on performance (8,11,26,27), whereas others do not support these findings (4,34). Although water is the drink of choice for many athletes, no study has investigated the potential effect of mouth rinsing or drinking a small amount of water on performance. A novel study using functional magnetic resonance imaging showed activation of brain regions believed to be involved in reward and motor control during mouth rinse with a CHO drink at rest. These findings suggest that the presence of CHO in the mouth might enhance exercise performance by stimulation of the CNS and more precisely

Address for correspondence: Stavros A. Kavouras, Ph.D., FACSM, Laboratory of Nutrition and Clinical Dietetics, Department of Nutrition and Dietetics, Harokopio University, 70 El. Venizelou Ave., Athens 17671, Greece; E-mail: skav@hua.gr.

Submitted for publication January 2011.

Accepted for publication June 2011.

0195-9131/12/4401-0175/0

MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE®

Copyright © 2012 by the American College of Sports Medicine

DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182285776

in brain regions associated with reward, such as the orbito-frontal cortex, insula/frontal operculum, and striatum (11).

To our knowledge, no study has investigated the influence of the possible activation of oral-pharyngeal receptors, via swallowing a small amount of water, on exercise performance in previously dehydrated subjects. We hypothesized that oral-pharyngeal receptor activation through ingestion of a small amount of water could lead to increased exercise time compared with mouth rinse in dehydrated subjects.

METHODS

Participants

Ten healthy endurance-trained cyclists were recruited to participate in the study. Their physical characteristics are presented in Table 1. Each subject gave informed consent, and the protocol was approved by the university review board. The sample size was considered adequate to achieve 75% power at a 5% significance level. Eligibility criteria for participation in the study included a normal physical examination and absence of any metabolic, cardiovascular, or renal disease. Body composition was assessed by dual-energy x-ray absorptiometry (model DPX-MD; Lunar Corp., Madison, WI).

Experimental Protocol

All trials were performed in the morning after an overnight fast of at least 10 h and at an ambient temperature of 31°C. Trials were separated by at least 1 wk. The day before each trial, participants were instructed to refrain from any consumption of alcohol, caffeine-containing drinks, and any type of vigorous physical activity. To minimize differences in starting muscle glycogen concentrations, subjects were instructed to record their diet 24 h before their first visit. Their diet record was copied and returned to the participants with instructions to follow the same diet before each subsequent visit.

Pretests. During the first visit, an incremental exercise test to volitional fatigue at a self-selected cadence on a cycle ergometer (Monark 839E; Monark Exercise, Vansbro, Sweden) was performed to determine maximum oxygen consumption ($\dot{V}O_{2\max}$) and maximal workload ($\dot{W}_{\max}$). Subjects started with a 5-min warm-up at 100 W. After the warm-up, the workload was increased by 50 W every 2.5 min until the HR reached 160 bpm. The workload was then increased

by 25 W every 2.5 min until exhaustion. $\dot{W}_{\max}$ was calculated using the following equation:

$$\dot{W}_{\max} = W_{\text{out}} + 25 (t/150)$$

where W_{out} is the last completed stage and t is the time of the final unfinished stage (21).

Dehydration phase. On their arrival at the laboratory, subjects emptied their bladders, and urine samples were collected for subsequent analysis. Baseline body weight was then recorded with the subjects wearing only their shorts. Afterward, a venous catheter was placed into a forearm vein and kept patent by flushing of heparinized saline solution (20 U·mL⁻¹) after every blood sample. After 20 min of rest in a seated position in the heat (31°C), the first blood sample was collected. After the sampling, the dehydration protocol and the performance test followed. Finally, body weight changes were calculated, and urine and blood samples were collected at the end of the dehydration phase and at the end of the performance test.

The dehydration protocol included a 2-h phase of alternate walking and cycling (30 min interval) to induce a 2% body water loss. Every 30-min period consisted of 25 min of exercise and 5 min of rest. The intensity of exercise was adjusted so as to elicit an HR of 70% of maximum HR (130 and 140 bpm) during cycling (on average, at 110 ± 10 W) and walking (at 8.0 ± 0.4 km·h⁻¹). Body weight was recorded immediately after every 25-min period of exercise (2). After the completion of each 25-min period, the subjects were towel dried, and their body weight was recorded with the subjects wearing only their shorts. The dehydration protocol induced a $-1.9\% \pm 0.1\%$ change in the total body weight of the subjects.

Performance test. Immediately after the blood and urine collection, the subjects began their time-to-exhaustion test, consisting of steady-state cycling at 75% of their individual $\dot{W}_{\max}$ at a cadence ranging between 80 and 100 rpm, on a Monark cycle ergometer set in constant-power mode. Before the performance test, subjects were instructed to exercise till volitional exhaustion. The following criteria were used to ensure true attainment of their maximal effort: a) inability to maintain cadence above 60 rpm (20) and b) HR at least 85% of the one observed during the $\dot{W}_{\max}$ test. Seat height was the same for each person for all the trials, and cycling shoes with cleats were used. Verbal encouragement was provided only at the later stages of the test. Finally, all clocks, stopwatches, HR monitors, and cycle computers were removed from subjects' view during the whole duration of the test. For the performance test, the subjects underwent one of the following interventions in a random order:

1. Mouth rinse (MR): subjects rinsed their oral cavity with 25 mL of water every 5 min (8). The participants were instructed to rinse their mouths with water for approximately 5 s and then spit the fluid into a bowl held by an investigator. This specific amount of water was weighed to verify that nothing was ingested.

TABLE 1. Characteristics of the study participants.

No. of participants	10
Age (yr)	25.9 ± 1.0
Weight (kg)	78.2 ± 2.2
Height (m)	1.78 ± 0.02
BMI (kg·m ⁻²)	23.4 ± 0.4
Body fat (%)	15.6 ± 1.6
$\dot{V}O_2$ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	53.8 ± 4.8

Values are means ± SE.
BMI, body mass index.

2. Drink (DR): the subjects during the exhaustion test ingested 25 mL of water every 5 min. Water temperature was selected at 15°C on the basis of an earlier work describing temperature preferences of dehydrated humans (7).
3. No fluid: the cyclists completed the time-to-exhaustion test without ingesting any amount of fluid. This trial served as the control (CON) trial.

For the experiment, Volvic® (Danone, Paris, France) bottled water was used for MR and DR trials ($[\text{Na}^+] = 11.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Analytical Measurements

Blood samples (approximately 15 mL in each draw) were analyzed immediately in triplicate for hematocrit (micro-hematocrit method) and hemoglobin (cyanomethemoglobin method, Drabkin reagent; Sigma, St. Louis, MO), while changes were used to calculate changes in plasma volume (15). Lactate was also measured in whole blood in duplicate (Accutrend Lactate; Roche Diagnostics, Mannheim, Germany). Sweat rate (SR) was calculated using the following equation: $\text{SR} = ([\text{pretest body mass} - \text{posttest body mass}] + \text{fluids consumed}) / \text{time}$ (9). HR was measured continuously using an HR monitor (T3C; Suunto, Vantaa, Finland). During the time-to-exhaustion test, the subjects were also asked to give their RPE using the 6- to 20-point Borg scale (6). Total work was recorded in kilojoules from the summary results provided by the ergometer's computer.

Statistical Analysis

Data are presented as means $\pm$ 1 SE. A repeated-measures ANOVA model was used to evaluate the effect of the treatment in the study variables. A Tukey test was conducted to examine between-trials effects. Data were also analyzed for an order effect. However, repeated ANOVA revealed no statistical significance ($P = 0.45$). Differences between trials are presented as means $\pm$ SE along with their 95% confidence intervals (CI).

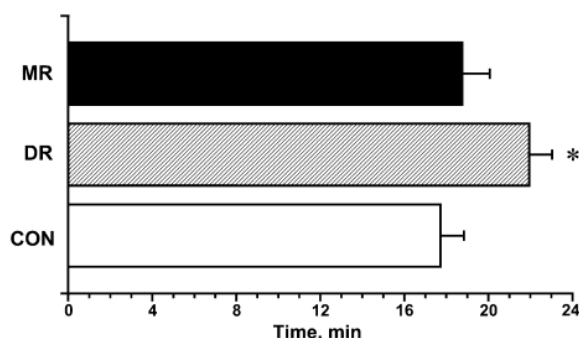


FIGURE 1—Mean performance time in MR, DR, and CON. Values are means $\pm$ SE. *Statistically significant difference from MR and CON, $P < 0.05$.

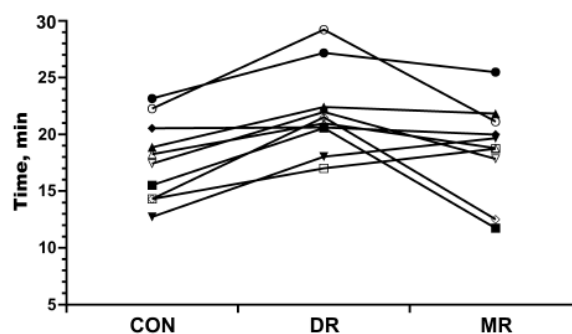


FIGURE 2—Individual performance data in MR, DR, and CON trials. Each line represents a different individual subject.

ence intervals (CI). A type I error of 0.05 or less was the threshold for statistical significance.

RESULTS

Ingestion of a small amount of water induced longer exercise time to exhaustion in mildly dehydrated subjects, when compared with the MR or the CON trial (DR = 21.9 ± 1.2 min, 95% CI = 19.2–24.6; MR = 18.7 ± 1.3 min, 95% CI = 15.8–21.7; CON = 17.7 ± 1.1 min, 95% CI = 15.2–20.2 ($P = 0.012$)) (Fig. 1). Eight of 10 subjects performed better with DR versus MR and CON, whereas 6 of 10 cycled longer with MR compared with CON (Fig. 2). Ingestion of a small amount of water resulted in a $21.5\% \pm 6.8\%$ increase in cycling time (DR vs MR) and in a $25.2\% \pm 7.9\%$ greater time to exhaustion compared with placebo (DR vs CON).

Values for maximum lactate concentration, HR, RPE, and total work at the end of the performance test are presented in Table 2. HR increased gradually throughout the time-to-exhaustion test, reaching values of $87\% \pm 3\%$, $89\% \pm 4\%$, and $88\% \pm 3\%$ of HR maximum at the final minute of the time-to-exhaustion trial, for MR, DR, and CON trials, respectively. Maximum lactate concentration 3 min after the end of the performance test was 11.4 ± 1.8 , 10.9 ± 1.6 , and $11.8 \pm 2.1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. All the cyclists accomplished their time-to-exhaustion test with values of 15.7 ± 0.4 (MR), 15.5 ± 0.4 (DR), and 15.7 ± 0.5 (CON) according to the Borg scale. Total work was significantly higher in the DR trial where the subjects ingested water; however, no statistical significance was observed in any of the other aforementioned

TABLE 2. Lactate concentration, HR, RPE, and total work at the end of the performance test.

	MR	DR	CON
Lactate ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	11.4 ± 1.8	10.9 ± 1.6	11.8 ± 2.1
HR (bpm)	167.1 ± 3.0	167.1 ± 3.5	167.3 ± 3.1
RPE (Borg)	15.7 ± 0.4	15.5 ± 0.4	15.7 ± 0.5
Total work (kJ)	228.6 ± 20.3	$268.9 \pm 15.0^*$	221.4 ± 16.2

Values are means $\pm$ SE.

* Statistically significant difference from MR and CON, $P < 0.05$.

parameters between the three conditions ($P > 0.05$). According to the recorded changes of total body weight, the subjects began the performance test being dehydrated by $-1.9\% \pm 0.1\%$ (MR), $-2.1\% \pm 0.1\%$ (DR), and $-2.0\% \pm 0.1\%$ (CON) of their total body weight. Moreover, after the performance trial, dehydration reached $-2.8\% \pm 0.1\%$, $-2.9\% \pm 0.1\%$, and $-2.8\% \pm 0.1\%$ in the MR, DR, and CON trials, respectively ($P < 0.05$). Calculated SR values were 1.5 ± 0.2 , 1.7 ± 0.4 , and $1.5 \pm 0.3 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ for the MR, DR, and CON trials, respectively, with the cyclists consuming 100 mL of water only in the DR trial. Finally, plasma volume decreased over time, reaching $-2.2\% \pm 0.4\%$ (MR), $-2.0\% \pm 0.3\%$ (DR), and $2.1\% \pm 0.4\%$ (CON) at the end of the dehydration phase and $-2.5\% \pm 0.4\%$ (MR), $-2.2\% \pm 0.3\%$ (DR), and $2.3\% \pm 0.4\%$ (CON) at the end of the performance test.

DISCUSSION

In the present study, we examined the effect of the potential activation of oral and pharyngeal receptors, through mouth rinse or ingestion of a small amount of water, on performance in dehydrated subjects. To the best of our knowledge, this is the first study that investigated the role of the oral-pharyngeal receptors with water on cycling performance. The main finding is that the cyclists who ingested the small amount of water cycled significantly longer when compared with either the MR or the CON trial.

In all published studies, mouth rinsing was performed with a CHO-containing solution (8,11,25–27,34). When mouth rinse enhanced performance, the researchers attributed this improvement to a central effect due to the presence of CHO in the oral cavity, which, in turn, stimulates the reward and/or pleasure centers in the brain (8,11,25,26). Moreover, this central drive was activated despite the type of CHO used and regardless of flavor. To avoid any motivation via the effect of the use of CHO, we provided plain water. We demonstrated that a small amount of water can also enhance performance in exercise intensities typically observed in endurance events, better than mouth rinse. In addition, the efficacy of water suggests that probably, the sensation of swallowing along with the cool sense in the digestive track can motivate moderately dehydrated subjects and lead to an increase in performance. Finally, the absence of any type of CHO within the oral cavity entirely rules out any risk of possible contribution to total CHO oxidation rates via unintentional swallowing.

There is evidence that drinking itself activates the oropharyngeal receptors, which, in turn, influence significantly fluid balance, thermoregulation, and possibly exercise performance. According to the results by Takamata et al. (30), the act of drinking has a reflex effect on the osmotic regulation of sweating and on arginine vasopressin (AVP) in dehydrated subjects. Moreover, in a classic study published by Figaro and Mack (16), subjects performed three identical dehydration protocols followed by 75 min of rehydration

consisting of 1) *ad libitum* drinking (control), 2) infusion of a similar volume of water directly into the stomach via a nasogastric tube (infusion), and 3) *ad libitum* drinking with simultaneous extraction of ingested fluid via a nasogastric tube (extraction). The researchers found reflex inhibition of AVP and thirst in control and extraction but not during infusion, suggesting that oropharyngeal reflexes modulate thirst and the secretion of AVP.

Lastly, Casa et al. (10) demonstrated that oral, in contrast to intravenous, rehydration in dehydrated subjects resulted in better maintenance of many physiological parameters. Although no statistically significant differences were observed between the two methods of rehydration, there was a clear trend toward performance enhancement when the fluids were passing through the typical oral-pharyngeal-stomach-intestine pathway.

In a recent published study by Rollo et al. (28), the researchers investigated the influence of ingesting versus mouth rinsing a CHO-electrolyte solution during a 1-h run. In contrast to the results by Pottier et al. (25), their main finding was that ingestion of a 6.5% CHO-electrolyte solution was associated with a greater distance covered during a 1-h performance run in comparison with mouth rinsing and the ingestion of the same volume of a placebo solution. However, it is important to note the possible effect of total fluid volume ingested on performance. Contrary to our methodology where participants were dehydrated and ingested $100 \pm 16.6 \text{ mL}$ of water, the volunteers in the aforementioned studies ingested 5–10 times greater volume of fluids (~ 500 and $\sim 1000 \text{ mL}$, respectively).

We acknowledge that a possible limitation of our study is the performance test that it used. Although very common in exercise testing, the time-to-exhaustion test can be subjective. However, the parameters measured in the final stages of the test (blood lactate, HR, and cadence) revealed no significant differences between the subjects, implying that all subjects were approximately at the same fatigue level when the performance test was terminated. Furthermore, dehydration at the end of the exercise test, as expressed by reduction of body mass, did not differ among the trials (CON = $-2.79\% \pm 0.13\%$, MR = $-2.77\% \pm 0.18\%$, and DR = $-2.94\% \pm 0.17\%$; $P = 0.48$), indicating that the aforementioned performance differences in cycling time to exhaustion were independent of the dehydration level.

In conclusion, the present study demonstrated that ingestion of a small amount of water could lead to increased exercise time in dehydrated subjects, even in short and intense events, possibly through activation of the oral-pharyngeal receptors. The underlying physiological mechanism and its implication in sports performance need further examination.

No conflict of interest or financial disclosure exists.

The results of the present study do not constitute endorsement by the American College of Sports Medicine.

REFERENCES

- Anantaraman R, Carmine AA, Gaesser GA, Weltman A. Effects of carbohydrate supplementation on performance during 1 hour of high-intensity exercise. *Int J Sports Med.* 1995;16(7):461–5.
- Anastasiou CA, Kavouras SA, Arnaoutis G, et al. Sodium replacement and plasma sodium drop during exercise in the heat when fluid intake matches fluid loss. *J Athl Train.* 2009;44(2):117–23.
- Backx K, van Someren KA, Palmer GS. One hour cycling performance is not affected by ingested fluid volume. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2003;13(3):333–42.
- Beelen M, Berghuis J, Bonaparte B, Ballak SB, Jeukendrup AE, van Loon LJ. Carbohydrate mouth rinsing in the fed state: lack of enhancement of time-trial performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009;19(4):400–9.
- Below PR, Mora-Rodríguez R, González-Alonso J, Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(2):200–10.
- Borg G. Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *Int J Sports Med.* 1982;3(3):153–8.
- Boulze D, Montastruc P, Cabanac M. Water intake, pleasure and water temperature in humans. *Physiol Behav.* 1983;30(1):97–102.
- Carter JM, Jeukendrup AE, Jones DA. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(12):2107–11.
- Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, et al. National Athletic Trainers' Association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train.* 2000;35(2):212–24.
- Casa DJ, Maresch CM, Armstrong LE, et al. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):124–33.
- Chambers ES, Bridge MW, Jones DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *J Physiol.* 2009;587(Pt 8):1779–94.
- Coggan AR, Coyle EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J Appl Physiol.* 1987;63(6):2388–95.
- Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol.* 1986;61(1):165–72.
- Desbrow B, Anderson S, Barrett J, Rao E, Hargreaves M. Carbohydrate-electrolyte feedings and 1 h time trial cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14(5):541–9.
- Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol.* 1974;37(2):247–8.
- Figaro MK, Mack GW. Regulation of fluid intake in dehydrated humans: role of oropharyngeal stimulation. *Am J Physiol.* 1997;272(6 Pt 2):R1740–6.
- González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol.* 1995;79(5):1487–96.
- González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol.* 1997;82(4):1229–36.
- Jeukendrup A, Brouns F, Wagenmakers AJ, Saris WH. Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *Int J Sports Med.* 1997;18(2):125–9.
- Jeukendrup A, Saris WH, Brouns F, Kester AD. A new validated endurance performance test. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(2):266–70.
- Kuipers H, Keizer HA, Brouns F, Saris WH. Carbohydrate feeding and glycogen synthesis during exercise in man. *Pflugers Arch.* 1987;410(6):652–6.
- McConnell GK, Canny BJ, Daddo MC, Nance MJ, Snow RJ. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics and muscle metabolism during intense endurance exercise. *J Appl Physiol.* 2000;89(5):1690–8.
- Montain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol.* 1992;73(4):1340–50.
- Palmer GS, Clancy MC, Hawley JA, Rodger IM, Burke LM, Noakes TD. Carbohydrate ingestion immediately before exercise does not improve 20 km time trial performance in well trained cyclists. *Int J Sports Med.* 1998;19(6):415–8.
- Pottier A, Bouckaert J, Gilis W, Roels T, Derave W. Mouth rinse but not ingestion of a carbohydrate solution improves 1-h cycle time trial performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2010;20(1):105–11.
- Rollo I, Cole M, Miller R, Williams C. Influence of mouth rinsing a carbohydrate solution on 1-h running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(4):798–804.
- Rollo I, Williams C, Gant N, Nute M. The influence of carbohydrate mouth rinse on self-selected speeds during a 30-min treadmill run. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008;18(6):585–600.
- Rollo I, Williams C, Nevill M. Influence of ingesting versus mouth rinsing a carbohydrate solution during a 1-h run. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(3):468–75.
- Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol.* 1993;265(3 Pt 1):E380–91.
- Takamata A, Mack GW, Gillen CM, Jozsi AC, Nadel ER. Osmoregulatory modulation of thermal sweating in humans: reflex effects of drinking. *Am J Physiol.* 1995;268(2 Pt 2):R414–22.
- Tsintzas K, Williams C. Human muscle glycogen metabolism during exercise. Effect of carbohydrate supplementation. *Sports Med.* 1998;25(1):7–23.
- Tsintzas OK, Williams C, Wilson W, Burrin J. Influence of carbohydrate supplementation early in exercise on endurance running capacity. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(11):1373–9.
- Wendt D, van Loon LJ, Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med.* 2007;37(8):669–82.
- Whitham M, McKinney J. Effect of a carbohydrate mouthwash on running time-trial performance. *J Sports Sci.* 2007;25(12):1385–92.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Haussinger D, Lang F, Gerok W. Regulation of cell function by the cellular hydration state. *Am J Physiol* 1994;267:E343-55.
2. Leiter LA, Marliss EB. Survival during fasting may depend on fat as well as protein stores. *JAMA* 1982;248:2306-7.
3. Martin AD, Daniel MZ, Drinkwater DT, Clarys JP. Adipose tissue density, estimated adipose lipid fraction and whole body adiposity in male cadavers. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1994;18:79-83.
4. Fomon SJ. Body composition of the male reference infant during the first year of life. *Pediatrics* 1967;40:863-70.
5. Edelman IS, Leibman J. Anatomy of body water and electrolytes. *Am J Med* 1959;27:256-77.
6. Morimoto T, Itoh T, Takamata A. Thermoregulation and body fluid in hot environment. *Prog Brain Res* 1998;115:499-508.
7. Sawka MN, Coyle EF. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev* 1999;27:167-218.
8. Kavouras SA. Assessing hydration status. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2002;5:519-24.
9. Reithner L. Insensible water loss from the respiratory tract in patients with fever. *Acta Chir Scand* 1981;147:163-7.
10. Mitchell JW, Nadel ER, Stolwijk JA. Respiratory weight losses during exercise. *J Appl Physiol* 1972;32:474-6.
11. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:i-vii.
12. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:377-90.
13. Armstrong L, Hubbard RW, Jones BH, JT. D. Preparing Alberto Salazar for the heat of the 1984 Olympic marathon. *Physician Sportsmed* 1986;14:73-81.
14. Convertino VA. Blood volume: its adaptation to endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:1338-48.
15. Mittleman KD. Influence of angiotensin II blockade during exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;72:542-7.

16. Sagawa S, Miki K, Tajima F, et al. Effect of dehydration on thirst and drinking during immersion in men. *J Appl Physiol* 1992;72:128-34.
17. Weitzman RE, Kleeman CR. The clinical physiology of water metabolism. Part I: The physiologic regulation of arginine vasopressin secretion and thirst. *West J Med* 1979;131:373-400.
18. Fitzsimons JT. The physiological basis of thirst. *Kidney Int* 1976;10:3-11.
19. Zerbe RL, Robertson GL. Osmoregulation of thirst and vasopressin secretion in human subjects: effect of various solutes. *Am J Physiol* 1983;244:E607-14.
20. Figaro MK, Mack GW. Regulation of fluid intake in dehydrated humans: role of oropharyngeal stimulation. *Am J Physiol* 1997;272:R1740-6.
21. Sanchez LD, Corwell B, Berkoff D. Medical problems of marathon runners. *Am J Emerg Med* 2006;24:608-15.
22. Simons SM, Kennedy RG. Gastrointestinal problems in runners. *Curr Sports Med Rep* 2004;3:112-6.
23. Jeukendrup AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 2004;20:669-77.
24. Jeukendrup AE, Jentjens RL, Moseley L. Nutritional considerations in triathlon. *Sports Med* 2005;35:163-81.
25. Carter JM, Jeukendrup AE, Jones DA. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:2107-11.
26. Whitham M, McKinney J. Effect of a carbohydrate mouthwash on running time-trial performance. *J Sports Sci* 2007;25:1385-92.
27. Rollo I, Williams C, Gant N, Nute M. The influence of carbohydrate mouth rinse on self-selected speeds during a 30-min treadmill run. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2008;18:585-600.
28. Pottier A, Bouckaert J, Gilis W, Roels T, Derave W. Mouth rinse but not ingestion of a carbohydrate solution improves 1-h cycle time trial performance. *Scand J Med Sci Sports* 2008.
29. Beelen M, Berghuis J, Bonaparte B, Ballak SB, Jeukendrup AE, van Loon LJ. Carbohydrate mouth rinsing in the fed state: lack of enhancement of time-trial performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009;19:400-9.
30. Rollo I, Cole M, Miller R, Williams C. Influence of mouth rinsing a carbohydrate solution on 1-h running performance. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:798-804.
31. Rollo I, Williams C, Nevill M. Influence of Ingesting Versus Mouth-Rinsing a Carbohydrate Solution during a 1 H Run. *Med Sci Sports Exerc* 2011.

32. Chambers ES, Bridge MW, Jones DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *J Physiol* 2009;587:1779-94.
33. Painelli VS, Roschel H, Gualano B, et al. The effect of carbohydrate mouth rinse on maximal strength and strength endurance. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:2381-6.
34. Chong E, Guelfi KJ, Fournier PA. Effect of a carbohydrate mouth rinse on maximal sprint performance in competitive male cyclists. *J Sci Med Sport* 2011;14:162-7.
35. Armstrong LE, Kenefick RW, Castellani JW, et al. Bioimpedance spectroscopy technique: intra-, extracellular, and total body water. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:1657-63.
36. Gudivaka R, Schoeller D, Kushner RF. Effect of skin temperature on multifrequency bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol* 1996;81:838-45.
37. Harrison MH. Effects on thermal stress and exercise on blood volume in humans. *Physiol Rev* 1985;65:149-209.
38. Kraemer WJ, Fry AC, Rubin MR, et al. Physiological and performance responses to tournament wrestling. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1367-78.
39. Chumlea WC, Guo SS, Zeller CM, et al. Total body water reference values and prediction equations for adults. *Kidney Int* 2001;59:2250-8.
40. Novak LP. Changes in total body water during adolescent growth. *Hum Biol* 1989;61:407-14.
41. Lang F, Busch GL, Ritter M, et al. Functional significance of cell volume regulatory mechanisms. *Physiol Rev* 1998;78:247-306.
42. Noakes TD. Overconsumption of fluids by athletes. *BMJ* 2003;327:113-4.
43. Suprasongsin C, Kalhan S, Arslanian S. Determination of body composition in children and adolescents: validation of bioelectrical impedance with isotope dilution technique. *J Pediatr Endocrinol Metab* 1995;8:103-9.
44. Manz F, Wentz A. 24-h hydration status: parameters, epidemiology and recommendations. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S10-8.
45. Maughan RJ. Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S19-23.
46. Wilson MM, Morley JE. Impaired cognitive function and mental performance in mild dehydration. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S24-9.
47. Shirreffs SM. Markers of hydration status. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S6-9.
48. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. *Nutr Rev* 2005;63:S40-54.

49. Cheuvront SN, Carter R, 3rd, Montain SJ, Sawka MN. Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004;14:532-40.
50. Maughan RJ, Shirreffs SM, Leiper JB. Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *J Sports Sci* 2007;25:797-804.
51. Armstrong LE. Assessing hydration status: the elusive gold standard. *J Am Coll Nutr* 2007;26:575S-584S.
52. Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol* 1974;37:247-8.
53. McNair P, Nielsen SL, Christiansen C, Axelsson C. Gross errors made by routine blood sampling from two sites using a tourniquet applied at different positions. *Clin Chim Acta* 1979;98:113-8.
54. Diaz FJ, Bransford DR, Kobayashi K, Horvath SM, McMurray RG. Plasma volume changes during rest and exercise in different postures in a hot humid environment. *J Appl Physiol* 1979;47:798-803.
55. Francesconi RP, Hubbard RW, Szlyk PC, et al. Urinary and hematologic indexes of hypohydration. *J Appl Physiol* 1987;62:1271-6.
56. Armstrong LE, Soto JA, Hacker FT, Jr., Casa DJ, Kavouras SA, Maresh CM. Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *Int J Sport Nutr* 1998;8:345-55.
57. Popowski LA, Oppliger RA, Patrick Lambert G, Johnson RF, Kim Johnson A, Gisolf CV. Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:747-53.
58. Harrison MH. Heat and exercise. Effects on blood volume. *Sports Med* 1986;3:214-23.
59. Stachenfeld NS, Gleim GW, Zabetakis PM, Nicholas JA. Fluid balance and renal response following dehydrating exercise in well-trained men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;72:468-77.
60. Robertson GL, Athar S. The interaction of blood osmolality and blood volume in regulating plasma vasopressin in man. *J Clin Endocrinol Metab* 1976;42:613-20.
61. Robertson GL, Shelton RL, Athar S. The osmoregulation of vasopressin. *Kidney Int* 1976;10:25-37.
62. Hoffman JR, Maresh CM, Armstrong LE, et al. Effects of hydration state on plasma testosterone, cortisol and catecholamine concentrations before and during mild exercise at elevated temperature. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:294-300.

63. Kovacs EM, Senden JM, Brouns F. Urine color, osmolality and specific electrical conductance are not accurate measures of hydration status during postexercise rehydration. *J Sports Med Phys Fitness* 1999;39:47-53.
64. Shirreffs SM, Maughan RJ. Urine osmolality and conductivity as indices of hydration status in athletes in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1598-602.
65. Armstrong LE, Maresh CM, Castellani JW, et al. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr* 1994;4:265-79.
66. Hamouti N, Coso JD, Avila A, Mora-Rodriguez R. Effects of athletes' muscle mass on urinary markers of hydration status. *Eur J Appl Physiol* 2010.
67. Ormerod JK, Elliott TA, Scheett TP, VanHeest JL, Armstrong LE, Maresh CM. Drinking behavior and perception of thirst in untrained women during 6 weeks of heat acclimation and outdoor training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003;13:15-28.
68. Fletcher SJ, Slaymaker AE, Bodenham AR, Vucevic M. Urine colour as an index of hydration in critically ill patients. *Anaesthesia* 1999;54:189-92.
69. Maughan RJ, Shirreffs SM. Development of individual hydration strategies for athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2008;18:457-72.
70. NIH Consensus statement. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. December 12-14, 1994. *Nutrition* 1996;12:749-62.
71. Shirreffs SM, Maughan RJ. The effect of posture change on blood volume, serum potassium and whole body electrical impedance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:461-3.
72. Berneis K, Keller U. Bioelectrical impedance analysis during acute changes of extracellular osmolality in man. *Clin Nutr* 2000;19:361-6.
73. Walsh NP, Laing SJ, Oliver SJ, Montague JC, Walters R, Bilzon JL. Saliva parameters as potential indices of hydration status during acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1535-42.
74. Walsh NP, Montague JC, Callow N, Rowlands AV. Saliva flow rate, total protein concentration and osmolality as potential markers of whole body hydration status during progressive acute dehydration in humans. *Arch Oral Biol* 2004;49:149-54.
75. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1997;82:1229-36.
76. Johnson DR, Douglas D, Hauswald M, Tandberg D. Dehydration and orthostatic vital signs in women with hyperemesis gravidarum. *Acad Emerg Med* 1995;2:692-7.

77. Greenleaf JE. Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:645-56.
78. Fortes MB, Diment BC, Di Felice U, et al. Tear fluid osmolality as a potential marker of hydration status. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1590-7.
79. Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, et al. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train* 2000;35:212-24.
80. Armstrong LE, Pumerantz AC, Fiala KA, et al. Human hydration indices: acute and longitudinal reference values. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2010;20:145-53.
81. Oppliger RA, Bartok C. Hydration testing of athletes. *Sports Med* 2002;32:959-71.
82. Oppliger RA, Magnes SA, Popowski LA, Gisolfi CV. Accuracy of urine specific gravity and osmolality as indicators of hydration status. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005;15:236-51.
83. Stover EA, Petrie HJ, Passe D, Horswill CA, Murray B, Wildman R. Urine specific gravity in exercisers prior to physical training. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006;31:320-7.
84. Volpe SL, Poule KA, Bland EG. Estimation of prepractice hydration status of National Collegiate Athletic Association Division I athletes. *J Athl Train* 2009;44:624-9.
85. Osterberg KL, Horswill CA, Baker LB. Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *J Athl Train* 2009;44:53-7.
86. Aragon-Vargas LF, Moncada-Jimenez J, Hernandez-Elizondo J, Barrenechea A, Monge-Alvarado M. Evaluation of pre-game hydration status, heat stress, and fluid balance during professional soccer competition in the heat. *Eur J Sport Sci* 2009;9:269-276).
87. Palmer MS, Spriet LL. Sweat rate, salt loss, and fluid intake during an intense on-ice practice in elite Canadian male junior hockey players. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008;33:263-71.
88. Stover EA, Zachwieja J, Stofan J, Murray R, Horswill CA. Consistently high urine specific gravity in adolescent American football players and the impact of an acute drinking strategy. *Int J Sports Med* 2006;27:330-5.
89. Bar-Or O, Dotan R, Inbar O, Rotshtein A, Zonder H. Voluntary hypohydration in 10- to 12-year-old boys. *J Appl Physiol* 1980;48:104-8.
90. Iuliano S, Naughton G, Collier G, Carlson J. Examination of the self-selected fluid intake practices by junior athletes during a simulated duathlon event. *Int J Sport Nutr* 1998;8:10-23.

91. Meyer F, Bar-Or O, Wilk B. Children's perceptual responses to ingesting drinks of different compositions during and following exercise in the heat. *Int J Sport Nutr* 1995;5:13-24.
92. Wilk B, Bar-Or O. Effect of drink flavor and NaCL on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J Appl Physiol* 1996;80:1112-7.
93. Rivera-Brown AM, Ramirez-Marrero FA, Wilk B, Bar-Or O. Voluntary drinking and hydration in trained, heat-acclimatized girls exercising in a hot and humid climate. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:109-16.
94. Wilk B, Rivera-Brown AM, Bar-Or O. Voluntary drinking and hydration in non-acclimatized girls exercising in the heat. *Eur J Appl Physiol* 2007;101:727-34.
95. Decher NR, Casa DJ, Yeargin SW, et al. Hydration status, knowledge, and behavior in youths at summer sports camps. *Int J Sports Physiol Perform* 2008;3:262-78.
96. McDermott BP, Casa DJ, Yeargin SW, Ganio MS, Lopez RM, Mooradian EA. Hydration status, sweat rates, and rehydration education of youth football campers. *J Sport Rehabil* 2009;18:535-52.
97. Yeargin SW, Casa DJ, Judelson DA, et al. Thermoregulatory responses and hydration practices in heat-acclimatized adolescents during preseason high school football. *J Athl Train*;45:136-46.
98. Kavouras SA, Arnaoutis G, Makrillos M, et al. Educational intervention on water intake improves hydration status and enhances exercise performance in athletic youth. *Scand J Med Sci Sports*.
99. Da Silva RP, Mundel T, Natali AJ, et al. Pre-game hydration status, sweat loss, and fluid intake in elite Brazilian young male soccer players during competition. *J Sports Sci* 2012;30:37-42.
100. Godek SF, Godek JJ, Bartolozzi AR. Hydration status in college football players during consecutive days of twice-a-day preseason practices. *Am J Sports Med* 2005;33:843-51.
101. Epstein Y, Shapiro Y, Brill S. Role of surface area-to-mass ratio and work efficiency in heat intolerance. *J Appl Physiol* 1983;54:831-6.
102. Marino FE, Mbambo Z, Kortekaas E, et al. Advantages of smaller body mass during distance running in warm, humid environments. *Pflugers Arch* 2000;441:359-67.
103. Falk B, Bar-Or O, Calvert R, MacDougall JD. Sweat gland response to exercise in the heat among pre-, mid-, and late-pubertal boys. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:313-9.
104. Falk B, Bar-Or O, MacDougall JD. Thermoregulatory responses of pre-, mid-, and late-pubertal boys to exercise in dry heat. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:688-94.

105. Passe D, Horn M, Stofan J, Horswill C, Murray R. Voluntary dehydration in runners despite favorable conditions for fluid intake. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2007;17:284-95.
106. Rowland T. Fluid replacement requirements for child athletes. *Sports Med*;41:279-88.
107. Rowland T. Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. *J Appl Physiol* 2008;105:718-24.
108. Greenleaf JE, Sargent F, 2nd. Voluntary dehydration in man. *J Appl Physiol* 1965;20:719-24.
109. Shirreffs SM, Aragon-Vargas LF, Chamorro M, Maughan RJ, Serratos L, Zachwieja JJ. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int J Sports Med* 2005;26:90-5.
110. Maughan RJ, Shirreffs SM, Merson SJ, Horswill CA. Fluid and electrolyte balance in elite male football (soccer) players training in a cool environment. *J Sports Sci* 2005;23:73-9.
111. Shirreffs SM. Hydration: special issues for playing football in warm and hot environments. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20 Suppl 3:90-4.
112. Maughan RJ, Merson SJ, Broad NP, Shirreffs SM. Fluid and electrolyte intake and loss in elite soccer players during training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004;14:333-46.
113. Maughan RJ, Watson P, Evans GH, Broad N, Shirreffs SM. Water balance and salt losses in competitive football. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2007;17:583-94.
114. Kurdak SS, Shirreffs SM, Maughan RJ, et al. Hydration and sweating responses to hot-weather football competition. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20 Suppl 3:133-9.
115. Kavouras SA, Arnaoutis G, Makrillos M, et al. Educational intervention on water intake improves hydration status and enhances exercise performance in athletic youth. *Scand J Med Sci Sports* 2011.
116. Yeargin SW, Casa DJ, Judelson DA, et al. Thermoregulatory responses and hydration practices in heat-acclimatized adolescents during preseason high school football. *J Athl Train* 2010;45:136-46.
117. Murray R. Nutrition for the marathon and other endurance sports: environmental stress and dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:S319-23.
118. Casa DJ. Exercise in the Heat. I. Fundamentals of Thermal Physiology, Performance Implications, and Dehydration. *J Athl Train* 1999;34:246-252.
119. Strippoli GF, Craig JC, Rochtchina E, Flood VM, Wang JJ, Mitchell P. Fluid and nutrient intake and risk of chronic kidney disease. *Nephrology (Carlton)* 2011;16:326-34.

120. Thornton SN. Angiotensin inhibition and longevity: a question of hydration. *Pflugers Arch* 2011;461:317-24.
121. Thornton SN. Angiotensin, the hypovolaemia hormone, aggravates hypertension, obesity, diabetes and cancer. *J Intern Med* 2009;265:616-7.
122. Manz F, Wentz A. The importance of good hydration for the prevention of chronic diseases. *Nutr Rev* 2005;63:S2-5.
123. Siener R, Hesse A. Fluid intake and epidemiology of urolithiasis. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S47-51.
124. Borghi L, Meschi T, Amato F, Briganti A, Novarini A, Giannini A. Urinary volume, water and recurrences in idiopathic calcium nephrolithiasis: a 5-year randomized prospective study. *J Urol* 1996;155:839-43.
125. Carvalho M, Ferrari AC, Renner LO, Vieira MA, Riella MC. [Quantification of the stone clinic effect in patients with nephrolithiasis]. *Rev Assoc Med Bras* 2004;50:79-82.
126. Arnaud MJ. Mild dehydration: a risk factor of constipation? *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S88-95.
127. Lindeman RD, Romero LJ, Liang HC, Baumgartner RN, Koehler KM, Garry PJ. Do elderly persons need to be encouraged to drink more fluids? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55:M361-5.
128. Robson KM, Kiely DK, Lembo T. Development of constipation in nursing home residents. *Dis Colon Rectum* 2000;43:940-3.
129. Bouby N, Fernandes S. Mild dehydration, vasopressin and the kidney: animal and human studies. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S39-46.
130. Bankir L, Bardoux P, Mayaudon H, Dupuy O, Bauduceau B. [Impaired urinary flow rate during the day: a new factor possibly involved in hypertension and in the lack of nocturnal dipping]. *Arch Mal Coeur Vaiss* 2002;95:751-4.
131. Lowe GD, Lee AJ, Rumley A, Price JF, Fowkes FG. Blood viscosity and risk of cardiovascular events: the Edinburgh Artery Study. *Br J Haematol* 1997;96:168-73.
132. Ernst E. Haematocrit and cardiovascular risk. *J Intern Med* 1995;237:527-8.
133. Chan J, Knutsen SF, Blix GG, Lee JW, Fraser GE. Water, other fluids, and fatal coronary heart disease: the Adventist Health Study. *Am J Epidemiol* 2002;155:827-33.
134. Tonstad S, Klemsdal TO, Landaas S, Hoieggren A. No effect of increased water intake on blood viscosity and cardiovascular risk factors. *Br J Nutr* 2006;96:993-6.
135. Haussinger D, Roth E, Lang F, Gerok W. Cellular hydration state: an important determinant of protein catabolism in health and disease. *Lancet* 1993;341:1330-2.

136. Roy BD, Green HJ, Burnett M. Prolonged exercise after diuretic-induced hypohydration: effects on substrate turnover and oxidation. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000;279:E1383-90.
137. Ritz P, Berrut G. The importance of good hydration for day-to-day health. *Nutr Rev* 2005;63:S6-13.
138. Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:709-31.
139. Montain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 1992;73:1340-50.
140. Sawka MN, Young AJ, Francesconi RP, Muza SR, Pandolf KB. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J Appl Physiol* 1985;59:1394-401.
141. Murray R. Dehydration, Hyperthermia, and Athletes: Science and Practice. *J Athl Train* 1996;31:248-252.
142. Nadel ER, Fortney SM, Wenger CB. Effect of hydration state of circulatory and thermal regulations. *J Appl Physiol* 1980;49:715-21.
143. Buskirk ER, Iampietro PF, Bass DE. Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. 1958. *Wilderness Environ Med* 2000;11:204-8.
144. Sawka MN, Hubbard RW, Francesconi RP, Horstman DH. Effects of acute plasma volume expansion on altering exercise-heat performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;51:303-12.
145. Sawka MN, Young AJ, Latzka WA, Neufer PD, Quigley MD, Pandolf KB. Human tolerance to heat strain during exercise: influence of hydration. *J Appl Physiol* 1992;73:368-75.
146. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol* 1995;79:1487-96.
147. Saltin B. Circulatory Response to Submaximal and Maximal Exercise after Thermal Dehydration. *J Appl Physiol* 1964;19:1125-32.
148. Saltin B, Stenberg J. Circulatory Response to Prolonged Severe Exercise. *J Appl Physiol* 1964;19:833-8.
149. Burge CM, Carey MF, Payne WR. Rowing performance, fluid balance, and metabolic function following dehydration and rehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:1358-64.

150. Hargreaves M, Dillo P, Angus D, Febbraio M. Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1996;80:363-6.
151. Edwards RH, Harris RC, Hultman E, Kaijser L, Koh D, Nordesjo LO. Effect of temperature on muscle energy metabolism and endurance during successive isometric contractions, sustained to fatigue, of the quadriceps muscle in man. *J Physiol* 1972;220:335-52.
152. Nybo L, Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol* 2001;91:1055-60.
153. Yamamoto LM, Judelson DA, Farrell MJ, et al. Effects of hydration state and resistance exercise on markers of muscle damage. *J Strength Cond Res* 2008;22:1387-93.
154. Nybo L, Nielsen B. Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J Appl Physiol* 2001;91:2017-23.
155. Gopinathan PM, Pichan G, Sharma VM. Role of dehydration in heat stress-induced variations in mental performance. *Arch Environ Health* 1988;43:15-7.
156. Shirreffs SM, Merson SJ, Fraser SM, Archer DT. The effects of fluid restriction on hydration status and subjective feelings in man. *Br J Nutr* 2004;91:951-8.
157. Hancock PA, Vasmatazidis I. Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. *Int J Hyperthermia* 2003;19:355-72.
158. Armstrong LE, Ganio MS, Casa DJ, et al. Mild Dehydration Affects Mood in Healthy Young Women. *J Nutr* 2011.
159. Ganio MS, Armstrong LE, Casa DJ, et al. Mild dehydration impairs cognitive performance and mood of men. *Br J Nutr* 2011;106:1535-43.
160. Cheuvront SN, Carter R, 3rd, Haymes EM, Sawka MN. No effect of moderate hypohydration or hyperthermia on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1093-7.
161. Bosco JS, Greenleaf JE, Bernauer EM, Card DH. Effects of acute dehydration and starvation on muscular strength and endurance. *Acta Physiol Pol* 1974;25:411-21.
162. Bosco JS, Terjung RL, Greenleaf JE. Effects of progressive hypohydration on maximal isometric muscular strength. *J Sports Med Phys Fitness* 1968;8:81-6.
163. Evetovich TK, Boyd JC, Drake SM, et al. Effect of moderate dehydration on torque, electromyography, and mechanomyography. *Muscle Nerve* 2002;26:225-31.
164. Greiwe JS, Staffey KS, Melrose DR, Narve MD, Knowlton RG. Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:284-8.
165. Judelson DA, Maresh CM, Farrell MJ, et al. Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1817-24.

166. Casa DJ, Clarkson PM, Roberts WO. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep* 2005;4:115-27.
167. Cheuvront SN, Carter R, 3rd, Sawka MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2003;2:202-8.
168. Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:456-61.
169. Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, Dennis SC. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int J Sports Med* 1994;15:392-8.
170. Cheuvront SN, Carter R, 3rd, Castellani JW, Sawka MN. Hypohydration impairs endurance exercise performance in temperate but not cold air. *J Appl Physiol* 2005;99:1972-6.
171. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, et al. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train* 2010;45:147-56.
172. Stearns RL, Casa DJ, Lopez RM, et al. Influence of hydration status on pacing during trail running in the heat. *J Strength Cond Res* 2009;23:2533-41.
173. Montain SJ, Latzka WA, Sawka MN. Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *J Appl Physiol* 1995;79:1434-9.
174. Craig EN, Cummings EG. Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol* 1966;21:670-4.
175. Rowell LB. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev* 1974;54:75-159.
176. Rowell LB, Marx HJ, Bruce RA, Conn RD, Kusumi F. Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *J Clin Invest* 1966;45:1801-16.
177. Rowell LB, Murray JA, Brengelmann GL, Kraning KK, 2nd. Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. *Circ Res* 1969;24:711-24.
178. Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1999;86:1032-9.
179. Gonzalez-Alonso J, Calbet JA, Nielsen B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J Physiol* 1998;513 (Pt 3):895-905.

180. Gonzalez-Alonso J, Calbet JA, Nielsen B. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol* 1999;520 Pt 2:577-89.
181. Gonzalez-Alonso J, Calbet JA. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation* 2003;107:824-30.
182. Gonzalez-Alonso J. Hyperthermia impairs brain, heart and muscle function in exercising humans. *Sports Med* 2007;37:371-3.
183. Nielsen B, Nybo L. Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports Med* 2003;33:1-11.
184. Nybo L. Exercise and heat stress: cerebral challenges and consequences. *Prog Brain Res* 2007;162:29-43.
185. Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol* 2008;104:871-8.
186. Celermajer DS, Sorensen KE, Gooch VM, et al. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet* 1992;340:1111-5.
187. Ross R. Atherosclerosis--an inflammatory disease. *N Engl J Med* 1999;340:115-26.
188. Verma S, Anderson TJ. Fundamentals of endothelial function for the clinical cardiologist. *Circulation* 2002;105:546-9.
189. Michiels C. Endothelial cell functions. *J Cell Physiol* 2003;196:430-43.
190. Celermajer DS. Endothelial dysfunction: does it matter? Is it reversible? *J Am Coll Cardiol* 1997;30:325-33.
191. Brown AA, Hu FB. Dietary modulation of endothelial function: implications for cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* 2001;73:673-86.
192. Hennig B, Toborek M, McClain CJ. High-energy diets, fatty acids and endothelial cell function: implications for atherosclerosis. *J Am Coll Nutr* 2001;20:97-105.
193. Lopez-Garcia E, Schulze MB, Meigs JB, et al. Consumption of trans fatty acids is related to plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction. *J Nutr* 2005;135:562-6.
194. Shimabukuro M, Chinen I, Higa N, Takasu N, Yamakawa K, Ueda S. Effects of dietary composition on postprandial endothelial function and adiponectin concentrations in healthy humans: a crossover controlled study. *Am J Clin Nutr* 2007;86:923-8.
195. Chakravarthy U, Hayes RG, Stitt AW, McAuley E, Archer DB. Constitutive nitric oxide synthase expression in retinal vascular endothelial cells is suppressed by high glucose and advanced glycation end products. *Diabetes* 1998;47:945-52.

196. Nettleton JA, Steffen LM, Mayer-Davis EJ, et al. Dietary patterns are associated with biochemical markers of inflammation and endothelial activation in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Am J Clin Nutr* 2006;83:1369-79.
197. Esposito K, Marfella R, Ciotola M, et al. Effect of a mediterranean-style diet on endothelial dysfunction and markers of vascular inflammation in the metabolic syndrome: a randomized trial. *JAMA* 2004;292:1440-6.
198. Papamichael CM, Aznaouridis KA, Karatzis EN, et al. Effect of coffee on endothelial function in healthy subjects: the role of caffeine. *Clin Sci (Lond)* 2005;109:55-60.
199. Buemann B, Dyerberg J, Astrup A. Alcohol drinking and cardiac risk. *Nutr Res Rev* 2002;15:91-121.
200. Alexopoulos N, Vlachopoulos C, Aznaouridis K, et al. The acute effect of green tea consumption on endothelial function in healthy individuals. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2008;15:300-5.
201. Karatzi KN, Papamichael CM, Karatzis EN, et al. Red wine acutely induces favorable effects on wave reflections and central pressures in coronary artery disease patients. *Am J Hypertens* 2005;18:1161-7.
202. Papamichael C, Karatzis E, Karatzi K, et al. Red wine's antioxidants counteract acute endothelial dysfunction caused by cigarette smoking in healthy nonsmokers. *Am Heart J* 2004;147:E5.
203. Shirreffs SM. Conference on "Multidisciplinary approaches to nutritional problems". Symposium on "Performance, exercise and health". Hydration, fluids and performance. *Proc Nutr Soc* 2009;68:17-22.
204. Ozgunen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, et al. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20 Suppl 3:140-7.
205. Dabinett JA, Reid K, James N. Educational strategies used in increasing fluid intake and enhancing hydration status in field hockey players preparing for competition in a hot and humid environment: a case study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2001;11:334-48.
206. Goulet ED. Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br J Sports Med* 2011.
207. Noakes TD. Hydration in the marathon : using thirst to gauge safe fluid replacement. *Sports Med* 2007;37:463-6.
208. Noakes TD. Is drinking to thirst optimum? *Ann Nutr Metab* 2010;57 Suppl 2:9-17.
209. Falk B, Dotan R. Children's thermoregulation during exercise in the heat: a revisit. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008;33:420-7.

210. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000;278:H321-30.
211. Armstrong LE, Maresh CM, Gabaree CV, et al. Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol* 1997;82:2028-35.
212. Cadarette BS, Sawka MN, Toner MM, Pandolf KB. Aerobic fitness and the hypohydration response to exercise-heat stress. *Aviat Space Environ Med* 1984;55:507-12.
213. Sawka MN, Toner MM, Francesconi RP, Pandolf KB. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J Appl Physiol* 1983;55:1147-53.
214. Yeboah J, Folsom AR, Burke GL, et al. Predictive value of brachial flow-mediated dilation for incident cardiovascular events in a population-based study: the multi-ethnic study of atherosclerosis. *Circulation* 2009;120:502-9.
215. Ross R. Atherosclerosis is an inflammatory disease. *Am Heart J* 1999;138:S419-20.
216. Kavouras SA, Armstrong LE, Maresh CM, et al. Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *J Appl Physiol* 2006;100:442-50.
217. Castellani JW, Maresh CM, Armstrong LE, et al. Intravenous vs. oral rehydration: effects on subsequent exercise-heat stress. *J Appl Physiol* 1997;82:799-806.
218. Kenefick RW, Maresh CM, Armstrong LE, et al. Plasma vasopressin and aldosterone responses to oral and intravenous saline rehydration. *J Appl Physiol* 2000;89:2117-22.
219. Kollias GE, Stamatelopoulos KS, Papaioannou TG, et al. Diurnal variation of endothelial function and arterial stiffness in hypertension. *J Hum Hypertens* 2009;23:597-604.
220. Green DJ, Maiorana A, O'Driscoll G, Taylor R. Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. *J Physiol* 2004;561:1-25.
221. Ma TK, Kam KK, Yan BP, Lam YY. Renin-angiotensin-aldosterone system blockade for cardiovascular diseases: current status. *Br J Pharmacol* 2010;160:1273-92.
222. Thornton SN, Hess K. Exercise generates lactate and fluid intake: effects on mitochondrial function in heart and vascular smooth muscle. *Hypertension* 2009;54:e14; author reply e15-6.
223. Koenig W, Sund M, Filipiak B, Doring A, Lowel H, Ernst E. Plasma viscosity and the risk of coronary heart disease: results from the MONICA-Augsburg Cohort Study, 1984 to 1992. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 1998;18:768-72.

224. Stookey JD. High prevalence of plasma hypertonicity among community-dwelling older adults: results from NHANES III. *J Am Diet Assoc* 2005;105:1231-9.
225. Bellisle F, Thornton SN, Hebel P, Denizeau M, Tahiri M. A study of fluid intake from beverages in a sample of healthy French children, adolescents and adults. *Eur J Clin Nutr* 2010;64:350-5.
226. Kenney WL, Chiu P. Influence of age on thirst and fluid intake. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1524-32.
227. Rognmo O, Bjornstad TH, Kahrs C, et al. Endothelial function in highly endurance-trained men: effects of acute exercise. *J Strength Cond Res* 2008;22:535-42.
228. Wendt D, van Loon LJ, Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med* 2007;37:669-82.
229. Coggan AR, Coyle EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J Appl Physiol* 1987;63:2388-95.
230. Tsintzas OK, Williams C, Wilson W, Burrin J. Influence of carbohydrate supplementation early in exercise on endurance running capacity. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:1373-9.
231. Anantaraman R, Carmines AA, Gaesser GA, Weltman A. Effects of carbohydrate supplementation on performance during 1 hour of high-intensity exercise. *Int J Sports Med* 1995;16:461-5.
232. Jeukendrup A, Brouns F, Wagenmakers AJ, Saris WH. Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *Int J Sports Med* 1997;18:125-9.
233. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986;61:165-72.
234. Tsintzas K, Williams C. Human muscle glycogen metabolism during exercise. Effect of carbohydrate supplementation. *Sports Med* 1998;25:7-23.
235. Below PR, Mora-Rodriguez R, Gonzalez-Alonso J, Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:200-10.
236. Backx K, van Someren KA, Palmer GS. One hour cycling performance is not affected by ingested fluid volume. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003;13:333-42.
237. Desbrow B, Anderson S, Barrett J, Rao E, Hargreaves M. Carbohydrate-electrolyte feedings and 1 h time trial cycling performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2004;14:541-9.

- 238. Palmer GS, Clancy MC, Hawley JA, Rodger IM, Burke LM, Noakes TD. Carbohydrate ingestion immediately before exercise does not improve 20 km time trial performance in well trained cyclists. *Int J Sports Med* 1998;19:415-8.
- 239. McConell GK, Canny BJ, Daddo MC, Nance MJ, Snow RJ. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics and muscle metabolism during intense endurance exercise. *J Appl Physiol* 2000;89:1690-8.
- 240. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:E380-91.
- 241. Casa DJ, Maresh CM, Armstrong LE, et al. Intravenous versus oral rehydration during a brief period: responses to subsequent exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:124-33.
- 242. Takamata A, Mack GW, Gillen CM, Jozsi AC, Nadel ER. Osmoregulatory modulation of thermal sweating in humans: reflex effects of drinking. *Am J Physiol* 1995;268:R414-22.
- 243. Kuipers H, Keizer HA, Brouns F, Saris WH. Carbohydrate feeding and glycogen synthesis during exercise in man. *Pflugers Arch* 1987;410:652-6.
- 244. Anastasiou CA, Kavouras SA, Arnaoutis G, et al. Sodium replacement and plasma sodium drop during exercise in the heat when fluid intake matches fluid loss. *J Athl Train* 2009;44:117-23.
- 245. Jeukendrup A, Saris WH, Brouns F, Kester AD. A new validated endurance performance test. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:266-70.
- 246. Boulze D, Montastruc P, Cabanac M. Water intake, pleasure and water temperature in humans. *Physiol Behav* 1983;30:97-102.
- 247. Borg G. Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *Int J Sports Med* 1982;3:153-8.