

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ



« Η επίδραση της κατά βούλησης και της
συνταγογραφούμενης ενυδάτωσης στην ποδηλατική
απόδοση σε εξομοίωση αγώνα δρόμου αντοχής»

Δανιάς Σ. Κωνσταντίνος
4421109

Επιβλέπων Καθηγητής
Σταύρος Κάβουρας

Τριμελής επιτροπή
Σταύρος Κάβουρας
Δημοσθένης Παναγιωτάκος
Ρωξάνη Τέντα

Φεβρουάριος 2013

« Η επίδραση της κατά βούλησης και της
συνταγογραφούμενης ενυδάτωσης στην ποδηλατική
απόδοση σε εξομοίωση αγώνα δρόμου αντοχής»

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε και συνεχίζει να το κάνει σε όλες τις αποφάσεις και την πορεία μου μέχρι σήμερα σε όλους τους τομείς της ζωής μου.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες και την εκτίμησή μου στον καθηγητή μου κ. Σταύρο Κάβουρα για την ανάθεση αυτής της εργασίας αλλά και την πολύτιμη βοήθειά του μέσα από τις γνώσεις του στην διεκπεραίωση της.

Τέλος δε θα μπορούσα να ξεχάσω τη βοήθεια του Κώστα Μπάρδη για την ολοκλήρωση του πειράματος δίνοντάς μου πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις. Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω και όλους τους εθελοντές μου που θα ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί μια μελέτη σαν κι αυτή χωρίς τη συμμετοχή τους.

Με εκτίμηση

Δανιάς Κωνσταντίνος

Περίληψη

Η σημαντικότητα της σωστής ενυδάτωσης στην αθλητική απόδοση έχει αναφερθεί σε αρκετές μελέτες.

Σκοπός: Υποθέσαμε ότι η κατανάλωση συνταγογραφημένης ποσότητας υγρών, βάση του ρυθμού εφύδρωσης θα μπορούσε να αποτελέσει θετικό παράγοντα στην αύξηση της αθλητικής απόδοσης, σε σχέση πάντα με την κατά βούληση κατανάλωση υγρών κατά τη διάρκεια ενός αγώνα αντοχής.

Μεθοδολογία: Δέκα υγιείς άντρες καλά προπονημένοι - ποδηλάτες υψηλού επιπέδου (σωματικό βάρος = 76.5 ± 7.2 kg, ηλικία = 30 ± 5 έτη, ποσοστό σωματικού λίπους = $10.5\% \pm 3.3\%$, $\text{VO}_{2\text{max}} = 61.3 \pm 5.2$ mL/kg⁻¹*min⁻¹) ολοκλήρωσαν 2 φορές σε διαφορετικές ημέρες το ίδιο πρωτόκολλο προσομοίωσης αγώνα με 3 ανηφορικά κομμάτια απόστασης 5 χιλιομέτρων στους 31.6°C. Τη μία φορά με συνταγογραφούμενη ενυδάτωση (EU) και την άλλη με κατά βούληση ενυδάτωση (AD). Πριν από το κάθε ανηφορικό κομμάτι προηγήθηκε η ίδια απόσταση αλλά στο 50% της μέγιστης προσπάθειας. Η πραγματοποίηση των πρωτοκόλλων έγινε με τυχαιοποιημένη σειρά. Δείγματα αίματος και ούρων συλλέχθηκαν κατά την έναρξη της δοκιμασίας και μετά την ολοκλήρωση του πρωτοκόλλου.

Αποτελέσματα: Σημαντικά μικρότερος χρόνος ολοκλήρωσης καταγράφηκε στο τρίτο ανηφορικό κομμάτι στην δοκιμασία EU σε σχέση με την AD δοκιμή. στην EU ($10,0 \pm 0,8$ λεπτά) από ό, τι στη δοκιμή AD ($10,5 \pm 0,9$ min), ($P < 0,05$). Επίσης στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε στη μέση απόδοση ισχύος των αθλητών της 3ης περιόδου των 5 ανηφορικών χιλιομέτρων με ρυθμό αγώνα ήταν καλύτερα στην EU (326 ± 44 W, $304 \text{ W} \pm 53$, , $316 \pm 49^*$ W) από ό, τι στην AD διαδικασία (323 ± 42 W, 297 ± 45 W, 292 ± 53 W), ($P < 0,05$).

Συμπεράσματα: Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κατάποση νερού βάσει συνταγογραφούμενου πρωτοκόλλου βελτίωσε την απόδοση των αθλητών, πιθανώς μέσα από τη βελτιστοποίηση και σταθεροποίηση σε ιδανικά επίπεδα του όγκου παλμού και ρυθμίζοντας παράλληλα την θερμοκρασία πυρήνα.

Abstract

Several studies have reported the importance of proper hydration in sports performance.

Objective: We hypothesized that consumption of prescribed quantity of liquids, based on the rate of perspiration could be a positive factor in increasing athletic performance, always with ad libitum fluid intake during an endurance race.

Methodology: Ten healthy men well trained - high-level cyclists (body weight = 76.5 ± 7.2 kg, age = 30 ± 5 years, percent body fat = $10.5\% \pm 3.3\%$, $VO_{2max} = 61.3 \pm 5.2$ mL/kg-1 * min-1) completed twice in different days the same protocol simulating a race with 3 uphill tracks of 5 km distance at 31.6°C. At one time with perscripted hydration (EU) and the other with ad libitum hydration (AD). Before each uphill track the same distance was preceded but at 50% of maximum effort. The implementation of the protocols was in randomized order. Samples of blood and urine were collected at the beginning of the test and after the completion of the protocol.

Results: The integration time was recorded significantly shorter at the third uphill track in the EU test compared to the AD test. In EU the integration took place in $10,0 \pm 0,8$ min than in test AD $10,5 \pm 0,9$ min, ($P < 0.05$). Furthermore statistically significant difference was presented in average power output of athletes over the last third season of Uphill - 5 kilometers with race pace better in EU (326 ± 44 W, $304 \text{ W} \pm 53$, 316 ± 49 * W) compared to the AD test (323 ± 42 W, 297 ± 45 W, 292 ± 53 W), ($P < 0.05$).

Conclusion: The results showed that the consumption of water by prescription protocol improved the performance of athletes, presumably through the optimization and stabilization at ideal levels in blood volume and regulating core temperature.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
Κατανομή και αποθήκευση νερού στο σώμα (βασικές λειτουργίες νερού).	8
Ο όρος "υδάτωση"	11
Άσκηση και αναπλήρωση υγρών	11
Παράγοντες αναπλήρωσης υγρών και ηλεκτρολυτών	12
Αξιολόγηση επιπέδων υδάτωσης	14
ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	15
Συστάσεις ενυδάτωσης	17
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ	19
Φύλο	19
Ηλικία	19
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	20
Ενυδάτωση και καρδιαγγειακά	23
Αφυδάτωση και μυϊκός μεταβολισμός	26
Αφυδατωση και μυϊκή αντοχή	26
Στόχος της μελέτης	28
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	29
Πειραματικό πρωτόκολλο	30
Εργομετρικό Τεστ πριν το Πρωτόκολλο	30

Φάση Ρυθμού Εφίδρωσης	31
Πειραματικό πρωτόκολλο	32
Εργαστηριακές αναλύσεις	34
Δείκτες ούρων	35
Μέτρηση χρώματος ούρων	35
Ειδικό βάρος ούρων (USG)	36
Ωσμωτικότητα ούρων	37
Αιματολογικοί δείκτες	38
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
Αρτηριακή Πίεση	40
Γαλακτικό οξύ	41
Καρδιακή συχνότητα	42
Χρόνος ολοκλήρωσης διαδρομής	43
Η μέση απόδοση ισχύος	44
Ο ρυθμός ποδηλασίας (RPM)	45
Συζήτηση	46
Παράρτημα – Μεθοδολογίας	49
Βιβλιογραφία	51

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατανομή και αποθήκευση νερού στο σώμα (βασικές λειτουργίες νερού).

Το νερό, είναι η πιο γνωστή χημική ένωση και αποτελεί βασικό στοιχείο της ζωής. Σε έναν άνθρωπο, το νερό αποτελεί το αφθονότερο συστατικό του σώματος του και καταλαμβάνει ένα ποσοστό της τάξης του 60% κατά μέσο όρο [1]. Καταλαβαίνουμε λοιπόν τη σπουδαιότητά του και την σημασία διατήρησής του σε υψηλά ποσοστά. Είναι εξάλλου γνωστό πως ένας άνθρωπος αντέχει χωρίς φαγητό αρκετές εβδομάδες ενώ χωρίς νερό μόλις 3 με 4 ημέρες [2,3]. Το ποσοστό του νερού στο σώμα μας (TBW) έχει διακυμάνσεις από άτομο σε άτομο και αυτό γιατί εξαρτάται από την ηλικία και το φύλο και ταυτόχρονα είναι ουσιαστικής σημασίας μιας και ρυθμίζει τη θερμοκρασία του σώματός μας και ταυτόχρονα εφοδιάζει όλα τα σημεία του ανθρώπινου οργανισμού με τις οργανικές και ανόργανες ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες σε αυτό.

Στα βρέφη το 75% του συνολικού βάρους μπορεί να είναι νερό και το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 55% σε άτομα ηλικίας μεγαλύτερη των 50 ετών [4, 5, 6]. Επίσης, μια ενήλικη γυναίκα μπορεί να έχει ένα ποσοστό νερού στο σώμα της περίπου 55% ενώ ένας ενήλικος άντρας 65%. Ένας φυσιολογικός, νέος άνδρας 70 κιλών έχει συνολική ποσότητα νερού στο σώμα του περίπου 42 λίτρα. Αυτή η διαφορά ανάμεσα στα δύο φύλα οφείλεται στο μεγαλύτερο μέγεθος του σώματός τους και στο μεγαλύτερο ποσοστό μυϊκού ιστού στον άνδρα σε σχέση με τη γυναίκα [5, 7]. Ο μυϊκός ιστός, αποτελείται από νερό στο 80% του βάρους του. Το λίπος αντιθέτως, αποτελείται από νερό μόνο στο 10% του βάρους του. Έτσι οι γυναίκες καθώς έχουν μικρότερο ποσοστό μυϊκής μάζας και μεγαλύτερο ποσοστό λίπους έχουν και μικρότερο ποσοστό νερού στο σώμα τους.

Μεγάλες διαφορές παρατηρούνται επίσης μεταξύ ισχνής και λιπώδους μάζας. Η ισχνή μάζα αποτελείται κατά 70-80% από νερό, ενώ η λιπώδης μόλις κατά 10-20% [1]. Έτσι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της λιπώδους μάζας, τόσο λιγότερο το TBW, και το αντίστροφο. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως το ποσοστό λίπους στο σώμα έχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με το ποσοστό νερού στο σώμα [8, 9]. Αυτό που οφείλεται για το υψηλό ποσοστό νερού στην ισχνή μάζα είναι το γλυκογόνο των μυών που μπορεί να συγκρατήσει περίπου 3 γραμμάρια νερού / γρ. γλυκογόνου [10]. Έτσι και οι αθλητές που έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ισχνής μάζας, χαμηλό ποσοστό λίπους και υψηλά επίπεδα γλυκογόνου στο σώμα τους, έχουν και μεγαλύτερες τιμές TBW [11, 12].

Αυτό που ισχύει είναι πως οι ιστοί του ανθρώπινου σώματος με τα χαμηλότερα ποσοστά νερού είναι ο λιπώδης (10%) και τα κόκκαλα (22%), ενώ αυτοί με τα υψηλότερα ποσοστά νερού είναι το ήπαρ (68%) και τα νεφρά (83%) [13, 14]

Όμως μεταβολή στο συνολικό ποσοστό νερού στο σώμα μας παρατηρείται και με την πάροδο της ηλικίας λόγω της μείωσης της μυϊκής μάζας και είναι κυρίως αποτέλεσμα της μείωσης του ενδοκυττάριου νερού. Το νερό του σώματος κατανέμεται ανάμεσα στο ενδοκυττάριο διαμέρισμα, που εγκλείεται μέσα στα κύτταρα, και στο εξωκυττάριο δηλαδή αυτό που βρίσκεται εξωτερικά των κυτταρικών μεμβρανών.

Το ενδοκυττάριο νερό (ICW) αντιπροσωπεύει περίπου το 55% του συνολικού σωματικού νερού ενώ σε έναν αθλητή το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει και το 60-65% [14]. Το εξωκυττάριο νερό (ECW) υποδιαιρείται σε πλάσμα και σε διάμεσο υγρό δηλαδή αυτό που βρίσκεται μεταξύ των κυττάρων [15,16,17]. Το πλάσμα αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από νερό και λιγότερο από πρωτεΐνες και άλλα θρεπτικά συστατικά και στην ουσία πρόκειται για το υγρό διαμέρισμα του αίματος που σε αυτό αιωρούνται τα κύτταρα του αίματος. Το πλάσμα με άλλα λόγια, είναι το ενδοαγγειακό νερό χωρίς να περιλαμβάνονται τα κύτταρα του αίματος.

Η κατανομή του TBW ανάμεσα στα σωματικά διαμερίσματα εξαρτάται από την ποσότητα των διαλυμένων ουσιών στο κάθε ένα διαμέρισμα. Η κίνηση του νερού μεταξύ τους οφείλεται κυρίως στην υδροστατική πίεση και την ωσμωτικότητα που οφείλεται λόγω της διαφοράς πυκνότητας - συγκέντρωσης των κυριότερων ηλεκτρολυτών στα εν λόγω διαμερίσματα. Η μεταφορά νερού μεταξύ διαμέσου και ενδοκυττάριου χώρου οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά ωσμωτικότητας που εξηγείται ως εξής: Η διαπερατή στο νερό μεμβράνη, χωρίζει τα δύο υδάτινα διαμερίσματα που έχουν διαφορετική συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών το καθένα και παρατηρείται μια κίνηση του νερού από το διαμέρισμα με τη μικρότερη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών προς το διάλυμα με τη μεγαλύτερη το οποίο και έχει λιγότερο νερό [18]. Η κίνηση αυτή του νερού λέγεται ώσμωση και στο φαινόμενο αυτό οφείλεται και το μεγάλο ποσοστό της αύξησης του σωματικού νερού (65%) στη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Παρατηρείται μεγάλη αύξηση στον όγκο πλάσματος, κυρίως κατά το δεύτερο τρίμηνο της κύησης και συνοδεύεται από ταυτόχρονη μείωση της ωσμωτικότητας του πλάσματος (περίπου κατά 10 mOsm/kg H₂O). [9]

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες του του νερού είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματός μας. Ρυθμίζει τη θερμοκρασία μας μεταφέροντας (άγοντας - αγωγή) τη θερμότητα από το κέντρο του σώματος προς την περιφέρεια όπου και διευκολύνει την απομάκρυνση της καθώς με την αύξηση του βασικού μεταβολισμού που προκαλείται με καύση των τριών θρεπτικών συστατικών, δηλαδή των υδατανθρακών, του λίπους και των πρωτεϊνών, το ρίγος, διάφορες λοιμώξεις και με την άσκηση αυξάνεται η παραγωγή ενέργειας από τον οργανισμό ενός ανθρώπου και απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας [5, 19]. Αν αυτή η θερμότητα δεν απελευθερωνόταν θα αυξανόταν δραματικά η θερμοκρασία του σώματος και θα παθαίναμε υπερθερμία. Ενδεικτικά σημειώνεται πως κατά την άσκηση, περίπου το 80% της ενέργειας που παράγεται απελευθερώνεται με την μορφή θερμότητας. Το νερό λόγω της μεγάλης του ειδικής θερμότητας που βοηθά ώστε η θερμοκρασία του να μην μεταβάλλεται εύκολα και της μεγάλης λανθάνουσας θερμότητας εξαερώσεώς του εξατμίζεται με τη μορφή ιδρώτα απομακρύνοντας τα ποσοστά θερμότητας από τον οργανισμό [9, 20].

Επίσης το νερό είναι το μέσο για τη διάλυση και τη μεταφορά ενός μεγάλου αριθμού θρεπτικών συστατικών (οργανικών καθώς και ανόργανων) από το αίμα στα κύτταρα αλλά και την μεταφορά από τα κύτταρα στο αίμα των προϊόντων μεταβολισμού. Ακόμη, λειτουργεί και ως διαλυτικό μέσο ή ως χημική ουσία σε υδρολύσεις άλλων χημικών ουσιών αφού χωρίς το νερό λίγες χημικές αντιδράσεις απαραίτητες για την ζωή θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν. Το νερό επίσης παίζει σπουδαίο ρόλο ως αντιδραστήριο καθώς κατά την διάρκεια των αντιδράσεων τα μόρια του νερού συχνά διασπώνται για να δωρίσουν άτομα υδρογόνου, ιόντα υδρογόνου, άτομα οξυγόνου, ιόντα οξειδίου, υδροξυλομάδες ή ιόντα υδροξειδίου σε άλλα αντιδρώντα σε βασικές αντιδρασεις όπως η υδρόλυση μεγάλων μορίων (πολυσακχαρίτες, λίπη, πρωτεΐνες) [19, 20]. Τέλος είναι πολύ σημαντική η παρουσία του νερού έχοντας λιπαντική δράση που βρίσκει εφαρμογή στον θώρακα, την περιτοναϊκή κοιλότητα, το περικάρδιο και τις αρθρώσεις ελατώνοντας τις τριβές.

Περίπου το 5 - 10% του συνολικού σωματικού του νερού ανανεώνεται καθημερινά, ως αποτέλεσμα φυσιολογικών μεταβολικών διαδικασιών που γίνονται στο σώμα μας αλλά και λόγω της κατανάλωσης φαγητών και ποτών [8, 15]. Το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί συνήθως σε μεταβολή της τάξεως των 2-3 λίτρων ημερησίως [16]. Σύμφωνα με μελέτες οι ημερήσιες μεταβολές στο συνολικό νερό σώματος ανέρχονται σε 0,22% σε εύκρατα και σε 0,48% σε ζεστά κλίματα [21]. Σε γενικές γραμμές έχει γίνει αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα πως οι ημερήσιες μεταβολές του TBW είναι μεταξύ 0,3% και 0,5% [22, 23, 24].

Συνοπτικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό του νερού στο σώμα μας είναι η ηλικία, το φύλο, το ποσοστό σωματικού λίπους, η πρόσληψη αλατιού, το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας, η σύσταση της διαίτας, η λήψη φαρμάκων, η εγκυμοσύνη, ο θηλασμός, ασθένειες όπως η νεφρική ανεπάρκεια, ο διαβήτης, οι ηπατικές νόσοι, νεφροπάθειες, ο καρκίνος, οιδήματα, καρδιοπάθειες και περιβαλλοντικοί παράγοντες (θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος) [24,25,30].

Ο όρος "υδάτωση"

Ο όρος "υδάτωσης" αναφέρεται σε "κανονική" για το σώμα περιεκτικότητα σε νερό, ενώ οι όροι "αφυδάτωση" και "υπερυδάτωση" αναφέρονται σε ελλείμματα του περιεχομένου νερού για το σώμα και υπερβολές πέρα από τα κανονικά- φυσιολογικά όρια στην περιεκτικότητα νερού στο σώμα, αντίστοιχα [69]. Ο όρος "αφυδάτωση" αναφέρεται στην απώλεια του νερού του σώματος. Η αφυδάτωση που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της άσκησης συνήθως χαρακτηρίζεται ως υπερωσμωτική υποογκαιμία (επειδή ο ιδρώτας είναι υποτονικός με το πλάσμα), αν και η ισο-ωσμωτική υποογκαιμία μπορεί να εμφανιστεί και κατά τη λήψη ορισμένων φαρμάκων (π.χ. διουρητικά) ή την έκθεση στο κρύο [48].

Άσκηση και αναπλήρωση υγρών

Όλοι εμείς αλλά ειδικά οι αθλητές, εκτελούμε φυσικές δραστηριότητες κάτω από όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες (υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία, υγρασία, ήλιο, έκθεση σε άνεμο). Ανάλογα με το μεταβολικό ρυθμό του κάθε ένα, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τον εξοπλισμό (ρούχα κλπ), η άσκηση μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αυξήσεις της θερμοκρασίας στο σώμα (πυρήνας και δέρμα). Οι αυξήσεις στη θερμοκρασία του σώματος μπορούν να προκαλέσουν απώλεια θερμότητας λόγω της αυξημένης ροής του αίματος στο δέρμα και της αυξημένης έκκρισης ιδρώτα (25, 26). Η εξάτμιση του ιδρώτα αποτελεί την κύρια οδό απώλειας θερμότητας κατά τη διάρκεια της έντονης άσκησης ιδιαίτερα σε θερμό περιβάλλον. Ως εκ τούτου οι απώλειες σε ιδρώτα μπορεί να είναι σημαντικές.

Οι οδοί απώλειας ύδατος από το σώμα είναι πέντε:

- Μέσω της επιδερμίδας
- Μέσω του αναπνευστικού
- Μέσω των νεφρών και του ουροποιητικού
- Μέσω του γαστρεντερικού σωλήνα
- Μέσω της έμμηνου ρύσεως (στις γυναίκες)

Εκτός από νερό, ο ιδρώτας περιέχει και ηλεκτρολύτες που χάνονται. Αν δεν αντικατασταθεί σωστά, οι ανισορροπίες νερού και ηλεκτρολυτών (αφυδάτωση και υπονατριαιμία) μπορούν να αναπτυχθούν και να επηρεάσουν αρνητικά την αθλητική απόδοση και ίσως και την υγεία στο σύνολό της (27, 28).

Παράγοντες αναπλήρωσης υγρών και ηλεκτρολυτών

Η φυσική δραστηριότητα εκθέτει τους αθλητές σε μια ποικιλία παραγόντων που επηρεάζουν τις απώλειες τους σε ιδρώτα. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τη διάρκεια και την ένταση της άσκησης, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και το είδος των ειδών ένδυσης δηλαδή του εξοπλισμού που φοράνε. Μερικές φορές ωστόσο, αυτοί οι παράγοντες είναι τυποποιημένοι για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα ή για ένα συγκεκριμένο άθλημα (π.χ., η θερμοκρασία σε ένα κλιματιζόμενο γήπεδο εσωτερικού χώρου ή η ομοιόμορφη φόρμα από μια αθλητική ομάδα). Παρ'όλα αυτά, στις περισσότερες δραστηριότητες, υπάρχει σημαντική διακύμανση στην έκθεση στους παράγοντες που συμβάλλουν στα ποσοστά ιδρώτα μεταξύ των συμμετεχόντων.

Τα διάφορα ατομικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα το σωματικό βάρος (29), η γενετική προδιάθεση, η ευκολία προσαρμογής στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (25), και η μεταβολική αποδοτικότητα (οικονομία στην ανάληψη μιας συγκεκριμένης εργασίας άσκηση) επηρεάζουν τα ποσοστά ιδρώτα για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα αυτού υπάρχει μια μεγάλη διαφοροποίηση στα ποσοστά του ιδρώτα και τις συνολικές απώλειες σε ιδρώτα των ατόμων μεταξύ των δραστηριοτήτων, και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και στο ίδιο αθλητικό γεγονός σε μια δεδομένη ημέρα.

Σε έναν αγώνα ποδοσφαίρου, τα ποσοστά ιδρώτα θα ποικίλλουν μεταξύ των παικτών ανάλογα με τη θέση τους και το στυλ του παιχνιδιού που κάνει ο κάθε ένας, καθώς και το συνολικό χρόνο που δαπανάται στον αγωνιστικό χώρο (35) από τον κάθε αθλητή.

Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι τα άτομα επιτυγχάνουν συχνά ποσοστά εφίδρωσης 0,5 έως 2,0 λίτρα/ h. Οι διαφορές στα ποσοστά ιδρώτα μεταξύ των ατόμων, διαφορετικών αθλημάτων και κλιματικών περιόδων, αποδεικνύουν τις δυσκολίες για την παροχή μόνο ενός μεγέθους που να ταιριάζει σε όλους. Οι διαφορές στο ποσοστό εφίδρωσης μεταξύ των ατόμων για ένα δεδομένο γεγονός και περιβάλλον είναι πιθανό να μειώνονται όταν λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του σώματος (μάζας σώματος ή διορθώσεις επιφάνειας), αλλά ο ατομικός παράγοντας εξακολουθεί να υπάρχει.

Η λειτουργία των μυών έχει ως αποτέλεσμα να παράγουν μεταβολική θερμότητα που μεταφέρεται από τους ενεργούς μύες στο αίμα και στη συνέχεια τον πυρήνα του σώματος. Οι διάφορες αυξήσεις της θερμοκρασίας του πυρήνα του σώματος προκαλούν με τη σειρά τους φυσιολογικές προσαρμογές που διευκολύνουν την μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό του σώματος στο δέρμα, όπου μπορεί να διαχέεται στο περιβάλλον. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του δέρματος και του περιβάλλοντος ρυθμίζεται από βιοφυσικές ιδιότητες που επηρεάζονται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την υγρασία και την κίνηση του αέρα αλλά και τα είδη ένδυσης (30). Σε εύκρατα και ψυχρότερα κλίματα, η υψηλή ικανότητα για ξηρή απώλεια θερμότητας (ακτινοβολία και συναγωγή) μειώνει τις εξατμιστικές απαιτήσεις της ψύξης, έτσι ώστε οι απώλειες ιδρώτα είναι σχετικά μικρές. Καθώς αυξάνεται η θερμική καταπόνηση, υπάρχει μεγαλύτερη εξάρτηση από την εφίδρωση για την εξατμιστική ψύξη. Φορώντας βαρύ ή αδιάβροχο ρουχισμό, όπως η στολή ποδοσφαίρου, αυξάνεται σημαντικά η θερμική καταπόνηση και οι απαιτήσεις εξατμιστικής ψύξης κατά την άσκηση σε περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία.

Οι απώλειες ηλεκτρολυτών με τον ιδρώτα εξαρτώνται από τις συνολικές συγκεντρώσεις ηλεκτρολυτών στον ιδρώτα. Η συγκέντρωση νατρίου στον ιδρώτα είναι της τάξης του $\sim 35 \text{ mEqI / L}$ (εύρος $10\text{-}70 \text{ mEqI / L}$) και ποικίλλει ανάλογα με τη γενετική προδιάθεση, τη διατροφή, το ποσοστό εφίδρωσης, και την κατάσταση θερμικού εγκλιματισμού (31, 32, 33, 34, 35, 36).

Η συγκέντρωση του καλίου στον ιδρώτα είναι της τάξης των 5 mEqI / L (εύρος $3\text{-}15 \text{ mEqI / L}$), οι μέσοι όροι ασβεστίου είναι 1 mEqI / L (εύρος $0,3 \text{ έως } 2 \text{ mEqI / L}$), μέση τιμή μαγνήσιου είναι $0,8 \text{ mEqI / L}$ (εύρος $0,2 \text{ έως } 1,5 \text{ mEqI / L}$), και ο μέσο όρος χλωρίου είναι 30 mEqI / L (εύρος $5\text{-}60$

mEqI / L). Ούτε το φύλο, η ωρίμανση, ή η γήρανση φαίνεται να έχουν χαρακτηριστικές επιδράσεις στις συγκεντρώσεις ηλεκτρολυτών στον ιδρώτα (37, 38)

Αξιολόγηση επιπέδων υδάτωσης

Το ημερήσιο ισοζύγιο νερού προκύπτει από την καθαρή διαφορά μεταξύ της αύξησης του νερού στο σώμα και την απώλεια νερού (28). Το νερό αυξάνεται στον οργανισμό μας από την κατανάλωση υγρών και τροφίμων, παράγεται (μεταβολικό νερό), ενώ αντίθετα οι απώλειες του νερού προκύπτουν από αναπνευστικές, γαστρεντερικές, νεφρικές απώλειες αλλά και με τον ιδρώτα. Ο όγκος του νερού που παράγεται με τον κυτταρικό μεταβολισμό ($\sim 0,13$ g / kcal) είναι περίπου ίσος με τις αναπνευστικές απώλειες νερού ($\sim 0,12$ g / kcal) (40,41), οπότε αυτός ο “κύκλος εργασιών” του νερού δεν προκαλεί καθαρές μεταβολές στο συνολικό νερό του σώματος. Οι απώλειες του γαστρεντερικού σωλήνα είναι μικρές (~ 100 - 200 ml / d), εκτός αν το άτομο έχει διάρροια. Έτσι η εφίδρωση είναι που παρέχει την κύρια οδό της απώλειας νερού κατά τη διάρκεια της άσκησης και της θερμικής καταπόνησης [39].

Τα νεφρά ρυθμίζουν την ισορροπία του νερού προσαρμόζοντας την παραγωγή ούρων, με ελάχιστη και μέγιστη απώλεια υγρών μέσω των ούρων περίπου 20 και 1000 mL / h, αντίστοιχα (28). Κατά τη διάρκεια της άσκησης και της θερμικής καταπόνησης, τόσο η σπειραματική διήθηση όσο και η νεφρική ροή του αίματος είναι εμφανώς μειωμένες, με αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή ούρων (41). Επομένως, όταν καταναλώνονται υπερβολικά υγρά κατά τη διάρκεια άσκησης (υπερενυδάτωση), ενδέχεται να υπάρχει μειωμένη ικανότητα να παραγωγής ούρων ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια του όγκου των υγρών από το σώμα. Με διαλειμματική προπόνηση αυτές οι επιδράσεις μπορεί να μην είναι τόσο ισχυρές για τη μείωση της παραγωγής ούρων.

Ο βιοδείκτης ενυδάτωσης πρέπει να είναι ευαίσθητος αλλά και επαρκώς ακριβής για να ανιχνεύσει διακυμάνσεις νερού στο σώμα της τάξεως του $\sim 3\%$ του TBW.

ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Η σημαντικότερη συνέπεια της απώλειας του ιδρώτα κατά τη διάρκεια της άσκησης αλλά και γενικότερα, είναι η απώλεια υγρών από το σώμα των αθλητών σε ποσοστό που σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το είδος και την ένταση της άσκησης, την προσαρμογή του αθλητή σε τέτοιες συνθήκες προπόνησης, τον εγκλιματισμό και τα προσωπικά χαρακτηριστικά του κάθε αθλητή σε σχέση με κάποιον άλλο, το περιβάλλον, τον εξοπλισμό του (π.χ ρούχα), τον αέρα, την υγρασία αλλά και το βαθμό αρχικής υδάτωσης του.

Με την άσκηση ο βασικός μεταβολισμός του ανθρώπου αυξάνεται από 5 έως και 15 φορές και το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα την οποία ο οργανισμός απομακρύνει με τον ιδρώτα και τον μηχανισμό της εφίδρωσης. Το νερό μεταφέρεται ουσιαστικά από το ενδοκυττάριο περιβάλλον στο εξωκυττάριο λόγω της αυξημένης ωσμωμοριακότητας αφού ο ιδρώτας αποτελεί υποτονικότερο υγρό από ότι το πλάσμα. Έτσι με την εξάτμιση του ιδρώτα η θερμοκρασία του σώματος μειώνεται και βοηθάει το σώμα να ρυθμίζει την θερμοκρασία του [42].

Όταν ο οργανισμός βρίσκεται σε συνθήκες θερμικού στρες τότε αυξάνεται ο ρυθμός εφίδρωσης, η περιφερική αγγειοδιαστολή και η ροή του αίματος προς το δέρμα. Οι παραπάνω μηχανισμοί ενεργοποιούνται για τη μεταφορά της θερμότητας από τον πυρήνα του σώματος, στην επιφάνεια του δέρματος ώστε να απομακρυνθεί η θερμότητα αυτή. Με το μηχανισμό αυτό μειώνεται η φλεβικής αντίστασης και η πίεση, η κεντρικής φλεβικής πίεσης [43] και η φλεβικής επαναφοράς και επίσης συντελεί στην μείωση του τελοδιαστολικού όγκου [44]. Η μείωση αυτού μπορεί άμεσα να επηρεάσει τον όγκο του παλμού [45] και πολλές φορές ακόμα και την καρδιακή παροχή, φαινόμενο το οποίο είναι πολύ συχνό σε αφυδατωμένα άτομα. Επιπλέον λόγω της μείωσης του όγκου παλμού και για να διατηρηθεί η καρδιακή παροχή σταθερή, αυξάνεται η καρδιακή συχνότητα.

Η απώλεια του νερού από το σώμα του αθλητή μπορεί να είναι σε διάφορα ποσοστά με διαφορετικές συνέπειες μεταξύ τους. Η απώλεια νερού μέσω της εφίδρωσης της τάξης του 1-2 % του Σωματικού Βάρους (Σ.Β) προκαλεί μείωση της αθλητικής απόδοσης [46]. Σε μια έρευνα Armstrong η απώλεια νερού της τάξεως του 2% του Σ.Β και η μείωση του όγκου πλάσματος κατά 11%, αύξησε τον χρόνο 8 αθλητών στα 1500m, 2000m και 10000m κατά 16sec, 91sec και 152,7

sec αντίστοιχα [47]. Απώλεια νερού άνω του 3 % Σ.Β. μπορεί να επηρεάσει περαιτέρω τη φυσιολογική λειτουργία και να προκαλέσει γρήγορη εξάντληση στον αθλητή, θερμικές κρίσεις και θερμική εξάντληση ή ακόμη και θερμοπληξία και σε ακραία περίπτωση θάνατο. Το βασικό είναι πως ποσοστό της τάξεως του 3% δεν είναι κάτι ασυνήθιστο ή δύσκολο να επιτευχθεί αφού ακόμη και σε μία ώρα έντονης άσκησης και περισσότερο μπορούμε να χάσουμε αρκετό ιδρώτα.

Όταν η αφυδάτωση είναι της τάξεως του 3 BW% έχει οριακή επίδραση στην υποβάθμιση της απόδοσης σε αερόβια άσκηση όταν υπάρχουν συνθήκες ψυχρού και όχι θερμικού στρες (48). Αφυδάτωση 3-5% BW πιθανώς δεν υποβαθμίζει ούτε τη μυϊκή δύναμη (49, 50, 51) την αναερόβια απόδοση (51, 28, 52) σε ψυχρό περιβάλλον.

Πιο αναλυτικά απώλεια νερού έως 1% οδηγεί σε δίψα, 2% σε απροσδιόριστη ανησυχία/ταλαιπωρία, 4% σε μεγαλύτερη καταβολή προσπάθειας για την επίτευξη έργου, 5% σε δυσκολία στη συγκέντρωση, 6% σε εξασθένηση της θερμορύθμισης κατά την διάρκεια της άσκησης, αύξηση στο καρδιακό παλμό και της αναπνευστικής συχνότητας, 10% σε σπασμούς των μυών και 15% σε θάνατο [53, 54].

Η αφυδάτωση επηρεάζει όλα τα φυσιολογικά συστήματα στο ανθρώπινο σώμα [55, 56] και η έκταση των επιδράσεων αυτών εξαρτάται από το ποσοστό του απολεσθέντος νερού. Η απομόνωση των φυσιολογικών αλλαγών που συμβάλλουν στη μείωση της αθλητικής απόδοσης είναι δύσκολη, δεδομένου ότι οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα σύστημα του οργανισμού (δηλ. καρδιαγγειακό) επηρεάζει την απόδοση άλλων συστημάτων όπως για παράδειγμα το μυϊκό [57].

Οι φυσιολογικοί παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της απόδοσης που οφείλεται κυρίως στην αφυδάτωση κατά την προπόνηση, περιλαμβάνουν την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος, την αυξημένη καρδιαγγειακή καταπόνηση, την αυξημένη χρήση του γλυκογόνου, την αλλαγή στη μεταβολική λειτουργία, αλλά ίσως και την μεταβολή στην κεντρική λειτουργία του νευρικού συστήματος (58, 59, 60).

Η γνωστική / πνευματική απόδοση, η οποία είναι σημαντική όπου εμπλέκονται η συγκέντρωση, εξειδικευμένες εργασίες και θέματα τακτικής, επίσης υποβαθμίζεται από την αφυδάτωση και την

υπερθερμία (61, 62). Τα στοιχεία είναι εντονότερα όσο πιο έντονη είναι η υπερθερμίας σε σχέση με τα επίπεδα της επίδρασης μίας ήπιας αφυδάτωσης (63).

Εάν ο αθλητής δεν καταναλώσει την απαραίτητη ποσότητα υγρών κατά τη διάρκεια της άσκησης για να αντισταθμιστεί το ποσοστό απώλειας ύδατος μέσω του ιδρώτα, ώστε να διατηρήσει την ενυδάτωσή του, θα εμφανιστεί προοδευτικά η αφυδάτωση. Φυσικά η εξάτμιση του ιδρώτα είναι πολύ σημαντική για την ψύξη του σώματος κατά τη διάρκεια της προπόνησης σε θερμό περιβάλλον και οποιοσδήποτε παράγοντας που περιορίζει την εξάτμιση θα επηρεάσει αρνητικά τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού και την αθλητική απόδοση του ασκούμενου.

Η μείωση στην αθλητική απόδοση έχει αποδειχθεί πως είναι ανάλογη του βαθμού υπουδάτωσης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερες σε νερό απώλειες να οδηγούν σε μεγαλύτερη αδυναμία για τους αθλητές. Μελέτες έχουν υποδείξει ότι ο περιορισμός στην αντοχή στις αερόβιες δραστηριότητες συνδέεται με αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην καρδιαγγειακή λειτουργία, όσο και στη ρύθμιση της θερμοκρασίας [64]. Παρατηρήθηκε ότι η αφυδάτωση μείωνε σημαντικά τη μέγιστη αερόβια ισχύ σε ένα ποσοστό 4%-8%, εάν υπήρχε 3% απώλεια στο σωματικό βάρος και η άσκηση γινόταν σε ένα ουδέτερο περιβάλλον, αλλά η μείωση ήταν ακόμα μεγαλύτερη σε ένα θερμό περιβάλλον.

Συστάσεις ενυδάτωσης

Έτσι οι αθλητές πρέπει να είναι ενυδατωμένοι όταν ξεκινούν την προπόνησή τους. Όταν κάποιος εκτελεί επαναλαμβανόμενες συνεδρίες άσκησης σε μία ή σε συνεχόμενες μέρες μπορεί να οδηγηθεί σε χρόνια αφυδάτωση. Η υποενυδάτωση στην αρχή της προπόνησης, επιβαρύνει τους φυσιολογικούς μηχανισμούς του οργανισμού [65, 66, 67, 68] και το μέγεθος της δυσλειτουργίας έχει να κάνει με το βαθμό του θερμικού στρες του αθλητή [69]. Συμπαιράινουμε λοιπόν πως οι αθλητές έχουν την ανάγκη βοήθειας για την ενυδάτωσή τους. Πρέπει να λάβουν 500 mL υγρών 4 ώρες πριν από την προπόνηση και αυτός είναι ένας χρόνος που επιτρέπει στον αθλητή να ουρήσει το πλεονάζον νερό για να εξασφαλίσει την κατάλληλη υδάτωση και τη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού στην αρχή της άσκησης [70, 72]. Η υποχρεωτική υδάτωση πριν την άσκηση είναι φυσιολογικά συμφέρουσα και πιο αποτελεσματική σε σχέση με την υδάτωση που υπαγορεύεται από τη συχνά ανεπαρκή προσωπική προτίμηση λόγω δίψας ένδειξη ότι ο οργανισμός είναι ήδη αφυδατωμένος [73, 74]. Είναι επίσης σημαντικό ο αθλητής να έχει μια θρεπτικά ισορροπημένη

διατροφή και πρόσληψη υγρών κατά τη διάρκεια των 24 ωρών πριν από μια συνεδρία άσκησης. Πρόσφατα έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον για τα πιθανά οφέλη της σκόπιμης υπερυδάτωσης πριν από την προπόνηση για να προληφθεί ένα πιθανό έλλειμμα νερού κατά την διάρκεια της άσκησης [75, 76, 77, 78].

Προ-ενυδάτωση

Η προ-ενυδάτωση με ροφήματα, αν χρειάζεται, θα πρέπει να αρχίζει τουλάχιστον αρκετές ώρες πριν από την προπόνηση ώστε να επιτρέψει την απορρόφηση των υγρών και την παραγωγή ούρων ώστε να επιστρέψουν τα υγρά του σώματος στα φυσιολογικά επίπεδα. Η κατανάλωση ποτών με νάτριο ή / και αλατισμένα σνακ ή μικρών γευμάτων με ποτά μπορεί να βοηθήσει στην τόνωση του οργανισμού και την πρόληψη της δίψας και τη διατήρηση των απαραίτητων υγρών στο σώμα [76,77].

Υδάτωση κατά τη διάρκεια

Τα άτομα θα πρέπει να υιοθετήσουν πρόγραμμα αντικατάστασης των υγρών που χάνουν με τις διάφορες απώλειες που να εμποδίζει την υπερβολική (>2 % μείωση του βάρους του σώματος από το αρχικό βάρος σώματος) αφυδάτωση. Η συνήθης μέτρηση του προ- και μετά την άσκηση σωματικού βάρους είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό του ποσοστού του ιδρώτα και την κατάρτιση εξατομικευμένων προγραμμάτων αντικατάστασης υγρών. Η κατανάλωση ποτών που περιέχουν ηλεκτρολύτες και υδατάνθρακες μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση της ισορροπίας ηλεκτρολυτών και των υγρών αλλά και την αθλητική απόδοση [152].

Μετά την άσκηση υδάτωση.

Αν το επιτρέπει ο χρόνος, η κατανάλωση κανονικών γευμάτων και ποτών θα αποκαταστήσουν την υδάτωση του οργανισμού. Τα άτομα που χρειάζονται ταχεία και πλήρη ανάρρωση από υπερβολική αφυδάτωση μπορούν να πουν ~ 1,5 L ρευστού για κάθε χιλιόγραμμο του σωματικού τους βάρους. Η κατανάλωση ποτών και σνακ με νάτριο, συμβάλλει στην επίσπευση ταχείας και πλήρους ανάρρωσης του οργανισμού και την πρόληψη της δίψας με την αύξηση της κατακράτησης υγρών. [76,]

Η χρήση γλυκερόλης αναφέρεται συχνά ως ένας τρόπος βελτίωσης της ενυδάτωσης του οργανισμού μας χωρίς όμως αυτό να οδηγεί πάντα σε βελτίωση της απόδοσης [79]. Μια πρόσφατη μελέτη [80] βρήκε ότι άτομα που είχαν ενυδατωθεί πριν τη άσκηση με νερό και γλυκερόλη είχαν

μεγαλύτερο χρόνο άσκησης και όγκο πλάσματος κατά τη διάρκεια άσκησης εξάντλησης σε υψηλή θερμοότητα σε σύγκριση με άτομα που ενυδατώθηκαν χρησιμοποιώντας έναν ίσο όγκο του ύδατος χωρίς γλυκερόλη.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Φύλο

Οι γυναίκες έχουν κατά κανόνα χαμηλότερα ποσοστά εφίδρωσης και απώλειες ηλεκτρολυτών από ό,τι οι άνδρες (81, 82, 83). Τα χαμηλότερα ποσοστά εφίδρωσης είναι κυρίως επειδή έχουν μικρότερο μέγεθος σώματος και χαμηλότερους ρυθμούς μεταβολισμού. Επίσης, οι γυναίκες εμφανίζουν μικρότερη αποβολή ιδρώτα όταν το δέρμα τους είναι υγρό (83). Οι διαφυλικές διαφορές στη νεφρική κατακράτηση νερού και ηλεκτρολυτών είναι λεπτές και πιθανόν να μην είναι ικανές να προκαλέσουν συνέπειες . Η διουρητική ανταπόκριση σε ένα φορτίο νερού μπορεί να είναι μεγαλύτερη στις γυναίκες από τους άνδρες, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι γυναίκες μετατρέπουν το νερό πιο γρήγορα από ό,τι οι άνδρες σε ουρία (84). Επίσης οι γυναίκες φαίνεται να διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο από τους άνδρες να αναπτύξουν συμπτωματική υπονατριαιμία όταν ανταγωνίζονται σε μαραθώνιο και αγώνες υπερμαραθωνίου (85, 86).

Ηλικία

Τα ηλικιωμένα άτομα (ηλικίας > 65 έτη) σε γενικές γραμμές ενυδατώνονται επαρκώς (87). Ωστόσο, υπάρχει μία σχετιζόμενη με την ηλικία άμβλυνση στην απόκριση της δίψας δηλαδή δεν αντιλαμβάνονται το πότε διψάνε (88, 89, 90), γεγονός που τους καθιστά πιο επιρρεπείς στο να αφυδατωθούν (88). Οι ηλικιωμένοι έχουν αυξημένη ωσμωτικότητα πλάσματος και είναι πιο δύσκολο να ανακτήσουν την ομοιόσταση στα υγρά του σώματος σε απάντηση της έλλειψης νερού και της άσκησης συγκριτικά με τους νεότερους σε ηλικία (89). Αν όμως δοθεί επαρκής χρόνος και πρόσβαση σε νερό και νάτριο, οι ηλικιωμένοι θα αποκαταστήσουν επαρκώς τα υγρά του σώματος (91, 89).

Τα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας είναι επίσης πιο αργά στο να αποβάλλουν νερό μετά από υπερκατανάλωση υγρών (92, 89, 93, 94, 95). Αυτή η βραδύτερη περίοδος απέκκρισης νερού και νατρίου αυξάνει την κατακράτηση νατρίου και μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της πίεσης του αίματος (91).

ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

Η αφυδάτωση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αθλητική απόδοση, τη θερμορρύθμιση, και την καρδιαγγειακή απόκριση (96, 97, 98, 99, 100, 101). Ιδιαίτερα οι δρομείς είναι ευάλωτοι στην αφυδάτωση λόγω της έντασης και της διάρκειας της προπόνησής τους, τη δυσκολία της κατανάλωσης νερού ενώ τρέχουν, και των καταπονήσεων που συχνά υπόκεινται ειδικά όταν τρέχουν σε συνθήκες θερμικού στρες. Παρά το γεγονός ότι έμπειροι δρομείς έχουν συνήθως επίγνωση των συνεπειών της αφυδάτωσης, όταν έχουν ελεύθερη πρόσβαση σε υγρά κατά τη διάρκεια της άσκησης, συχνά αναπτύσσουν μια προοδευτική απώλεια βάρους, η οποία είναι η λεγόμενη «εθελοντική αφυδάτωση» και ονομάστηκε έτσι από τον Rothstein et al. το 1947 (102). Δεν είναι ασυνήθιστο για τους αθλητές να αφυδατώνονται κατά 2-5% ή και περισσότερο του βάρους του σώματος τους κατά τη διάρκεια των προπονήσεων τους (103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 102).

Μελέτες έχουν αναφέρει (111) ότι οι δρομείς έπιναν μόλις 400 ml κατά τη διάρκεια ενός αγώνα μααραθωνίου και ανέπτυξαν μια μέση απώλεια βάρους της τάξεως των 2,9 kg (περίπου το 5,9% του αρχικού σωματικού βάρους), ακόμα κι αν ένα ποτό ήταν άμεσα διαθέσιμο σε κάθε σταθμό ανεφοδιασμού. Ανάλογες μελέτες (113) έχουν δείξει ότι οι δρομείς πίνουν γενικά μόνο 0,5 L υγρών ανά ώρα, ποσότητα που επιτρέπει την αφυδάτωσή τους με ρυθμούς περίπου 0,5 - 1,0 L / h. Εκτός από τους τυπικούς λόγους για την αποφυγή της κατανάλωσης υγρών όπως είναι ο φόβος των γαστρεντερικών διαταραχών ή το να μην θέλουν οι δρομείς να επιβραδύνουν για να πουν κάποιο υγρό, η εθελοντική αφυδάτωση μπορεί επίσης να επέλθει και από την αδυναμία των ίδιων των αθλητών να αντιλαμβάνονται τις απώλειες σε υγρά που έχουν με τον ιδρώτα τους και, ως εκ τούτου, την πρόσληψη υγρών που απαιτείται για την πρόληψη της αφυδάτωσής τους. (114)

Η μελέτη εξέτασε τη σχέση μεταξύ των αντιληπτών και των πραγματικών αναγκών σε υγρά αλλά και τις συμπεριφορές στην κατανάλωση υγρών σε έμπειρους δρομείς κατά τη διάρκεια ενός αγώνα

16-km σε συνθήκες αποκατάστασης θερμικού στρες. Τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαίωσαν την πρόβλεψη των μελετητών για εθελοντική αφυδάτωση. Η μέση απώλεια ιδρώτα από τους αθλητές σε αυτή τη μελέτη ήταν περισσότερο από 3 φορές ο όγκος των υγρών που καταναλώνεται οικειοθελώς. Η εθελοντική αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της σωματικής δραστηριότητας είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται συχνά. Έχει παρατηρηθεί ακόμα και σε άντρες που εργαζόταν στην έρημο, παρά το γεγονός ότι είχαν απεριόριστη πρόσβαση σε νερό (102). Ο Noakes et al. (115) ανέφερε επίσης εθελοντική αφυδάτωση σε αθλητές, διαπιστώνοντας ότι κατά μέσο όρο μόνο το 30% της απώλειας βάρους (κυρίως ιδρώτα, αλλά και του νερού της αναπνευστικής λειτουργίας νερού και της απώλειας του γλυκογόνου και λίπους) αντικαταστάθηκε κατά τη διάρκεια της άσκησης και αυτό είναι ένα ποσοστό αποδεκτό από όλους. Πολλοί παράγοντες (π.χ. η γεύση, η σύνθεση ποτών, η θερμοκρασία των αναπνευστικών, η ευκολία πρόσβασης) μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά κατανάλωσης (116, 117, 118, 119). Σε ανάλογη έρευνα ελήφθη μέριμνα ώστε να αποφεύγονται εμπόδια στην κατανάλωση υγρών και να μεγιστοποιηθεί η δυνατότητα για πρόσληψή τους. Χρησιμοποιήθηκαν δρομείς οι οποίοι είχαν αγωνιστεί σε αρκετούς μαραθώνιους και αγώνες δρόμου θα ήταν περισσότερο γνώστες για τις ανάγκες τους σε υγρά, και θα είχαν μεγαλύτερη εμπειρία ώστε να πίνουν κατά τη διάρκεια της άσκησης. Παράλληλα έρευνα έχει δείξει ότι η γεύση, η γευστικότητα, παρουσία νατρίου, και η χαμηλή θερμοκρασία ενός ποτού συμβάλουν στην ενίσχυση της πρόσληψης υγρών και στο να μεγιστοποιηθεί ο όγκος κατανάλωσης (118). Όμως ακόμη και με την κατανάλωση ποτού εύγεστου, διατηρημένου σε απλή ψύξη, οικείου, μη ανθρακούχου και με περιεκτικότητα σε νάτριο, οι έμπειροι αυτοί δρομείς αναπλήρωσαν το 1/3 των απωλειών τους (116).

Κατά τη διάρκεια άσκησης σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, η έντονη αφυδάτωση και η υπερθερμία μπορούν, σε ορισμένες συνθήκες να μειώσουν την καρδιακή παροχή, τη ροή αίματος στο δέρμα, τη σπλαχνική ροή του αίματος, τη ροή αίματος στους σκελετικούς μύες, τη μέση αρτηριακή πίεση (120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127), καθώς και τη μέγιστη κατανάλωση O₂ (VO₂ max) (128, 129). Δεν είναι σαφές, ωστόσο, εάν ο αρχικός ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης του O₂ (VO₂ on-kinetics) επηρεάζεται επίσης σε συνθήκες έντονης αφυδάτωσης και υπερθερμίας.

Η σχετική συμβολή της αφυδάτωσης και της υπερθερμίας στη μείωση της VO₂ max με επισημασμένη αφυδάτωση και υπερθερμία παραμένει αόριστη, καθώς τα αποτελέσματα σε αυτόν τον τομέα είναι αμφιλεγόμενα. Η VO₂ max φαίνεται να μειώνεται (131, 129, 131), να μένει σταθερή (125, 132, 133), ή να αυξάνεται (134) όταν οι αθλητές ασκούνται σε διαφορετικά επίπεδα

υπερθερμίας με ή και χωρίς αφυδάτωση, ενώ φαίνεται πως η αφυδάτωση σε απουσία θερμικής καταπόνησης προκαλεί μόνο μικρές (135) ή και καθόλου μειώσεις στη $\dot{V}O_2 \max$ (136, 137, 138, 139, 140).

Μελέτη έδειξε ότι η έντονη υπερθερμία μόνη της ή σε συνδυασμό με αφυδάτωση δεν αλλάζουν τη $\dot{V}O_2$ on-kinetics, παρά το γεγονός ότι μειώνουν δραστικά τη $\dot{V}O_2 \max$. Οι παρατηρήσεις ότι η υπερθερμία με ή χωρίς αφυδάτωση οδήγησε σε παρόμοιες μειώσεις σε $\dot{V}O_2 \max$ και ότι η πρόληψη της υπερθερμίας σε αφυδατωμένα άτομα αποκαθιστά το μεγαλύτερο μέρος της μείωσης της $\dot{V}O_2 \max$ υποδεικνύουν ότι το μεγαλύτερο μέρος της μείωσης της $\dot{V}O_2 \max$ με συνδυασμένη αφυδάτωση και υπερθερμία σχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με την υπερθερμία (141). Παρά το ότι κατά τη διάρκεια της άσκησης σημειώνονται μειώσεις στη μέγιστη απόκριση, ο αρχικός ρυθμός αύξησης της $\dot{V}O_2$ ήταν αναλλοίωτος είτε με συνθήκες μόνο υπερθερμίας μόνη της ή με συνδυασμένη υπερθερμία και αφυδάτωση.

Η μεγάλη θερμική καταπόνηση που βίωσαν οι αθλητές στη μελέτη αυτή θα μπορούσε να εξηγήσει επίσης τη διαπίστωση ότι η υπέρμετρη αφυδάτωση σε συνθήκες υπερθερμίας δεν οδηγεί σε πρόσθετες μειώσεις στην $\dot{V}O_2 \max$. Αποκατάσταση του μεγαλύτερου μέρους της μείωσης $\dot{V}O_2 \max$ (65% αποκατάσταση) όταν η υπερθερμία αποτράπηκε με παρουσία αφυδάτωσης απλά επιβεβαίωσε την άποψη αυτή (141).

Επίσης, υποθέτοντας μια μέγιστη αρτηριοφλεβική διαφορά O_2 της τάξεως των 170 ml O_2/L αίματος στις δοκιμές σε ενυδατωμένο οργανισμό (142, 143), η παρατηρούμενη μείωση 16-17% στο παλμικό O_2 και τη $\dot{V}O_2 \max$ με συνθήκες υπερθερμίας, μπορεί να εξηγηθεί από μια περίπου 26 - ml μείωση του όγκου του παλμού, που οδηγεί σε μια μείωση περίπου 4 l / min σε καρδιακή παροχή. Αυτές οι εκτιμήσεις είναι συνεπείς με τις μειώσεις του όγκου παλμού και της καρδιακής απόδοσης που παρατηρήθηκε με αφυδάτωση και υπερθερμία, κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης σε υψηλή θερμοκρασία (120, 142, 121, 122, 143, 144, 145).

Μία τέτοια μελέτη με αποτέλεσμα μεγάλες διαφορές στο επίπεδο ενυδάτωσης και της θερμοκρασίας του σώματος θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει τα καλύτερα και τα χειρότερα σενάρια (πλήρης εναντίον καμίας αναπλήρωσης υγρών) που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν οι αθλητές αντοχής κατά τη διάρκεια αθλητικών γεγονότων που απαιτούν υψηλής απόδοσης πολλά λεπτά κατά τη διάρκεια του ανταγωνισμού σε ζεστό περιβάλλον. Για παράδειγμα, αυτό θα

μπορούσε να είναι η περίπτωση κατά τη διάρκεια που οι ποδηλάτες αντοχής έχουν να κάνουν ένα σπριντ κατά το τέλος του αγώνα. Είναι προφανές από τα αποτελέσματα μελετών (141) ότι η αφυδάτωση και ιδιαίτερα η ταυτόχρονη υπερθερμία, έχουν μεγάλες πιθανότητες να επηρεάσουν την επίδοση σε ένα "σπριντ" σε θερμό περιβάλλον.

Κατά τη διάρκεια βαριάς άσκησης, είναι λογικό να αναμένει κανείς ότι σημαντική υπερθερμία, και αφυδάτωση μειώνουν τη ροή του αίματος και την παροχή O_2 στους ενεργούς σκελετικούς μυς (120, 129).

Ενυδάτωση και καρδιαγγειακά

Κατά τη διάρκεια άσκησης σε έντονα θερμό περιβάλλον, οι αθλητές αντοχής αθλούνται σε ένταση, που φτάνει το καρδιαγγειακό σύστημα τους στο απόλυτο όριο του (π.χ. 90-100% του μέγιστου καρδιακού ρυθμού). Συνεπώς, οι αθλητικές τους επιδόσεις και η αποφυγή τραυματισμών που σχετίζονται με τη θερμοκρασία εξαρτώνται κυρίως από τη διατήρηση επαρκούς καρδιακής απόδοσης, την πίεση του αίματος, και την αιμάτωση των οργάνων. Πρόσφατα αναφέρθηκε σε μελέτες ότι η αφυδάτωση, σε ανταγωνιστικούς ποδηλάτες επί 2 h της άσκησης, προκαλεί υπερθερμία, [οισοφαγική θερμοκρασία (T_{es}) $39.3^{\circ}C$], παράγοντας ένα φαινόμενο κατά το οποίο η καρδιακή παροχή και η αρτηριακή πίεση μειώνονται σημαντικά (18 και 5%, αντίστοιχα), αυξάνεται η συστηματική αντίσταση των αγγείων, και τα αιμοφόρα αγγεία στο δέρμα αγγειοσυστέλλονται (146).

Σε μελέτη που έγινε (147) όταν οι αθλητές ολοκλήρωσαν 30-min άσκησης, το σωματικό τους βάρος ήταν παρόμοιο (δηλαδή, 60,1 kg) με τις τιμές πριν την άσκηση σε άτομα τα οποία υπέστησαν υπερθερμία αλλά ήταν ενυδατωμένα. Σε αντίθεση με αυτό, το σωματικό βάρος μειώθηκε κατά 4% σε άτομα που ήταν αφυδατωμένα.

Η T_{es} διατηρήθηκε στους $38,1 \pm 0,1$ έως $38,3 \pm 0,1^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια δοκιμών σε αθλητές που ήταν αφυδατωμένοι αλλά δεν ήταν σε κατάσταση υπερθερμίας και αυτό ακριβώς δείχνει την επιτυχία του ψυχρού περιβάλλοντος στην πρόληψη της αύξησης της θερμοκρασίας του πυρήνα όταν τα άτομα είναι αφυδατωμένα. Σε αντίθεση με αυτό, η T_{es} ήταν $39,3 \pm 0,1^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια δοκιμών όπου οι αθλητές ήταν και αφυδατωμένοι αλλά και σε κατάσταση υπερθερμίας ταυτόχρονα. Σε κατάσταση ηρεμίας οι μέσες θερμοκρασίες του δέρματος ήταν $33,8 \pm 0,3$, $34,2 \pm 0,2$ και $35,2 \pm 0,3^{\circ}C$ κατά τη διάρκεια ελεγχόμενων καταστάσεων χωρίς υπερθερμία και

αφυδάτωση, σε άτομα τα οποία υπέστησαν αφυδάτωση αλλά και υπερθερμία και αφυδάτωση αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια περιόδου άθλησης 10 έως 30 min η μέση θερμοκρασία του δέρματος διατηρήθηκε στους $34,6 \pm 0,4$ ° C κατά τη διάρκεια τόσο της υπερθερμίας αλλά και αφυδάτωσης με ταυτόχρονη υπερθερμία και σε $34,0 \pm 0,2$ ° C κατά τη διάρκεια ελεγχόμενων συνθηκών. Επίσης ο όγκος του αίματος και ο όγκος του πλάσματος ήταν σημαντικά χαμηλότερος κατά τη διάρκεια προπόνησης τόσο υπό συνθήκες υπερθερμίας αλλά και αφυδάτωσης με ταυτόχρονη υπερθερμία σε σχέση με την ελεγχόμενη κατάσταση. Η ωσμωτικότητα του ορού και η συγκέντρωση νατρίου του ορού αντανakλά την κατάσταση ενυδάτωσης, που είναι σημαντικά ($P < 0,05$) αυξημένη σε περιπτώσεις αφυδάτωσης μαζί με υπερθερμία.

Η αφυδάτωση από μόνη της μείωσε τον όγκο των παλμών κατά $7 \pm 2\%$ (11 ± 3 ml / παλμό $P < 0,05$) και αύξησε τον καρδιακό ρυθμό κατά $5 \pm 1\%$ (7 ± 2 παλμών / λεπτό, $P < 0,05$) χωρίς να επηρεάζει σημαντικά τις άλλες καρδιαγγειακές αποκρίσεις σε σύγκριση με τιμές ελέγχου. Επομένως, οι σχετικές επιμέρους επιδράσεις της αφυδάτωσης σε άτομα τα οποία υπέστησαν υπερθερμία και αφυδάτωση ταυτόχρονα ήταν ταυτόσημα.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι όταν η αφυδάτωση δεν οδηγεί σε υπερθερμία, ο μειωμένος εγκεφαλικός όγκος οφείλεται αποκλειστικά στην αφυδάτωση του αίματος. (147).

Όταν αφυδατωμένοι αθλητές αθλούνται στη ζέστη σε μέτρια ένταση, βιώνουν υπερθερμία, λόγω της μειωμένης απαγωγή της θερμότητας, έχουν ως αποτέλεσμα σε μεγάλο βαθμό την μειωμένη ροή αίματος στο δέρμα και την εφίδρωση (148, 149, 146, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 192). Αυτό το στρες που προκαλείται με αφυδάτωση και υπερθερμία προκαλεί καρδιαγγειακή πίεση κατά τη διάρκεια της άσκησης, και χαρακτηρίζεται από εμφανώς μειωμένη καρδιακή παροχή ($13 \pm 2\%$ ή $2,8 \pm 0,3$ l / min) και αυξημένη συστηματική αγγειακή αντίσταση ($10 \pm 3\%$ ή $0,5 \pm 0,1$ mmHg · L21 · min) με μικρότερες αλλά σημαντικές μειώσεις στη μέση αρτηριακή πίεση του αίματος ($5 \pm 2\%$ ή 5 ± 2 mmHg). Το πιο σημαντικό εύρημα αυτής της μελέτης ότι αυτή η καρδιαγγειακή αστάθεια είναι αποτέλεσμα της συνεργιστικής επίδρασης αφυδάτωσης με συνδυασμένη υπερθερμία, για τη μείωση καρδιακής απόδοσης κατά τη διάρκεια της άσκησης [119, 120, 121,145].

Η υπερθερμία ή η αφυδάτωση μόνα τους δεν μειώνουν σημαντικά την καρδιακή παροχή ή τη μέση αρτηριακή πίεση. Οι επιμέρους επιδράσεις της υπερθερμίας και της αφυδάτωσης ήταν παρόμοιες,

από το ότι η κάθεμία χωριστά στο ότι μειώνουν τον όγκο του παλμού κατά $7-8 \pm 2\%$ και στο ότι αυξάνουν τον καρδιακό ρυθμό κατά $5 \pm 1\%$. Ωστόσο, σε σύγκριση με την ατομική επίδραση της υπερθερμίας, η υπέρθεση της αφυδάτωσης στην υπερθερμία, προκάλεσε μία σημαντικά μεγαλύτερη μείωση του όγκου παλμού ($20 \pm 1\%$), η οποία δεν αντισταθμίζεται πλήρως από την $9 \pm 1\%$ αύξηση του καρδιακού ρυθμού, και κατά συνέπεια η καρδιακή παροχή μειώθηκε κατά $13 \pm 2\%$. Επίσης παρατηρείται κανονικά κατά τη διάρκεια της παρατεταμένης άσκησης στη ζέστη αλλά με ανεμιστήρα ψύξης, να μειώνεται η θερμοκρασία του δέρματος ή να διατηρείται αλλά να αυξάνει η θερμοκρασία πυρήνα του σώματος με αφυδάτωση 164, 165, 155, 160, 161, 163).

Σαφώς, η μείωση στον όγκο παλμού, είναι το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίζεται τόσο με την υπερθερμία όσο και την αφυδάτωση, επειδή η καρδιαγγειακή πίεση αναπτύσσεται όταν οι μειώσεις του όγκου παλμού είναι αρκετά μεγάλες ώστε να προκαλέσουν σχεδόν μέγιστο καρδιακό ρυθμό (147).

Είναι σαφές, ωστόσο, ότι η μεγάλη αύξηση της αφυδάτωσης στην υπερθερμία (έως $39,3^\circ \text{C}$ για Tes) κατά τη διάρκεια της άσκησης στη θερμότητα δεν προκάλεσε μόνο μεγαλύτερες μειώσεις του όγκου παλμού και της καρδιακής απόδοσης, αλλά βάζει σε κίνδυνο επίσης την αρτηριακή πίεση και προκαλεί αγγειοσυστολή. Πρόσφατα αναφέρθηκε ότι προκαλεί επίσης μια αύξηση κατά 50% στο πλάσμα νορεπινεφρίνης, δερματική αγγειοσυστολή και ότι είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνη για την υπερθερμία που συσχετίζεται με αφυδάτωση (155, 163).

Ο Sawka et al. (166) έχουν πρόσφατα διαπιστώσει ότι όταν οι αθλητές είναι αφυδατωμένοι, εξαντλούνται νωρίτερα (55 έναντι 121') κατά τη διάρκεια προπόνησης σε διάδρομο με τα πόδια σε 49°C περιβάλλον, και παρά το γεγονός ότι έχουν σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία κορμού ($38,7$ έναντι $39,1^\circ \text{C}$ σε σύγκριση με την εξάντληση) όταν οι αθλητές είναι ενυδατωμένοι.

Η χαμηλότερη θερμοκρασία του κορμού σε συνθήκες εξάντλησης, όταν αθλητές είναι αφυδατωμένοι μπορεί να φαίνεται παράδοξη, αλλά, στην πραγματικότητα δεν είναι έτσι.

Οι αφυδατωμένοι αθλητές έχουν χαμηλότερη καρδιακή παροχή και πίεση αίματος και μεγαλύτερη αγγειακή αντίσταση, γεγονός που τους καθιστά δυνητικά πιο επιρρεπείς σε ισχαιμική βλάβη. Από την άποψη ότι η θερμική εξάντληση θα μπορούσε να προκύψει από την καρδιαγγειακή αστάθεια (δηλ. πτώση του όγκου παλμού, καρδιακή παροχή και τελικά πίεση του αίματος) σε απάντηση στην αφυδάτωση και / ή υπερθερμία, οι αφυδατωμένοι αθλητές θα αναμένεται να ανεχτούν λιγότερη υπερθερμία πριν εξαντληθούν.

Όταν η αφυδάτωση αφέθηκε να προκαλέσει υπερθερμία κατά τη διάρκεια άσκησης μέσα στη ζέστη, η μείωση στον όγκο του παλμού ήταν μεγαλύτερη (20%) και η καρδιακή παροχή μειώθηκε συνεργιστικά (13%).

Σαφώς, η υπέρθεση αφυδάτωσης στην υπερθερμία κατά τη διάρκεια άσκησης μέσα στη ζέστη προκαλεί μεγαλύτερες μειώσεις του όγκου των παλμών και της καρδιαγγειακής λειτουργίας η οποία κάνει τον αφυδατωμένο αθλητή πολύ λιγότερο σε θέση να αντιμετωπίσει την υπερθερμία.

Αφυδάτωση και μυϊκός μεταβολισμός

Σε περιπτώσεις αφυδάτωσης οι πιθανές αλλαγές στο επίπεδο των μυών περιλαμβάνουν ένα πιθανό αυξημένο ποσοστό διάσπασης γλυκογόνου [167, 168, 169], καθώς και αυξημένη θερμοκρασία μυών [170] και αυξημένα επίπεδα γαλακτικού [171].

Επίσης με την άσκηση σε αφυδατωμένη κατάσταση συνδέονται και διάφορες ψυχολογικές αλλαγές που συνδέονται και δεν πρέπει να αγνοηθούν ενώ εξασθενίζει η διανοητική λειτουργία [172, 173], μειώνεται επίσης η όρεξη για άσκηση και μειώνεται ο χρόνος όπου εμφανίζεται η εξάντληση [174, 175, 176].

Αφυδάτωση και μυϊκή αντοχή

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες που ερευνούσαν το ρόλο της αφυδάτωσης στην αντοχή των μυών και έχουν αποδείξει γενικά μειώσεις στην απόδοση όταν η αφυδάτωση ήταν σε ποσοστό 5% και άνω [177, 178, 179, 180, 181]. Το γενικό συμπέρασμα είναι πως όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός της αφυδάτωσης τόσο πιο αρνητικός είναι ο αντίκτυπος στις φυσιολογικές λειτουργίες και τη γενική απόδοση του αθλητή. Οι περισσότερες μελέτες [182, 178, 183, 184, 185, 186] που είχαν να κάνουν με τη μελέτη της επιρροής της αφυδάτωσης στην αντοχή μυών, δείχνουν ότι αφυδάτωση 3% ως 4% του σωματικού βάρους μπορεί να προκαλέσει μείωση στην απόδοση, αλλά σε μια μελέτη [187] αυτή η εύρεση δεν υποστηρίχθηκε. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην αντοχή των μυών [187, 171].

Διάφορες μελέτες έχουν καταλήξει επίσης στο ότι η φυσική ικανότητα εργασίας μειώνεται ακόμα και με αφυδάτωση λιγότερο από 2% κατά τη διάρκεια της έντονης άσκησης σε θερμό περιβάλλον [188, 189] ενώ με αύξηση του ποσοστού αφυδάτωσης, η φυσική ικανότητα εργασίας μειώθηκε κατά τουλάχιστον 35% με 48% και φάνηκε να μειώνεται ακόμα και όταν η μέγιστη αεροβική ικανότητα έμενε σταθερή [190].

Σε μελέτη που έγινε το 2004 αναφέρθηκαν κάποιες από τις συνέπειες που μπορεί να έχει η αφυδάτωση σε ποδηλάτες που έκαναν προπόνηση αντοχής. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν μείωση στη ροή του αίματος στο δέρμα με την αφυδάτωση και ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η αφυδάτωση, τόσο μεγαλύτερη ήταν η αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα και της καρδιακής συχνότητας και αντίθετα τόσο μεγαλύτερη ήταν και η μείωση του όγκου του παλμού (112, 120).

Στόχος της μελέτης

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι να αξιολογήσει την επίδραση των επιπέδων ενυδάτωσης στην ποδηλατική απόδοση σε εξομοίωση αγώνα δόμου αντοχής, συσχετίζοντας την κατά βούληση κατανάλωση νερού με την συνταγογραφούμενη μέθοδο ενυδάτωσης. Πιο συγκεκριμένα θέλαμε να δούμε τη διαφορά στα επίπεδα υδάτωσης των εθελοντών μεταξύ της κατά βούληση κατανάλωσης και της συνταγογραφούμενης ενυδάτωσης.

Θέτοντας και στις δύο περιπτώσεις τους εθελοντές στο ίδιο ακριβώς πρωτόκολλο άσκησης. Το πρωτόκολλο της άσκησης πρέπει να σημειωθεί ότι έγινε σε στατική προπονητική βάση ποδηλάτου συνδεδεμένη με υπολογιστή, όπου προγραμματίστηκε η εξομοίωση του αγώνα.

Το δείγμα ήταν σχετικά μικρό αλλά ενδεικτικό για τη συσχέτιση της ενυδάτωσης με την αθλητική απόδοση των εθελοντών – αθλητών ποδηλασίας υψηλού επιπέδου.

Σε μια γενική εικόνα ο κάθε εθελοντής πέρασε από 3 ίδιες ακριβώς δοκιμασίες με ένταση και διάρκεια. Το μόνο που διέφερε ήταν η ποσότητα των υγρών – νερού που κατανάλωνε. Η κάθε δοκιμασία διαρκούσε 1,5 ώρα και θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη ήταν διπλά τυφλή και τυχαιοποιημένη όπως θα φανεί και παρακάτω.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Δέκα υγιείς εθελοντές, όλοι τους αθλητές ποδηλασίας υψηλού επιπέδου έλαβαν μέρος στη μελέτη μας. Τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 1). Με αυτόν τον τρόπο προσπαθήσαμε να έχουμε άτομα τα οποία θα μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μια δοκιμασία που είναι όμοια ενός αγώνα αντοχής.

Κάθε εθελοντής έδωσε τη συγκατάθεσή του αφού είχε ενημερωθεί, και το πρωτόκολλο εγκρίθηκε από το συμβούλιο επιθεώρησης του πανεπιστημίου. Το μέγεθος του δείγματος ήταν επαρκές για την επίτευξη του 75% της δυναμικότητας της μελέτης σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Τα κριτήρια επιλογής για τη συμμετοχή των εθελοντών στη μελέτη περιλάμβαναν μια κανονική φυσική εξέταση. Επίσης οι εθελοντές θα έπρεπε να έχουν οποιαδήποτε απουσία μεταβολικών νοσημάτων, καρδιαγγειακών, ή νεφρικής νόσου.

Επίσης τα άτομα αυτά έπρεπε : Καταρχάς μην είναι καπνιστές.

Να μην πάσχουν από Μεταβολικό Σύνδρομο και φυσικά να μην έχουν νεφρικές ασθένειες.

Ακόμη, να μην πάσχουν από ασθένειες στο ουροποιητικό τους σύστημα όπως επίσης να μην παίρνουν φάρμακα και κυρίως διουρητικά.

Η σύσταση σώματος εκτιμήθηκε από διπλής ενέργειας απορρόφησης ακτίνων X - DEXA (μοντέλο DPX-MD, Lunar Corp, Madison, WI).

Πίνακας 1.

Πίνακας 1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των εθελοντών της μελέτης					
Αριθμός εθελοντών					10
Ηλικίες (έτη)					30±5
Βάρος (Kg)					76.2±7.2
Ύψος (m)					180.5±7.3
Μέγιστη Ισχύς (Watt)					391.5±33
Ποσοστό Λίπους (%)					10.5±3.3
Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (ml*kg⁻¹*min⁻¹)					61.3±5.2
Οι τιμές ± είναι οι μέσες τιμές SE					

Πειραματικό πρωτόκολλο

Όλες οι δοκιμές διεξήχθησαν το πρωί μετά από μία ολονύκτια νηστεία τουλάχιστον 10 ώρες. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος – εργαστηρίου ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια στους 31.6° C με τη βοήθεια ενός οργάνου του WBGT.

Επίσης οι δοκιμές είχαν μεταξύ τους χρονική απόσταση τουλάχιστον 1 εβδομάδα.

Την ημέρα πριν από κάθε δοκιμασία οι εθελοντές δεν έπρεπε να έχουν καταναλώσει ποτά που περιέχουν καφεΐνη (π.χ. καφέ, Coca Cola) ή αλκοόλ.

Επίσης θα έπρεπε να είναι επαρκώς ενυδατωμένοι την ημέρα κάθε δοκιμής. Για το σκοπό αυτό οι οδηγίες που τους δώσαμε ήταν να καταναλώσουν επαρκείς ποσότητες υγρών (1,5-2 λίτρα) την προηγούμενη ημέρα και δύο ποτήρια νερό πριν κοιμηθούν. Ακόμη να απέχουν από οποιαδήποτε επίπονη σωματική δραστηριότητα και ιδιαίτερα από προπόνηση.

Οι εθελοντές θα έπρεπε να συμπληρώσουν αναλυτικά και λεπτομερώς ένα μονοήμερο ημερολόγιο καταγραφής τροφίμων και υγρών. Το ημερολόγιο καταγραφής θα περιελάμβανε 1 ημέρα καταγραφής στην οποία δε θα είχε πραγματοποιηθεί προπόνηση και στην οποία θα καταγράφονταν τα τρόφιμα και υγρά που καταναλώθηκαν. Για να ελαχιστοποιηθούν οι διαφορές στις συγκεντρώσεις γλυκογόνου των μυών την ημέρα του πρωτοκόλλου, τα άτομα είχαν εντολή να ακολουθούν την ίδια διατροφή πριν από κάθε επίσκεψη βάσει της διατροφής που είχε καταγραφεί και είχε δοθεί στους συμμετέχοντες με οδηγίες

Εργομετρικό Τεστ πριν το Πρωτόκολλο

Κατά την πρώτη επίσκεψη, πραγματοποιήθηκε ένα τεστ μέγιστης αερόβιας ικανότητας σε εργομετρικό ποδήλατο (Monark 839E, Monark Exercise, Vansbro, Sweden) για τον προσδιορισμό της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου (VO_{2max}) και παράλληλα της μέγιστης έντασης της άσκησης που μπορεί να φτάσει ο κάθε εθελοντής (W_{max}). Απαραίτητα στοιχεία για τον έλεγχο και καθορισμό των επιπέδων δύναμης και αντοχής. για τη σωστή διεξαγωγή της εξομοίωσης - μελέτης.

Αερόβια ικανότητα: Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO_{2max}) προσδιορίστηκε σε θερμο-άνετο περιβάλλον (22° C) με αυξητικής τύπου άσκηση με αντίσταση από μηχανικά φρένα σε εργομετρικό ποδήλατο (Monark 839E, Σουηδία). Μετά από 5 λεπτά προθέρμανση, οι εθελοντές ποδηλάτησαν

στα 100 W, επί 1 λεπτό, από το οποίο σημείο και μετά η ισχύς της ποδηλασία αυξήθηκε κατά 20 W ανά λεπτό μέχρι τη θεληματική εξάντληση. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, τα αέρια εκπνοής αναλύθηκαν σε κάθε αναπνοή μέσω ενός online αναλυτή αερίων (MedGraphics Ultima Series, St. Paul, MN).

Φάση Ρυθμού Εφίδρωσης

Κατά την δεύτερη επίσκεψη ο εθελοντής στο εργαστήριο, έφερνε το δείγμα των πρώτων πρωινών ούρων σε ειδικό αποστειρωμένο δοχείο συλλογής. Αμέσως πήγαιναν στο εργαστήριο για περαιτέρω επεξεργασία. Με την άφιξη τους στο χώρο του εργαστηρίου κατανάλωναν μισή ώρα πριν την έναρξη της δοκιμασίας, συγκεκριμένο πρωινό που είχε ετοιμαστεί από εμάς. Το πρωινό περιλάμβανε δύο μόνο φέτες ψωμί του τόστ με μία κουταλιά της σούπας μέλι στην κάθε φέτα. Στη συνέχεια γινόταν η καταγραφή του (Baseline) σωματικού βάρους. Οι αθλητές ζυγίζόντουσαν φορώντας μόνο το κολλάν τους.

Αμέσως μετά γινόταν η αιμοληψία για ανάλυση χρήσιμων δεικτών αίματος στο εργαστήριο. Λίγη ώρα (20 – 30 λεπτά) μετά την κατανάλωση του πρωινού και αφού οι αθλητές είχαν χαλαρώσει προχωρούσαμε στο πρωτόκολλο ρυθμού εφίδρωσης.

Σημειώνοντας, οι μεταβολές του σωματικού βάρους, τα δείγματα ούρων και αίματος σημειώθηκαν και υπολογίστηκαν και στο τέλος της φάσης της αφυδάτωσης.

Στο πρωτόκολλο του ρυθμού εφίδρωσης ο εθελοντής ακολούθησε ακριβώς το πρωτόκολλο της εξομοίωσης του αγώνα όπως θα περιγραφεί παρακάτω αναλυτικότερα. Η μόνη διαφορά είναι ότι σε αυτή τη φάση παρακολουθείται ο ρυθμός εφίδρωσης του αθλητή.

Έτσι λοιπόν σε κάθε περίοδο της άσκησης ο εθελοντής έπινε όσο εκείνος ήθελε και το μόνο στοιχείο που κρατούσαμε ήταν ο ρυθμός εφίδρωσης. Αυτό υπολογίστηκε με βάση τη διαφορά στο σωματικό βάρος που παρουσίαζε σε κάθε στάδιο 5 χιλιομέτρων της εξομοίωσης, συμπεριλαμβανομένης πάντα της ποσότητας νερού που κατανάλωνε. Για την απομάκρυνση του ιδρώτα από το σώμα χρησιμοποιήθηκε πετσέτα. Η Ζύγιση γινόταν με το κολλάν πάντοτε, πριν και μετά.

Επίσης καταγράφηκαν και όλα τα δεδομένα του πρωτοκόλλου (HR, blood pressure) Η αρτηριακή πίεση μετρήθηκε πριν και μετά από κάθε 5-χιλιόμετρα ανάβαση με μια ανεροειδές πιεσόμετρο και ένα στηθοσκόπιο. Το HR (καρδιακή συχνότητα) μετρήθηκε χρησιμοποιώντας ένα συνεχώς HR μετρητή - οθόνη (M5 Suunto, Finland).

Στόχος λοιπόν αυτής της επίσκεψης ήταν να μπορέσουμε να υπολογίσουμε ακριβώς την ποσότητα του νερού που θα χρειαστεί ο εθελοντής να καταναλώσει στο πρωτόκολλο της συνταγογραφούμενης ενυδάτωσης, ώστε να διατηρήσει το σωματικό του βάρος σταθερό.

Πειραματικό πρωτόκολλο

Αμέσως μετά την αιμοληψία και αφού είχε προηγηθεί ανάπαυση 20 λεπτών και πρωινό, οι εθελοντές ξεκινούσαν τη διαδικασία του πρωτοκόλλου. Αρχικά γινόταν μέτρηση του σωματικού βάρους των εθελοντών πριν την έναρξη της διαδικασίας. Οι εθελοντές δεν έπρεπε να γνωρίζουν το αρχικό τους βάρος. για να μην είναι σε θέση να συγκρίνουν και να συσχετίζουν το βάρος τους με την απόδοση που ίσως τους επηρέαζε ψυχολογικά.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος – εργαστηρίου ήταν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια στους 31.6° C με τη βοήθεια ενός οργάνου του WBGT. Το πρωτόκολλο της εξομοίωσης έγινε με τη βοήθεια σταθερού ηλεκτρονικού προπονητηρίου (CompuTrainer) και ο κάθε εθελοντής έφερνε το ποδήλατό του το οποίο προσαρμοζόταν πάνω στη βάση του προπονητηρίου. το οποίο ήταν συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστεί που κατέγραφε όλα τα δεδομένα (Watt, Cadence, Speed, Time)

Η εξομοίωση περιελάμβανε: έξι (6) εναλλάξ αποστάσεις των 5 χιλιομέτρων, μη ανηφορικές - ευθείες και ανηφορικές. Οι ανηφορικές είχαν συνεχόμενη κλίση της τάξης του 3%.

Η 1^η , 3^η , 5^η ήταν ευθείες με 0% κλίση υπό σταθερή ένταση ποδηλασία στο 75% των ατομικών τους W max με ρυθμό που κυμαίνεται μεταξύ 80 και 100 στροφές ανά λεπτό.

Η 2^η , 4^η , 6^η ήταν ανηφορικά κομμάτια με ρυθμό και ένταση αγωνιστικό που καθόριζε ο εκάστοτε εθελοντής.

Κατά τη διάρκεια κάθε κομματιού της εξομοίωσης καταγράφηκαν σε ειδικό πίνακα, οι εσωτερικές θερμοκρασίες, οι καρδιακοί παλμοί, η μέση ένταση της άσκησης (Watt), η μέση ταχύτητα και ο ρυθμός της πεταλιάς του εθελοντή κάθε 1 λεπτό.

Παράλληλα γινόταν μέτρηση των επιδερμικών θερμοκρασιών σε 4 διαφορετικά σημεία στο σώμα του εθελοντή, επίσης κάθε 1 λεπτό.

Στο στήθος, το γαστροκνήμιο, το μηρό και το βραχίονα (YSI, 4000 A, Dayton, Ohio).

Λίγο πριν την ολοκλήρωση κάθε μέρους της διαδικασίας κάναμε μέτρηση επιπέδων γαλακτικού οξέος στο αίμα και μέτρηση της αρτηριακής πίεσης.

Στο τέλος κάθε κομματιού 5 χιλιομέτρων οι εθελοντές ζυγίζονταν ξανά χωρίς να γνωρίζουν οι ίδιοι τυχόν αλλαγή στο σωματικό τους βάρος.

Γινόταν επίσης καταγραφή του χρόνου ολοκλήρωσης των 5 χιλιομέτρων και σε ποιο επίπεδο της κλίμακας αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE) βρισκόντουσαν. Τέλος τα επίπεδα της δίψας τα οποία ένιωθαν καταγραφόντουσαν σε ειδική κλίμακα.

Κατά την ολοκλήρωση όλης της διαδικασίας γινόταν ξανά αιμοληψία και συλλογή ούρων σε ουροσυλλέκτη για την ανάλυσή τους, αμέσως μετά στο εργαστήριο όπως αναφέρεται παρακάτω.

Τέλος, όλα τα ρολόγια, χρονόμετρα, HR οθόνες και υπολογιστές αφαιρέθηκαν από καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής από την εποπτεία των εθελοντών.

Για τη δοκιμή επιδόσεων, τα άτομα υποβλήθηκαν σε μία από τις ακόλουθες παρεμβάσεις σε τυχαία σειρά:

1) Διαδικασία εξομοίωσης του δρόμου αντοχής με συνταγογραφούμενη ενυδάτωση (EU)

Οι εθελοντές κατανάλωσαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ακριβώς την ποσότητα των υγρών των οποίων είχε υπολογιστεί ότι χάσανε στη δοκιμασία του ρυθμού εφίδρωσης. Έτσι οι εθελοντές έπρεπε να καταναλώσουν συγκεκριμένη ποσότητα νερού που τους είχε δοθεί σε μπουκαλάκι (ζυγισμένο) μπροστά τους ακριβώς για άμεση πρόσβαση.

2) Διαδικασία εξομοίωσης του δρόμου αντοχής με κατά βούληση (ad libitum).

Οι εθελοντές έχοντας συνέχεια ένα γεμάτο δροσερό μπουκαλάκι νερό είχαν τη δυνατότητα να πουν όσο ακριβώς θέλουν με δικιά τους βούληση.

Εργαστηριακές αναλύσεις

Αμέσως μετά την λήψη των δειγμάτων γινόταν ανάλυση ειδικού βάρους, χρώματος ούρων και ωσμωτικότητας.

Τα δείγματα αίματος (περίπου 15 ml σε κάθε Vacutainer) αναλύθηκαν αμέσως σε τρεις φάσεις. Για αιματοκρίτη (μικρο-αιματοκρίτη μέθοδος) για αιμοσφαιρίνης (μέθοδος cyanomethemoglobin, Drabkin αντιδραστήριο, Sigma, St Louis, MO) και τέλος για το πλάσμα. Επίσης γινόταν μέτρηση του νατρίου και καλίου στον ορό (Serum) του αίματος και ωσμωτικότητας του πλάσματος .

Οι αλλαγές χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστούν οι μεταβολές του όγκου πλάσματος (193).

Το γαλακτικό οξύ μετρήθηκε επίσης σε πλήρες αίμα εις διπλούν (Lactate Accutrend, Roche Diagnostics, Mannheim, GERMANY).

Το HR (καρδιακή συχνότητα) μετρήθηκε χρησιμοποιώντας ένα συνεχώς HR μετρητή - οθόνη (M5 Suunto, Finland).

Όλες οι μετρήσεις του σταθερού προπονητηρίου - ποδηλάτου καταγράφηκαν στον υπολογιστή (watt, RPM, speed)

Μετά το τέλος κάθε δοκιμής είτε της AD – μεθόδου, είτε της EU - δοκιμής του πρωτοκόλλου, οι εθελοντές κλήθηκαν επίσης να δηλώσουν το RPE τους χρησιμοποιώντας την κλίμακα Borg από το 6 έως το 20 . (194).

Η αποθήκευση των δειγμάτων γινόταν σε ειδικά δοχεία, τα οποία καταψύχονταν στους -40⁰ C. Για την επαναχρησιμοποίησή τους παρέμεναν στο ψυγείο για 12-24 ώρες ώστε να πετύχουμε ομαλή απόψυξη.

Αναλυτικότερα

Δείκτες ούρων

Οι δείκτες των ούρων λόγω της ευκολίας της εφαρμογής τους χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο ποσοστό για την αξιολόγηση επιπέδων ενυδάτωσης. Βάσει των μελετών έχει σημειωθεί μεγαλύτερη ευαισθησία όταν χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ήπιας παρά σοβαρής αφυδάτωσης. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να μεταβάλλουν ψευδώς τους παραπάνω δείκτες, όπως η κατανάλωση καφέ και αλκοόλ, είτε η αφυδάτωση σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης η ενδοφλέβια έγχυση υγρών αλλά και κάποιες ασθένειες μπορούν να αποτελέσουν παράγοντα σφάλματος. [195]

Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε τα επίπεδα υδάτωσης βάσει των παρακάτω διεργασιών αλλά και να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα μεταξύ ενυδάτωσης και αφυδάτωσης, χρησιμοποιούμε τα πρώτα πρωινά ούρα.

Μέτρηση χρώματος ούρων

Η μέτρηση του χρώματος των ούρων είναι μια εύκολη και σχετικά γρήγορη διαδικασία. Χρησιμοποιείται κυρίως για μια άμεση εκτίμηση ενυδάτωσης των αθλητών και όχι μόνο. Έτσι για την αξιολόγηση του επιπέδου υδάτωσης με αυτήν την μέθοδο, χρησιμοποιήθηκε η οκταβάθμια κλίμακα του Armstrong (Πίνακας 2.)

Χρώμα Ούρων		
1		
2		Αν τα ούρα σας ταιριάζουν με τα χρώματα 1,2 ή 3 είστε σωστά ενυδατωμένοι
3		Συνεχίστε να καταναλώνεται υγρά στις συνιστώμενες ποσότητες
4		Αν το χρώμα των ούρων σας είναι κάτω από την κόκκινη γραμμή τότε είστε αφυδατωμένοι και σε κίνδυνο να πάθετε κράμπες ή υπερθερμία !
5		
6		
7		Πρέπει να πείτε περισσότερο νερό !!!!
8		

Πίνακας 2. **Οκταβάθμια κλίμακα του Armstrong**

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να τοποθετηθούν σε γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα 10 - 15 mL δείγματος το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται σε φωτεινό θάλαμο με λευκό φως (fluorescent light) και πάντα σε λευκό φόντο. Κατόπιν τοποθετούμε στο ίδιο ύψος την κλίμακα με τα χρώματα συγκρίνοντας και καταγράφοντας παράλληλα σε ποιο χρώμα αντιστοιχεί το χρώμα των ούρων.

Ένα άτομο θεωρείται καλά ενυδατωμένο όταν το χρώμα των ούρων του είναι ανάμεσα των χρωμάτων με αντιστοιχία αριθμών 1, 2 και 3. Ήπια αφυδατωμένος μεταξύ 4-6 και σοβαρά αφυδατωμένος μεταξύ 7 και 8.

Ειδικό βάρος ούρων (USG)

Για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους των ούρων χρησιμοποιήθηκε το ειδικό διαθλασίμετρο χειρός Atago (hand held clinical Retractable, Master Sur-Na, Made in Japan). Η μέθοδος βασίζεται στον δείκτη διάθλασης, που προκύπτει από τον λόγο της ταχύτητας του φωτός στον αέρα προς την ταχύτητα του φωτός στο διάλυμα.

Η διαδικασία ξεκινούσε με την τοποθέτηση σταγόνων από τα ούρα με τη βοήθεια πιπέτας 3ml, στο διαθλασίμετρο. (foto). Παρατηρώντας την αριστερή κλίμακα, καταγραφόταν το ειδικό βάρος των ούρων τους. Το USG αναφέρεται στην πυκνότητα ($d=m/V$) ενός διαλύματος σε σχέση με το καθαρό νερό. Κάθε υγρό πυκνότερο από το καθαρό νερό ($USG H_2O = 1,000$). έχει ειδικό βάρος

που ξεπερνάει το 1,000. Οι τιμές USG σε υγιείς ενήλικες κυμαίνονται στο 1,013-1,029 ενώ σε αφυδατωμένους υπερβαίνουν το 1,030, ενώ σε υπερενυδατωμένους κυμαίνονται στο 1,005- 1,012.

Καλά ενυδατωμένος:	Ειδικό βάρος ούρων	1.010-1.020
Ελαφρώς αφυδατωμένος:	Ειδικό βάρος ούρων	1.020-1.025
Σημαντικά αφυδατωμένος:	Ειδικό βάρος ούρων	1.025-1.030
Σοβαρά αφυδατωμένος:	Ειδικό βάρος ούρων	>1.030

Η αξιολόγηση επιπέδων υδάτωσης από τους Sawka et al., 2007 [14]

Ωσμωτικότητα ούρων

Ωσμώμετρο



Η ωσμωτικότητα ούρων αντικατοπτρίζει την συνολική ποσότητα διαλυμένων σε αυτά ουσιών. Επειδή λοιπόν επηρεάζεται από όλα τα διαλυμένα μόρια σε έναν γνωστό όγκο (δηλ. μάζα) του υγρού, η ωσμωτικότητα αυξάνει κατά την αφυδάτωση.

Γενικότερα τιμές μεγαλύτερες των 700 mOsm/L παραπέμπουν σε αφυδάτωση.

Απαραίτητο εργαλείο για τη μέτρηση είναι ένα ωσμώμετρο (Εικόνα) και πολύ σωστός χειρισμός από τους μελετητές.

Η διαδικασία χαρακτηρίζεται ως χρονοβόρα αλλά και δαπανηρή. [196]

Το μηχάνημα που χρησιμοποιήσαμε στη μελέτη μας ήταν το Advanced™ Osmometer Model 3D3. Πριν την έναρξη όλων των μετρήσεων έπρεπε να γίνουν οι απαραίτητες εργασίες βαθμονόμησης για την σωστή και έγκυρη αποτελεσματικότητα του μηχανήματος. Έτσι λοιπόν πριν από κάθε μέτρηση πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του μηχανήματος με διάλυμα γνωστής περιεκτικότητας (100, 290 και 1500 mOsm).

Για το δείγμα μας πραγματοποιούνταν πρώτα ανάδευση (vortex) για 15-20 sec στις 2800 rpm και μετά γινόταν η μέτρηση από το μηχάνημα.

Για να είναι πιστευτά τα αποτελέσματα χρειάζονται και άλλοι μέθοδοι, διότι από μόνη της δεν αποτελεί ισχυρό επιχείρημα και αυτό συμβαίνει γιατί κατά την ανάλυση αυτής παρουσιάζεται μεγάλο εύρος τιμών (200-1400mOsm/kg H₂O). Τα ακριβή επίπεδα υδάτωσης του εξεταζόμενου εμφανίζονται όταν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τους άλλους δείκτες ούρων. Ένα αφυδατωμένο άτομο είναι πιθανό να παρουσιάσει μία τιμή ωσμωτικότητας μεγαλύτερη από 700mOsm/L.

Αιματολογικοί δείκτες

Η μέτρηση του αιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης είναι υποχρεωτικός παράγοντας για να γίνει σωστά η μέτρηση των επιπέδων υδάτωσης.

Στην ουσία εάν οι συγκεκριμένοι δείκτες μεταβάλλονται τότε τα αποτελέσματα που παίρνουμε στα χέρια μας αφορούν την μεταβολή του όγκου του πλάσματος και όχι του συνολικού σωματικού νερού. [197] Είναι λοιπόν αντιληπτό ότι τέτοιου είδους μετρήσεις είναι δαπανηρές και χρειάζεται αφθονία χρόνου.

Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι για να αξιολογηθεί το επίπεδο υδάτωσης, εκείνοι οι οποίοι είναι λιγότερο δύσκολοι είναι η μέτρηση της ωσμωτικότητας του πλάσματος (Φ.Τ. - 290 mOsmol / kgH₂O) και η συγκέντρωση νατρίου στο πλάσμα, ο δείκτης που θεωρείται πιο αντιπροσωπευτικός είναι η ωσμωτικότητα. Κατά την διάρκεια της αφυδάτωσης και απώλεια σωματικού βάρους μόλις 1%, παρατηρείται αύξηση των παραπάνω δεικτών [196, 195, 198, 199]. Παρόλα αυτά υπάρχει μία πιθανότητα να μην είναι εφικτή η ανίχνευση της αφυδάτωσης, αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει ισομερής μείωση μεταξύ της ποσότητας του νερού και των ηλεκτρολυτών (ισοτονική αφυδάτωση), με αποτέλεσμα η ωσμωτικότητα του πλάσματος να μην μεταβάλλεται και έτσι να μην γίνεται αντιληπτή η εκάστοτε αφυδάτωση. [200] Επίσης επειδή παρατηρούμε μείωση της ωσμωτικότητας

με την πάροδο της ώρας είναι αναγκαίο, η μέτρηση να γίνει αμέσως μετά τη λήψη αίματος. Οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν την μείωση της ωσμωτικότητας είναι αποτέλεσμα των αλλαγών του pH, διάσπαση του CO₂ και αύξηση της συγκέντρωσης γαλακτικού οξέως. [196, 195,189]

Σύμφωνα με τα πειράματα του Porowski, ύστερα από πολύωρη άσκηση (3-4 ώρες) και με επανυδάτωση (+5% της απώλειας βάρους), η ωσμωτικότητα του αίματος δεν έφτασε στην αρχική της τιμή ύστερα από 60 λεπτά. Αυτό μας δείχνει ξεκάθαρα πως όταν υπάρχει ένταση στα υδατικά διαμερίσματα, η ωσμωτικότητα δεν μεταβάλλεται ταυτόχρονα με την πρόσληψη υγρών. [201] Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις τιμές της ωσμωτικότητας και τις αιμοσφαιρίνης είναι η όρθια στάση του σώματος για 20 λεπτά αλλά και η χρήση αιμοστατικού επιδέσμου για την λήψη αίματος. Είναι άκρως αντιληπτό ότι μέσω της περίσσειας και της έλλειψης νερού παρουσιάζονται τα επίπεδα της αντιδιουρητικής ορμόνης, της ρετίνης και της αλδοστερόνης. Τα αποτελέσματα που θα λάβουμε από τα παραπάνω θα μας δώσουν πολύτιμες πληροφορίες για τα επίπεδα ενυδάτωσης ενός ατόμου. Παρόλα αυτά η διαδικασία της αντιδιουρητικής ορμόνης απαιτεί αρκετό χρόνο (3 ημέρες). [195] Εξίσου αξιόπιστα αποτελέσματα μας δίνουν και οι αιματολογικοί δείκτες φυσικά σε συνδυασμό με άλλους όπως αλλαγές στο σωματικό βάρος και δείκτες ούρων

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρτηριακή Πίεση

Η μέση αρτηριακή πίεση στο τέλος του 1ου, 2ου και 3ου ανηφορικού κομματιού - αγωνιστικού ρυθμού μετρήθηκε στους 129 ± 7 mm Hg, 132 ± 8 mmHg και 128 ± 12 mmHg στην AD μέτρηση.

Από την άλλη, στη δοκιμή EU, μετρήθηκε σε 129 ± 13 mmHg, 130 ± 12 mmHg και 131 ± 11 mmHg, ($P > 0,05$).

ΑΡΤΗΡΙΑΚΗ ΠΙΕΣΗ (ανηφορικά κομμάτια)		
	AD	EU
1 st hill	129±7 mmHg	129±13 mmHg
2 nd hill	132±8 mmHg	130±12 mmHg
3 rd hill	128±12 mmHg	131±11 mmHg
		(P>0.05)

Γαλακτικό οξύ

Στο τέλος της κάθε δοκιμασίας ανηφορικού αγώνα, **το γαλακτικό οξύ** στη δοκιμή AD ήταν ($10,0 \pm 1,8$ mmol / L, $11,1 \pm 1,3$ mmol / L, $10,7 \pm 1,8$ mmol / L)

Στη δοκιμή της EU διαδικασίας είχαμε : ($10,4 \pm 2,3$ mmol / L, $11,1 \pm 1,2$ mmol / L, $11,2 \pm 1,7$ mmol / L), ($P > 0,05$).

ΓΑΛΑΚΤΙΚΟ ΟΞΥ (mmol/L)-ανηφορικά κομμάτια		
	AD	EU
1 st Hill	10.0±1.8	10.4±2.3
2 nd Hill	11.1±1.3	11.1±1.2
3 rd Hill	10.7±1.8	11.2±1.7
		(P>0.05)

Καρδιακή συχνότητα

Η καρδιακή συχνότητα κατά τη διάρκεια των τριών ανηφορικών κομματιών - αγωνιστικού ρυθμού ήταν κοντά στο μέγιστο ($90 \pm 2\%$) και δεν διέφεραν σημαντικά κατά την εξέταση της κατάστασης ενυδάτωσης (AD: 168 ± 8 σφύξεις / min, 169 ± 8 σφύξεις / min, 170 ± 9 σφύξεις / min

EU: 171 ± 9 κτύπους / λεπτό, 171 ± 9 κτύπους / λεπτό, 173 ± 9 κτύπους / λεπτό, ($P > 0,05$).

ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (beats/min) (ανηφορικά κομμάτια)			
	AD		EU
1 st hill		168±8	171±9
2 nd hill		169±8	171±9
3 rd hill		170±9	173±9
			(P>0.05)

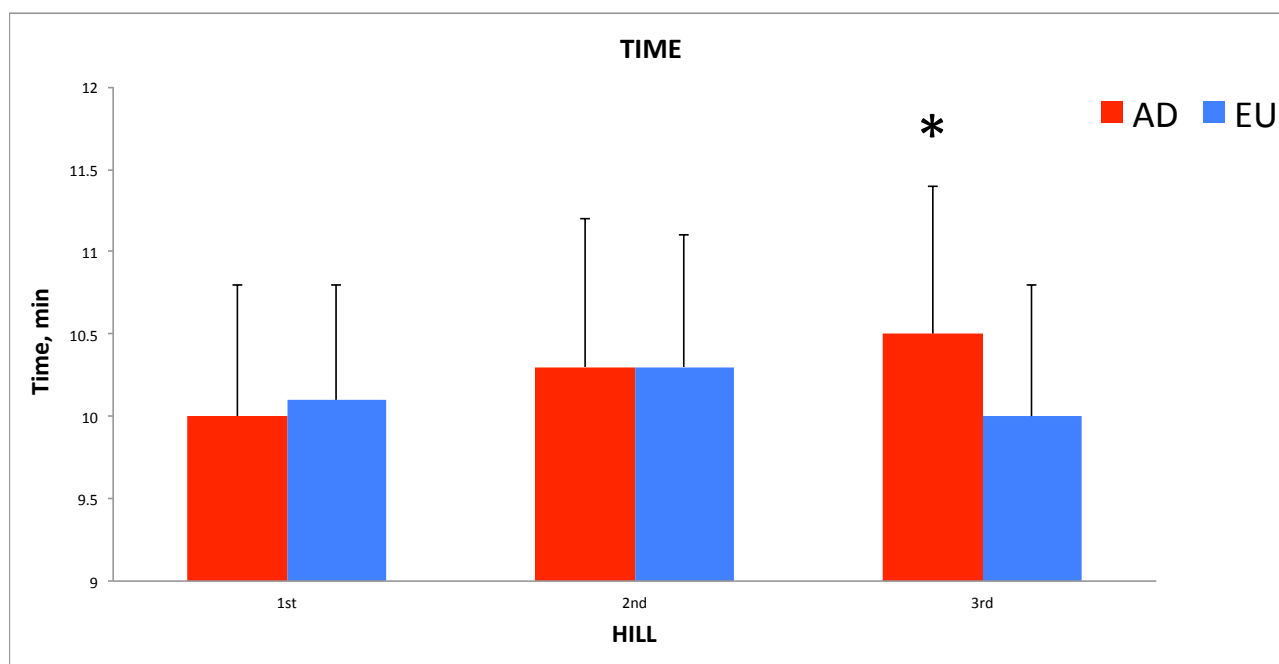
Χρόνος ολοκλήρωσης διαδρομής

Ο συνολικός χρόνος ποδηλασίας του 1ου, 2ου ανηφορικού κομματιού των 5 χιλιομέτρων σε ρυθμό αγώνα ήταν στην EU : ($10,1 \pm 0,7$ min, $10,3 \pm 0,8$ min), ενώ στη δοκιμή AD : ($10,0 \pm 0,8$ λεπτά, $10,3 \pm 0,9$ min) , ($P > 0.05$). Μη στατιστικά σημαντική διαφορά.

Παρ'όλα τα παραπάνω ο συνολικός χρόνος ποδηλασίας του 3ου ανηφορικού κομματιού των 5 χιλιομέτρων σε ρυθμό αγώνα ήταν λιγότερος στην EU ($10,0 \pm 0,8$ λεπτά) από ό, τι στη δοκιμή AD ($10,5 \pm 0,9$ min), ($P < 0,05$).

Οι εθελοντές πραγματοποίησαν καλύτερη επίδοση στην τελευταία ανηφορική διαδρομή στο πρωτόκολλο EU σε σχέση με το AD για χρόνο 31 ± 30 sec

ΧΡΟΝΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ (ανηφορικά κομμάτια)		
	AD	EU
1 st hill	10.0 ± 0.8	10.1 ± 0.7
2 nd hill	10.3 ± 0.9	10.3 ± 0.8
3 rd hill	$10.5 \pm 0.9^*$	$10.0 \pm 0.8^*$
	(min)	(min)
		($P < 0.05$)
(* = significantly important)		



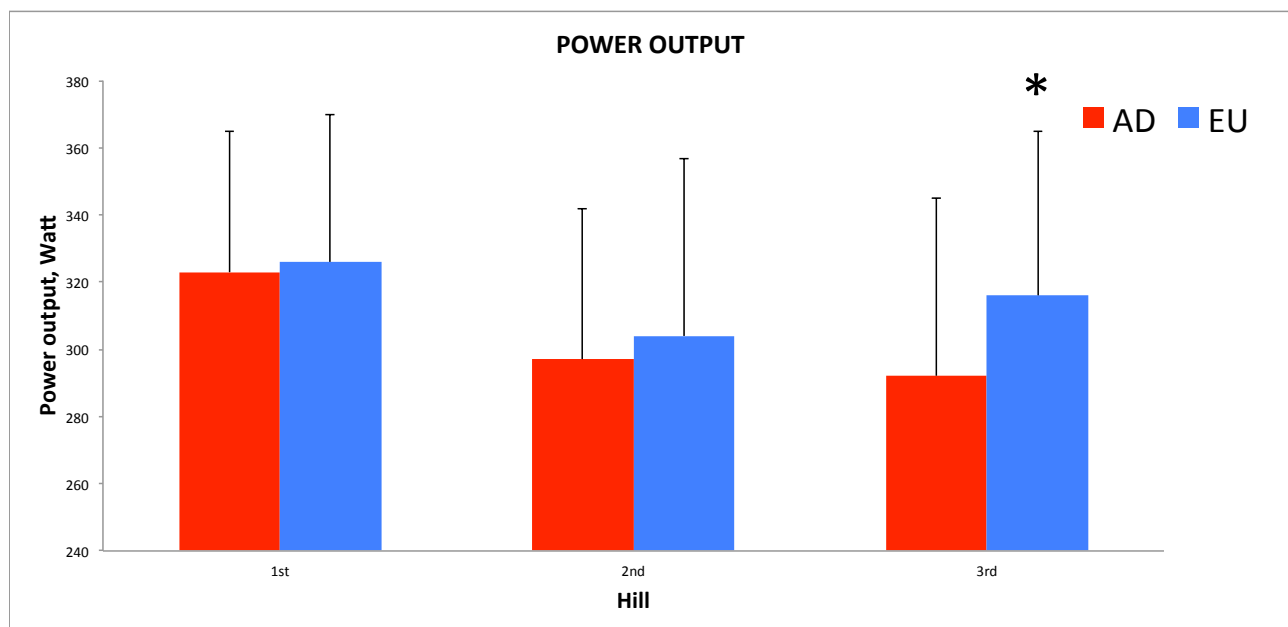
Η μέση απόδοση ισχύος

Η μέση απόδοση ισχύος των αθλητών τα τελευταία 5 ανηφορικά χιλιόμετρα της 3ης περιόδου με ρυθμό αγώνα ήταν καλύτερα στην EU (326 ± 44 W, $304 \text{ W} \pm 53$, , $316 \pm 49^*$ W) από ό, τι στην AD διαδικασία (323 ± 42 W, 297 ± 45 W, 292 ± 53 W), ($P < 0,05$)

MEAN POWER OUTPUT-WATT (ανηφορικά κομμάτια)		
	AD	EU
1 st hill	323±42	326± 44
2 nd hill	297±45	304±53
3 rd hill	292±53*	316±49*

(P<0.05)

(* = significantly important)



Ο ρυθμός ποδηλασίας (RPM)

Ο ρυθμός ποδηλασίας RPM (στροφές του πεταλιού) στο 1ο, 2ο και 3ο ανηφορικό κομμάτι των 5 χιλιομέτρων δεν φάνηκε να έχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της AD (89 ± 10 , 88 ± 10 και 86 ± 10 rpm) και της EU (91 ± 9 rpm, 91 ± 7 σαλ, 90 ± 7 rpm.).

CYCLING CADENCE (RPM)			
	AD	EU	
1 st hill		89±10	91±9
2 nd hill		88±10	91±7
3 rd hill		86±10	90±7

(P>0.05)

Όλες οι μεταβλητές παρουσιάζονται ως μέση τιμή ($\pm$ τυπική απόκλιση). Χρησιμοποιήθηκε το Generalized Estimating Equations (GEE) για να αξιολογηθούν οι διαφορές μεταξύ των EU και AD καθώς και για τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές (τρία ανηφορικά κομμάτια). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας για αυτόν τον έλεγχο έχει καθοριστεί το $P < 0.05$. Για τον έλεγχο των υποθέσεων της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο (SPSS 19.0).

Συζήτηση

Στην παρούσα μελέτη, εξετάσαμε την επίδραση της συνταγογραφούμενης σε σχέση με την κατά βούληση ενυδάτωση στην ποδηλατική απόδοση αγώνα αντοχής σε αθλητές υψηλού επιπέδου.

Από όσο γνωρίζουμε η παραπάνω μελέτη που πραγματοποιήσαμε είναι ίσως η μόνη μέχρι στιγμής που μελετά το ρόλο της συνταγογραφούμενης ενυδάτωσης του οργανισμού κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης άσκησης. Αυτό που την κάνει μοναδική είναι ότι η ενυδάτωση γίνεται σε επίπεδα που δεν παρατηρείται αλλαγή στο σωματικό βάρος ($< 2\%$). Το κύριο εύρημα είναι ότι οι ίδιοι ποδηλάτες όταν προσλαμβάνουν την ποσότητα νερού που χάνουν από την εφίδρωση κατά τη διάρκεια της άσκησης παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση στην απόδοσή τους σε σύγκριση με όταν ακολουθούν την κατά βούληση ενυδάτωση.

Αναγνωρίζουμε ότι ένας πιθανός περιορισμός της μελέτης μας είναι η δοκιμή επίδοσης που χρησιμοποιήσαμε.

Παρά το γεγονός ότι πολύ συχνά σε δοκιμασία κόπωσης, ο χρόνος ολοκλήρωσης της δοκιμασίας (5 Km) μπορεί να είναι υποκειμενικός, ωστόσο, οι παράμετροι που μετρήθηκαν στα τελικά στάδια της δοκιμής (γαλακτικό οξύ στο αίμα, HR, και ρυθμός πεταλαρίσματος - rpm) δεν έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των εθελοντών, φανερώνοντας ότι όλοι οι αθλητές ήταν περίπου στο ίδιο επίπεδο κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Στο παρελθόν έχουν γίνει μελέτες που ερεύνσαν παρόμοιες καταστάσεις ενυδάτωσης σε σχέση με την αθλητική απόδοση.

Ο Ebert et al. (201) εξέτασαν την επίδραση της μείωσης της μάζας του σώματος που αναλογεί στις απώλειες ιδρώτα οι οποίες δεν αναπληρώνονται, σε προσομοιωμένη απόδοση της ποδηλασίας αναρρίχησης λόφων στη ζέστη. Στη συγκεκριμένη μελέτη υπήρχε η παραδοχή ότι η αφυδάτωση μπορεί να επηρεάσει την απόδοση στην αντοχή των αθλητών.

Οκτώ καλά εκπαιδευμένοι άνδρες ποδηλάτες ολοκλήρωσαν ένα μέγιστο διαβαθμισμένο τεστ ποδηλασίας πραγματοποιώντας μια 2-ωρη βόλτα στο 53% της μέγιστης αερόβιας ικανότητας (MAP) σε σταθερό εργόμετρο, ακολουθούμενη αμέσως από ποδηλασία αναρρίχησης λόφου χρόνου μέχρι εξάντλησης (88% της MAP), με δικό τους ποδήλατο σε κεκλιμένο διάδρομο (8%) σε περίπου

30° C. Η έρευνά τους κατέληξε στο ότι η αφυδάτωση που προκαλείται από άσκηση σε ζεστό περιβάλλον είναι επιζήμια για τις επιδόσεις της εργαστηριακής ποδηλασίας αναρρίχησης λόφων, παρά τη μείωση παραγωγής ισχύος που απαιτείται για μια δεδομένη ταχύτητα.

Επίσης οι Zouhal et al. (202) προσπάθησαν να καθορίσουν τη σχέση μεταξύ της αθλητικής απόδοσης και της αλλαγής στο σωματικό βάρος (ΣΒ) κατά τη διάρκεια ενός μαραθωνίου 42 χιλιομέτρων σε μια μεγάλη ομάδα των δρομέων όπου η αλλαγή στο ΣΒ κατά τη διάρκεια του αγώνα υπολογίζονταν από τις μετρήσεις ΣΒ κάθε δρομέα αμέσως πριν και μετά τον αγώνα.

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η απώλεια του ΣΒ κατά τη διάρκεια του μαραθωνίου ήταν αντιστρόφως ανάλογη με το χρόνο τερματισμού των 643 μαραθωνοδρόμων της πειραματικής μελέτης και ήταν > 3% σε δρομείς που ολοκλήρωσαν τον αγώνα σε λιγότερο από 3 ώρες. Τα δεδομένα αυτά ήταν συμβατά με στοιχεία που προέρχονταν από προηγούμενες εργαστηριακές έρευνες και έδειχναν ότι απώλεια ΣΒ μεγαλύτερη από 2% κατά τη διάρκεια της άσκησης βλάπτει την αθλητική απόδοση. Σύμφωνα με την ίδια αυτή μελέτη, οι πιο επιτυχημένοι αθλητές μαραθωνίου και υπερ-μαραθωνίου και τριάθλου είναι συχνά εκείνοι που χάνουν ουσιαστικώς περισσότερο από 3-4% του ΣΒ κατά τη διάρκεια του αγώνα.

Το 2001 ο Nybo και η ομάδα του (203) μελέτησαν κατά πόσο η έντονη υπερθερμία μόνη ή σε συνδυασμό με την αφυδάτωση μειώνει τον αρχικό ρυθμό αύξησης στην κατανάλωση O₂ (VO₂ on-kinetics) και το μέγιστο ρυθμό πρόσληψης O₂ (VO₂ max) κατά τη διάρκεια της έντονης άσκησης ποδηλασίας. Για τους σκοπούς της μελέτης αυτής, 6 ποδηλάτες αντοχής, ολοκλήρωσαν τέσσερις δοκιμές μέγιστης άσκησης σε εργόμετρο όταν ήταν ενυδατωμένοι ή αφυδατωμένοι σε αυξημένη θερμική καταπόνηση.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής απέδειξαν ότι η μειωμένη απόδοση σε ασκήσεις υψηλής έντασης με σημαντική υπερθερμία στο δέρμα αλλά και στο εσωτερικό του σώματος, μόνη ή σε συνδυασμό με την αφυδάτωση, δεν σχετίζεται με μειωμένο ρυθμό αύξησης στην VO₂, αλλά με μειωμένη VO₂ max.

Ακόμα μια σημαντική μελέτη που ερεύνησε την απόδοση σε σχέση με την ήπια αφυδάτωση είναι του Walsh et al. Σε αυτή τη μελέτη συμμετείχαν 6 προπονημένοι εθελοντές που μετά από 60 λεπτά ποδηλασίας στο 70% της μέγιστης έντασης συνέχισαν στο 90% μέχρι εξάντλησης. Την πρώτη φορά της δοκιμασίας (F) οι εθελοντές κατανάλωναν συγκεκριμένες ποσότητες υγρών διαλυμάτων πριν και κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας ενώ στην επαναληπτική δοκιμασία (NF) δεν

κατανάλωσαν τίποτα. Τα ευρήματα της έρευνας ήταν η στατιστικά σημαντική μείωση του σωματικού βάρους στην (NF) δοκιμασία και στατιστικά σημαντική η αύξηση του χρόνου μέχρι την εξάντληση στην (F). Άξιο να σημειωθεί ήταν επίσης ότι η αύξηση της απόδοσης στην (F) ομάδα δεν συσχετίζεται με καμία μετρήσιμη αλλαγή στον καρδιακό ρυθμό (HR), στη θερμοκρασία σώματος και στη δύναμη ποδιού. Από την άλλη στην NF ομάδα παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση των επιπέδων της αντιδιουρητικής ορμόνης και των επιπέδων RPE. Έτσι λοιπόν φάνηκε ότι η υψηλής ένταση άσκηση φάνηκε να επηρεάζεται ακόμα και από χαμηλά επίπεδα αφυδάτωσης.

Εν κατακλείδι, η παρούσα μελέτη έδειξε ότι συγκεκριμένη ποσότητα νερού θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυξημένα επίπεδα απόδοσης σε άτομα που ασχολούνται με αγωνίσματα αντοχής. Αυτό όπως φάνηκε βελτιστοποιεί και σταθεροποιεί σε ιδανικά επίπεδα τον όγκο παλμού, ρυθμίζοντας παράλληλα την θερμοκρασία πυρήνα, έχοντας ως αποτέλεσμα να αυξάνει την απόδοση.

Οι παραπάνω μηχανισμοί φυσιολογίας αλλά και οι επιπτώσεις τους στην αθλητική απόδοση χρειάζονται περαιτέρω εξέταση.

Παράρτημα – Μεθοδολογίας

Οδηγίες προς τους εθελοντές

Εθελοντής:.....

Ημερομηνία εξέτασης:.....

1. Την ημέρα πριν από κάθε δοκιμασία μην καταναλώνεται ποτά που περιέχουν καφεΐνη (π.χ. καφέ, Coca Cola) ή αλκοόλ.
2. Φροντίστε να είστε επαρκώς ενυδατωμένος την ημέρα κάθε δοκιμής. Για το σκοπό αυτό καταναλώστε επαρκείς ποσότητες υγρών (1,5-2 λίτρα) την προηγούμενη ημέρα και δύο ποτήρια νερό πριν κοιμηθείτε.
3. Απέχετε από οποιαδήποτε επίπονη σωματική δραστηριότητα την προηγούμενη μέρα κάθε δοκιμής, και ιδιαίτερα από προπόνηση.
4. Καταναλώστε το χάπι της εσωτερικής θερμοκρασίας 10 ώρες πριν την έναρξη της μελέτης.
5. Μην ξεχάσετε τα πρώτα πρωινά σας ούρα. Ουρήστε στον ουροσυλλέκτη.
6. Την ημέρα κάθε δοκιμής να βρίσκεστε στο εργαστήριο στις 9:00 π.μ., χωρίς να έχετε καταναλώσει πρωινό.
7. Να έχετε μαζί σας ποδηλατική ενδυμασία (2 σορτς , ποδηλατικά ρούχα, πεντάλ , πετσέτα και το ποδήλατό σας).

Κλίμακα αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE)

6	
7	Πάρα πολύ εύκολη
8	
9	Πολύ εύκολη
10	
11	Σχετικά εύκολη
12	
13	Κάπως δύσκολη
14	
15	Δύσκολη
16	
17	Πολύ δύσκολη
18	
19	Πάρα πολύ δύσκολη
20	

Βιβλιογραφία

1. IOM. Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate., D.C: National Academy Press: Washington. 2005, p. 73–185.
2. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. Nutr Rev 2005,63, p.40-54.
3. Hennessee JC. "The Depth of the Surface Zone of a Liquid". Reviews of Modern Physics 1949,21, p.322-341.
4. Novak, L.P., Changes in total body water during adolescent growth. Hum Biol, 1989. 61(3),p. 407-414.
5. SA Kavouras, CA Anastasiou, Water Physiology: Essentiality, metabolism, and health implications, Nutrition Today, 2010, 45 (6), p. 27-32
6. Popkin BM, D'Anci KE, Rosenberg IH. Water, hydration, and health. Nutr Rev. 2010, 68(8), p. 439-458.
7. Adolph E, Dill D. Observations on water metabolism in the desert. Am J Physiology, 1938, 123, p. 369-378
8. W Cameron Chumlea, Shumei S Guo, Christine M Zeller, Nicholas V Reo and Roger M Siervogel. Total body water data for white adults 18 to 64 years of age: The Fels Longitudinal Study, Kidney International, 1999, 56, p. 244-252
9. EFSA, Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Water, EFSA Journal, 2010, 8 (3)
10. Vander, Human Physiology, 8 (2), chapter 16
11. Saltin, B., Aerobic and Anaerobic Work Capacity after Dehydration. J Appl Physiol, 1964, 19, p. 1114-8.
12. Olsson, K.E. and B. Saltin, Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. Acta Physiol Scand, 1970. 80(1), p. 11-8.
13. Sawaka MN, Exercise and Fluid Replacement, ACSM- Medicine & Science in Sports & Exercise, 2007, p. 377 - 390.
14. IS Edelman, J Leibman, Anatomy of Body Water and Electrolytes, American Journal of Medicine, 1959.
15. Starling, E.H., On the Absorption of Fluids from the Connective Tissue Spaces. J Physiol, 1896,. 19(4), p. 312-26.
16. Sawka MN, Cheuvront SN, Carter R 3rd. Human Water Needs. Nutrition Reviews. 2005 , 63, p. 30-39.

17. RJ Maughan , Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance, *European Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 57, (2), p. 19-23
18. F Manz , Hydration and disease, *Journal of the American College of Nutrition*, 2007, 26 (5), p. 535-541
19. Aronson., P.S., *Distribution of sodium chloride across cell membranes*. New York:Raven,1990.
20. Susan M. Kleiner. *Water: An Essential But Overlooked Nutrient*, *Journal of the American Dietetic Association*, 1999, 99 (2), p. 200-206.
21. D Haussinger, The role of cellular hydration in the regulation of cell function, *Biochemical Journal*, 1996, 313, p. 697 - 710.
22. Vander, *Renal Physiology*, 5th edition, p. 89-144
23. Adolph E, D.D., Observations on water metabolism in the desert. *Am J Physiol.*, 1938.,123, p. 124-129
24. Sawka, M. N., C. B. Wenger, and K. B. PANDOLF. Thermoregulatory responses to acute exercise- heat stress and heat acclimation. In: *Handbook of Physiology, Section 4: Environmental Physiology*, C. M. Blatteis and M. J. Fregly. New York: Oxford University Press for the American Physiological Society, pp. 157–186, 1996.
25. SAWKA, M. N., and A. J. YOUNG. Physiological Systems and Their Responses to Conditions of Heat and Cold. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, and R. L. Terjung. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, 2005 p. 535–563.
26. CASA, D. J., P. M. CLARKSON, and W. O. ROBERTS. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr. Sports Med.* 2005 Rep. 4, p. 115–127,.
27. INSTITUTE OF MEDICINE. *Water*. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate*, Washington, D.C: National Academy Press, 2005 p. 73–185,.
28. Barr, S. I., D. L. Costill. *Water: can the endurance athlete get too much of a good thing*. *J. Am. Diet. Assoc.* 1989 89,, p.1629–1632, 1635,.
29. GAGGE, A. P., and R. R. GONZALEZ. Mechanisms of heat exchange: Biophysics and Physiology. In: *Handbook of Physiology, Section 4, Environmental Physiology*, M. J. Fregly and C. M. Blatteis. New York: Oxford University Press, 1996, p 45–84,.
30. ALLAN, J. R., and C. G. WILSON. Influence of acclimatization on sweat sodium concentration. *J. Appl. Physiol.* 1971, 30, p.708–712,.
31. BROUNS, F. Heat-sweat-dehydration-rehydration: a praxis oriented approach. *J. Sports Sci.* 9 Spec 1991, p. 143–152,.

32. COSTILL, D. L., R. COTE, E. MILLER, T. MILLER, and S. WYNDER. Water and electrolyte replacement during repeated days of work in the heat. *Aviat. Space Environ. Med.* 1975 46, p. 795–800,.
33. FUKUMOTO, T., T. TANAKA, H. FUJIOKA, S. YOSHIHARA, T. OCHI, and A. KUROIWA. Differences in composition of sweat induced by thermal exposure and by running exercise. *Clin. Cardiol.* 1988, 11, p.707–709,.
34. SHIRREFFS, S. M., L. F. RAGON-VARGAS, M. CHAMORRO, R. J. MAUGHAN, L. SERRATOSA, and J. J. ZACHWIEJA. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int. J. Sports Med.* 2005, 26, p.90–95,.
35. VERDE, T., R. J. SHEPHARD, P. COREY, and R. MOORE. Sweat composition in exercise and in heat. *J. Appl. Physiol.* 1982, 53, p.1540–1545,.
36. MEYER, F., O. BAR-OR, D. MACDOUGALL, and G. J. HEIGENHAUSER. Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: effects of gender and maturation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992, 24, p.776–781,.
37. MORIMOTO, T., Z. SLABOCHOVA, R. K. NAMAN, and F. SARGENT. Sex differences in physiological reactions to thermal stress. *J. Appl. Physiol.* 22:526–532, 1967.
38. CONSOLAZIO, F. C., R. E. JOHNSON, and L. J. PECORA. The computation of metabolic balances. In: *Physiological Measurements of Metabolic Function in Man*, New York: McGraw-Hill, 1963, p. 313–339.
39. MITCHELL, J. W., E. R. NADEL, and J. A. J. STOLWIJK. Respiratory weight losses during exercise. *Journal of Applied Physiology* 1972, 32,p 474–476,.
40. ZAMBRASKI, E. J. The renal system. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*, C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, and R. L. Terjung. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, 2005, p. 521–532.
41. Sawka MN, Montain SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr* 2000,72, p. 564-72.
42. Morimoto, T., Thermoregulation and body fluids: role of blood volume and central venous pressure. *Jpn J Physiol*, 1990. 40(2), p. 165-79.
43. Nose, H., et al., Right atrial pressure and forearm blood flow during prolonged exercise in a hot environment. *Pflugers Arch*, 1994. 426(3-4) p. 177-82.
44. Gonzalez-Alonso, J., et al., Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol*, 1997. 82(4): p. 1229-36.

45. Armstrong, L.E., et al., Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol*, 1997. 82(6), p. 2028-35.
46. Armstrong, L.E., D.L. Costill, and W.J. Fink, Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 1985. 17(4), p. 456-61.
47. RODAHL, K. Occupational health conditions in extreme environments. *Ann. Occup. Hyg.* 2003, 47, p. 241–252.
48. CIAN, C., N. KOULMANN, P. S. BARRAUD, C. RAPHEL, C. JIMENEZ, and B. MELIN. Influence of variations in body hydration on cognitive function: effect of hyperhydration, heat stress, and exercise-induced dehydration. *Journal of Psychophysiology* 2000, 14, p.29–36.
49. FREUND, B. J., S. J. MONTAIN, A. J. YOUNG, et al. Glycerol Hyperhydration: hormonal, renal, and vascular fluid responses. *J. Appl. Physiol.* 1995, 79, p.2069–2077.
50. GREENLEAF, J. E., R. LOOFT-WILSON, J. L. WISHERD, et al. Hypervolemia in men from fluid ingestion at rest and during exercise. *Aviat. Space Environ. Med.* 1998 (69), p.374–386.
51. INSTITUTE OF MEDICINE. Water. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate*, Washington, D.C: National Academy Press, 2005 p. 73–185.
52. Barr SI. Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol* 1999, 24(2), p. 164-172.
53. Cheuvront SN, Sawka MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr. Sports Med. Rep* 2003, 2(4), p.202-208.
54. Murray R. Nutrition for the marathon and other endurance sports: environmental stress and dehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1992, p. 319 -323.
55. Murray R. Dehydration, hyperthermia, and athletes:science and practice. *J Athl Train* 1996, (31), p. 248 -252.
56. Casa D. Exercise in the heat, I: fundamentals of thermal physiology, performance implications, and dehydration. *J Athl Train* 1999, 34, p. 246-252.
57. O'BRIEN, C., B. J. FREUND, A. J. YOUNG, and M. N. SAWKA. Glycerol hyperhydration: physiological responses during cold- air exposure. *J. Appl. Physiol.* 2005, 99, p. 515–521.
58. SAWKA, M. N., and E. F. COYLE. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc. Sport Sci.* 1999 Rev. 27, p. 167–218.
59. SHIRREFFS, S. M., and R. J. MAUGHAN. Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses. *Am. J. Physiol.* 1998, 274, p. 868–875.

60. LATZKA, W. A., M. N. SAWKA, S. J. MONTAIN, et al. Hyper- hydration: thermoregulatory effects during compensable exercise-heat stress. *J. Appl. Physiol.* 1997, 83, p. 860–866.
61. LATZKA, W. A., M. N. SAWKA, S. J. MONTAIN, et al. Hyper- hydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompen- sable exercise-heat stress. *J. Appl. Physiol.* 1998, 84, p. 1858–1864.
62. GREENLEAF, J. E., R. LOOFT-WILSON, J. L. WISHERD, M. A. MCKENZIE, C. D. JENSEN, and J. H. WHITTAM. Pre-exercise hypervolemia and cycle ergometer endurance in men. *Biol. Sport* 1997, 14, p.103–114.
63. Greenleaf, J.E., Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc*, 1992. 24(6,; p. 645-56.
64. Armstrong LE, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985, 17, p.456-461.
65. Brown AH, T.E., Relative influence of heat, work, and dehydration on blood circulation. In: Adolph EF, ed. *Physiology of Man in the Desert*. 1947, New York: NY: Interscience. p. 197-207.
66. Rothstein A. Blood circulation of temperature of men dehydrating in the heat. *Physiology of Man in the Desert*, ed. A. EF. 1947, New York: NY: Interscience. p.172-196.
67. Greenleaf JE. Voluntary dehydration in man. *J Appl Physiol* 1965, 20, p. 719 -724.
68. Sawka MN, Young AJ, Pandolf KB. Influence of hydration level and body fluids on exercise performance in the heat. *JAMA* 1984, 252, p. 1165-1169.
69. ACSM. Position stand: Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28(1), p. i- vii.
70. Greenleaf JE. Exercise temperature regulation in man during hypohydration and hyperhydration. *J Appl Physiol* 1971, 30, p. 847- 853.
71. Moroff SV. Effects of overhydration on man's physiological responses to work in the heat. *J Appl Physiol* 1965, 20, p. 267-270.
72. Rico-Sanz J, Rivera MA, Rivera-Brown A, Mole PA. Effects of hyperhydration on total body water, temperature regulation and performance of elite young soccer players in a warm climate. *Int J Sports Med* 1995, 17, p. 85-91.
73. Rothstein A, Wills JH. In: Adolph EF, ed. *Physiology of Man in the Desert*. 1947, New York, :NY:Interscience, p. 254 -270.
74. Freund BJ. Young AJ, et al. Glycerol hyperhydration:hormonal, renal, and vascular fluid responses. *J Appl Physiol* 1995, 79, p. 2069-2077.

75. Hoswill C. Effective Fluid Replacement. *Int J Sports Nutr* 1998, 8, p. 175-195.
76. Maughan R. Optimizing hydration for competitive sport., ed. e.O.S. In: Lamb DR. 1997, Carmel: IN :Cooper Publishing. p. 139 -183.
77. Montner P, Riedesel ML, et al. Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *Int J Sports Med* 1996, 17, p. 27-33.
78. Casa DJ, Knight JC, Dellis WO, Berger EM, McClung JM. Influence of a pre-exercise glycerol hydration beverage on performance and physiological function during mountain bike races in the heat. *J Athl Train* 1999, p. 34:25.
79. Kavouras SA, Herrera JA, et al. Rehydration with glycerol endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory effects during exercise in 37°C. *Med Sci Sports Exerc* 1998, 30(5s), p. 332.
80. AVELLINI, B. A., E. KAMON, and J. T. KRAJEWSKI. Physiological responses of physically fit men and women to acclimation to humid heat. *J. Appl. Physiol.* 1980 49, p. 254–261.
81. SAWKA, M. N., M. M. TONER, R. P. FRANCESCONI, and K. B. PANDOLF. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J. Appl. Physiol.* 1983, 55,p. 1147–1153. (
82. SHAPIRO, Y., K. B. PANDOLF, B. A. AVELLINI, N. A. PIMENTAL, and R. F. GOLDMAN. Physiological responses of men and women to humid and dry heat. *J. Appl. Physiol.* 1980, 49, p. 1–8. (
83. CLAYBAUGH, J. R., A. K. SATO, L. K. CROSSWHITE, and L. H. HASSELL. Effects of time of day, gender, and menstrual cycle phase on the human response to a water load. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2000, 279, p. 966–973.
84. ALMOND, C. S., A. Y. SHIN, E. B. FORTESCUE, et al. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *N. Engl. J. Med.* 2005, 352, p. 1550–1556.
85. HEW, T. D., J. N. CHORLEY, J. C. CIANCA, and J. G. DIVINE. The incidence, risk factors, and clinical manifestations of hyponatremia in marathon runners. *Clin. J. Sport Med.* 2003, 13,p. 41–47.
86. INSTITUTE OF MEDICINE. Water. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate*, Washington, D.C: National Academy Press, 2005 p. 73–185.
87. LEAF, A. Dehydration in elderly. *N. Engl. J. Med.* 1984, 311, p.791–792.
88. MACK, G. W., C. A. WESEMAN, G. W. LANGHANS, H. SCHERZER, C. M. GILLEN, and E. R. NADEL. Body fluid balance in dehydrated healthy older men: thirst and renal osmoregulation. *J. Appl. Physiol.* 1994, 76, p. 1615–1623.

89. ROLLS, B. J., and P. A. PHILLIPS. Aging and disturbances of thirst and fluid balance. *Nutr. Rev.* 1990, 48, p.137–144.
90. LUFT, F. C., M. H. WEINBERGER, N. S. FINEBERG, J. Z. MILLER, and C. E. GRIM. Effects of age on renal sodium homeostasis and its relevance to sodium sensitivity. *Am. J. Med.* 1987, 82,p. 9–15.
91. LINDEMAN, R. D. Renal physiology and pathophysiology of aging. *Contrib. Nephrol.* 1993, 105, p. 1–12.
92. STACHENFELD, N. S., L. DIPIETRO, E. R. NADEL, and G. W. MACK. Mechanism of attenuated thirst in aging: role of central volume receptors. *Am. J. Physiol.* 1997, 272,p. 148–157.
93. STACHENFELD, N. S., G. W. MACK, A. TAKAMATA, L. DIPIETRO, and E. R. NADEL. Thirst and fluid regulatory responses to hypertonicity in older adults. *Am. J. Physiol.* 1996, 271, p. 757–R765.
94. TAJIMA, F., S. SAGAWA, J. IWAMOTO, K. MIKI, J. R. CLAYBAUGH, and K. SHIRAKI. Renal and endocrine responses in the elderly during head-out water immersion. *Am. J. Physiol.* 1988, 254, p. 977–983.
95. Adolph, E.F., and D.B. Dill. Observations on water metabolism in the desert. *Am. J. Physiol.* 1938, 123, p. 369-378.
96. Armstrong,L.E.,D.L.Costill,andW.J.Fink.Influenceofdiuretic-induceddehydration on competitive running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1985 17(4), p.456-461.
97. Candas, V., J.P. Libert, G. Brandenberger, J.C. Sagot, C. Amoros, and J.M. Kahn. Hydration during exercise. effects on thermal and cardiovascular adjustments. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1986, 55(2), p. 113-122.
98. Candas, V., J.P. Libert, G. Brandenberger, J.C. Sagot, and J.M. Kahn. Thermal and circulatory responses during prolonged exercise at different levels of hydration. *J. Physiol. (Paris).* 1988, 83(1), p. 11-18.
99. Sawka, M.N. Physiological consequences of dehydration: exercise performance and thermoregulation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992, 24, p. 657-670.
- 100.Wilk, B., and O. Bar-Or. Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J. Appl. Physiol.* 1996 80(4), p. 1112-1117.
- 101.Rothstein, A., E.F. Adolph, and J.H. Wills. Voluntary dehydration. In: *Physiology of Man in the Desert*, E.F. Adolph (Ed.). New York, NY: Interscience Publishers, 1947, pp. 254-271.

102. Adams, W.C., R.H. Fox, A.J. Fry, and I.C. MacDonald. Thermoregulation during marathon running in cool, moderate, and hot environments. *J. Appl. Physiol.* 1975 38(6), p.1030-1037.
103. Buskirk, E.R., P.F. Iampietro, and D.E. Bass. Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 1958 12, p. 189-194.
104. Cohen, I., and A.L. Zimmerman. Changes in serum electrolyte levels during marathon running. *S. Afr. Med. J.* 1978, 53(12), p. 449-453.
105. Hubbard, R.W., B.L. Sandick, W.T. Matthew, et al. Voluntary dehydration and alliesthesia for water. *J. Appl. Physiol.* 1984, 57(3), p. 868-873.
106. Kratz, A., K.B. Lewandrowski, A.J. Siegel, et al. Effect of marathon running on hematologic and biochemical laboratory parameters, including cardiac markers. *Am. J. Clin. Pathol.* 2002, 118(6), p. 856-863.
107. Magazanik, A., Y. Shapiro, D. Meytes, and I. Meytes. Enzyme blood levels and water balance during a marathon race. *J. Appl. Physiol.* 1974, 36(2), p. 214-217.
108. Maron, M.B., J.A. Wagner, and S.M. Horvath. Thermoregulatory responses during competitive marathon running. *J. Appl. Physiol.* 1977, 42(6), p. 909-914.
109. Noakes, T.D., B.A. Adams, K.H. Myburgh, C. Greeff, T. Lotz, and M. Nathan. The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1988, 57, p. 210-219.
110. Pugh, L.G., J.L. Corbett, and R.H. Johnson. Rectal temperatures, weight losses, and sweat rates in marathon running. *J. Appl. Physiol.* 1967, 23(3), p. 347-352.
111. Rehrer, N.J., G.M. Janssen, F. Brouns, and W.H. Saris. Fluid intake and gastrointestinal problems in runners competing in a 25-km race and a marathon. *Int. J. Sports Med.* 1989 10(Suppl 1), p. 22-25.
112. Coyle, E.F., and S.J. Montain. Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992, 24(9 Suppl), p. 324-330.
113. Coyle, E.F., and S.J. Montain. Benefits of fluid replacement with carbohydrate during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992, 24(9 Suppl), p. 324-330.
114. Noakes, T.D., B.A. Adams, K.H. Myburgh, C. Greeff, T. Lotz, and M. Nathan. The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1988, 57, p. 210-219.
115. Clapp, A.J., P.A. Bishop, and J.L. Walker. Fluid replacement preferences in heat-exposed workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1999, 60(6), p. 747-751.

- 116.Horswill, C.A. Effective fluid replacement. *Int. J. Sport Nutr.* 1998, 8(2), p. 175-195,.
- 117.Passe, D.H. Physiological and psychological determinants of fluid intake. In: *Sports Drinks: Basic Science and Practical Aspects*, R.J. Maughan and R. Murray (Eds.). Boca Raton, FL: CRC Press, 2001, pp. 45-87.
- 118.Rivera-Brown,A.M.,R.Gutierrez,J.C.Gutierrez,W.R.Frontera,andO.Bar-Or.Drink composition, voluntary drinking, and fluid balance in exercising, trained, heat-acclimatized boys. *J. Appl. Physiol.* 1999, 86(1), p. 78-84.
- 119.González-Alonso J, Calbet JAL, and Nielsen B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J Physiol (Lond)* 1998, 513, p. 895–905.
- 120.González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, and Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol* 1995, 79, p.1487–1496.
- 121.González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, and Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1997, 82, p. 1229–1236.
- 122.Hargreaves M, Dillo P, Angus D, and Febbraio M. Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1996, 80, p. 363–366.
- 123.Montain SJ and Coyle EF. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol* 1992, 73, p. 903–910,.
- 124.Rowell LB, Blackmon J, Martin R, Mazzeella J, and Bruce RA. Hepatic clearance of indocyanine green in man under thermal and exercise stresses. *J Appl Physiol* 1965, 20,384–394.
- 125.Rowell LB, Detry J-M, Profant GR, and Wyss C. Splanchnic vasoconstriction in hyperthermic man—role of falling blood pressure. *J Appl Physiol* 1971 31, p. 864–869,.
- 126.Sawka MN, Young RP, Francesconi R, Muza SR, and Pandolf KB. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J Appl Physiol* 1985, 59, p. 1394–1401.
- 127.Craig FN and Cummings EG. Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol* 1966 ,21, p. 670–674.
- 128.Pirnay F, Deroanne R, and Petit JM. Maximal oxygen consumption in a hot environment. *J Appl Physiol* 1970, 218, p. 642–645.
- 129.Klausen K, Dill DB, Phillips FE, and McGregor D. Metabolic reactions to work in the desert. *J Appl Physiol* 1967, 22, p. 292–296.

- 130.Saltin B, Gagge AP, Bergh U, and Stolwijk JAJ. Body temperatures and sweating during exhaustive exercise. *J Appl Physiol* 1972, 32, p. 635–643.
- 131.Rowell LB, Marx HJ, Bruce RA, Conn RD, and 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, p. 1801–1816.
- 132.Williams C, Bredell G, Wyndham C, Strydom N, Morrison J, Peter J, and Ward J. Circulatory and metabolic reactions to work in the heat. *J Appl Physiol* 1962, 17,p. 625–638.
- 133.Bergh U and Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *J Appl Physiol* 1979, 46, p. 885–889.
- 134.Buskirk ER, Iampietro PF, and Bass DE. Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J Appl Physiol* 1958, 12,p. 189–194,.
- 135.Armstrong LE, Costill DL, and Fink W. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985, 17, p.456–461.
- 136.Caldwell JE, Ahonen E, and Nousiainen U. Differential effects of sauna diuretic- and exercise-induced hypohydration. *J Appl Physiol* 1984, 57, p.1018–1023.
- 137.Houston ME. The effect of rapid weight loss on physiological functions in wrestlers. *Phys Sports Med* 1981, 9, p.73–78.
- 138.Webster SF, Rutt R, and Weltman A. Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc* 1990, 22, p. 229–234.
- 139.González-Alonso J, Calbet JAL, and Nielsen B. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol (Lond)* 1999, 520, p. 577–589.
140. González-Alonso J, Calbet JAL, and Nielsen B. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol (Lond)* 520: 577–589, 1999. *J, App. Physiol.* 2001, (90), p. 1057-1064.
- 141.González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, and Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000, 278, p. 321–330.
- 142.González-Alonso J, Teller C, Andersen S, Jensen F, Hyldig T, and Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1999, 86, p. 1032–1039.
- 143.Montain SJ and Coyle EF. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol* 1992, 73, p. 903–910.

144. Nadel ER, Cafarelli E, Roberts MF, and Wenger CB. Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *J Appl Physiol* 1979, 46, p. 430–437.
145. González-Alonso, J., R. Mora-Rodríguez, P. R. Below, and E. F. Coyle. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1995, 79, p. 1487–1496.
146. González-Alonso, J., R. Mora-Rodríguez, P. R. Below, and E. F. Coyle. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1995, 79, p. 1487–1496
147. Dill, D. B., H. T. Edwards, P. S. Bauer, and E. J. Leverson. Physical performance in relation to external temperature. *Arbeits-physiologie* 1931, 4, p. 508–518.
148. Gerking, S. D., and S. Robinson. Decline in the rates of sweating of men working in severe heat. *Am. J. Physiol.* 1946, 147, p. 370–378.
149. Chaplin, H., P. L. Mollison, and H. Vetter. The body/venous hematocrit ratio: its constancy over a wide hematocrit range. *J. Clin. Invest.* 1953, 32, p. 1309–1316.
150. Landell, W. S. S. The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J. Physiol. (Lond.)* 1955, 127, p. 11–46.
151. Montain, S. J., and E. F. Coyle. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of blood volume. *J. Appl. Physiol.* 1992, (73), p. 903–910.
152. Montain, S. J., and E. F. Coyle. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1992, (73), p. 1340–1350.
153. Montain, S. J., W. A. Latzka, and M. N. Sawka. Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *J. Appl. Physiol.* 1995, 79, p. 1434–1439.
154. Mora-Rodríguez, R., J. González-Alonso, P. R. Below, and E. F. Coyle. Plasma catecholamines and hyperglycemia influence thermoregulation during prolonged exercise in the heat. *J. Physiol. (Lond.)* 1996, 491, p. 529–540.
155. Nadel, E. R. Effect of hydration state on circulatory and thermal regulations. *J. Appl. Physiol.* 1981, (49), p. 715–721.
156. Nadel, E. R., E. Cafarelli, M. F. Roberts, and C. B. Wenger. Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *J. Appl. Physiol.* 1979 (6), p. 430–437.
157. Pugh, L. G. C., J. I. Corbett, and R. J. Johnson. Rectal temperatures, weight losses, and sweating rate in marathon running. *J. Appl. Physiol.* 1957, (23), p. 347–352.
158. Sawka, M. N., R. P. Francesconi, N. A. Pimental, and K. B. Pandolf. Hydration and vascular fluid shifts during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 1984, 56, p. 91–96.

- 159.Sawka, M. N., A. J. Young, R. P. Francesconi, S. R. Muza, and K. B. Pandolf. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J. Appl. Physiol.* 1985, (59), p. 1394–1401.
- 160.Sawka, M. N., A. J. Young, W. A. Latzka, P. D. Neufer, M. D. Quicley, and K. B. Pandolf. Human tolerance to heat strain during exercise: influence of hydration. *J. Appl. Physiol.* 1992, (73), p. 368–375.
- 161.S e n a y, L. C. Relationship of evaporative rates to serum Na⁺, K⁺ and osmolality in acute heat stress. *J. Appl. Physiol.* 1968, (25), p.149– 152,.
- 162.Strydom, N. B., and L. D. Holdsworth. The effects of different levels of water deficit on physiological responses during heat stress. *Int. Z. Angew. Physiol.* 1983, (26). p. 95–102.
- 163.Wyndham, C. H., N. B. Strydom, J. F. Morrison, C. G. Williams, G. A. Bredell, and J. Peter. Fatigue of the sweat gland response. *J. Appl. Physiol.* 1966, (21), p. 107–110,
- 164.Bothorel, B. M., M. Follenius, R. Gissinger, and V. Candas. Physiological effects of dehydration and rehydration with water and acidic or neutral carbohydrate electrolyte solutions. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1990, (60), p. 209–216.
- 165.Candas, V., J. P. Libert, G. Brandenberger, J. C. Sagot, C.Amoros, and J.M.Kahn. Thermal and circulatory responses during prolonged exercise at different levels of hydration. *J. Physiol. Paris* 1988, (83), p. 11–18..
- 166.Murray R. Dehydration, hyperthermia, and athletes: science and practice. *J Athl Train* 1996, (31), p.248 -252.
- 167.Sawka MN. Effect of body water loss on physiological function and exercise performance. , in *Fluid Homeostasis During Exercise.* , L.D. Gisolfi CV, eds., Editor. 1990, IN:Brown and Benchmark Carmel. p. 1-30.
- 168.Burge CM, Payne WR. Rowing performance, fluid balance, and metabolic function, following dehydration and rehydration. *Med Sci Sports Exerc* 1993, (25), p. 1358 -1364.
- 169.Hargeaves M, Angus D, Febbraio M. Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1996, (80), p. 363–366.
- 170.Edwards RHT, Hultman E, Kaizer L, Koh D, Nordesjo L. 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, p. 335-352.
- 171.Casa DJ, 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), p. 124 -133.

- 172.Montain SJ, Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 1992, (73), p. 1340 -1350.
- 173.Gopinthan PM, Sharma VM. Role of dehydration in heat stress-induced variations in mental performance. *Arch Environ Health.*, 1988, (43), p. : 15-17.
- 174.Lidell W. The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J Physiol* 1955, (127), p. 11-46.
- 175.Montain SJ, Mattot RP, Zientara GP, Jolesz FA, Sawka MN. Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism:a ³¹P-MRS study. *J Appl Physiol* 1998;,(84)p. 1889
- 176.Strydom NB, van Graan CH, Holdsworth LD, Morrison JF. The influence of water restriction on the performance of men during a road march. *S Afr Med J* 1966.(40), p. 539 - 544.
- 177.Adolph, E., *Physiology of Man in the Desert*. 1947, New York:NY: Interscience.
- 178.Bosco JS, Bernauer EM, Card DH. Effects of acute dehydration and starvation on muscular strength and endurance. *Acta Physiol Pol* 1974, (25), p. 411-421.
- 179.Bosco JS, Greenleaf JE. Effects of progressive hypohydration on maximal isometric muscular strength. *J Sports Med Phys Fitness* 1968. (8), p. 81- 86.
- 180.Houston ME, Green HJ, Thomson JA. The effect of rapid weight loss on physiological function in wrestlers. *Physician Sportsmed* 1981, 9(11), p. 73-78.
- 181.Webster S, Weltman A. Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Med Sci Sports Exerc* 1990, (22), p. 229-234.
- 182.Saltin, B., Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J Appl Physiol* 1964,(19), p.1125-1132.
- 183.Sawka MN, Latzka WA. Body fluid balance during exercise-heat exposure, in *Body Fluid Balance: Exercise and Sport*. S. Buskirk EW, Editor. 1996, NY: CRC Press: New York. p. 139-157.
- 184.Pinchan G, Tomar OS, Bajaj AC. Effects of primary hypohydration on physical work capacity. *Int J Biometeorol* 1988, (32), p. 176-180.
- 185.Walsh RM, Hawley JA, Dennis SC. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int J Sports Med*,1994, (15), p. 392-398.
- 186.Craig FN. Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol* 1966, (21), p. 670-674.
- 187.Armstrong LE, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985, (17), p. 456-461.
- 188.Burge CM, Payne WR. Rowing performance, fluid balance, and metabolic function, following dehydration and rehydration. *Med SciSports Exerc* 1993, (25), p. 1358 -1364.

- 189.Caldwell JE, Nousianen U. Differential effects of sauna-,diuretic- and exercise-induced hypohydration. *J Appl Physiol*. 1984, (57), p. 1018-1023.
- 190.Coyle, E.F., Fluid and fuel intake during exercise. *J Sports Sci*, 2004. 22(1): p. 39-55.
- 191.Kuipers H, Keizer HA, Brouns F, Saris WH. Carbohydrate feeding and glycogen synthesis during exercise in man. *Pflugers Arch*. 1987, 410(6), p. 652–6.
- 192.Dill DB, Costill DL. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J Appl Physiol*. 1974 , 37(2), p. 247–8.
- 193.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), p. 1538.
- 194.SA Kavouras. Assessing hydration status. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 2002, 5, p. 519-524
- 195.Armstrong LE. Hydration assessment techniques. *Nutrition Reviews* . 2005, 63, p. 40-54.
- 196.Lawrence E. Armstrong, Assessing Hydration Status: The Elusive Gold Standard, *Journal of the American College of Nutrition*, 2007, 26 (5), p. 575-584
197. S M Shirreffs. Markers of hydration status, *European Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 57, (2), p. 6–9.
- 198.Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Chloride, and Sulfate, IOM – The National Academics, chapter 4
- 199.EFSA, Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Water, *EFSA Journal*, 2010, 8 (3)
- 200.Armstrong LE, Maresh CM, Gabaree CV. Thermal and circulatory responses during exercise; effects of hypohydration, dehydration, and water intake, *J Appl Physiology*, 1997, 82, p.2028-2035
- 201.Influence of Hydration Status on Thermoregulation and Cycling Hill Climbing. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2007 Vol. 39, No. 2, p. 323–329
- 202.Br J Sports Med published online 2010 December 15
- 203.OXYGEN KINETICS WITH HYPERTHERMIA AND DEHYDRATION *J Appl Physiol* 2001 90, 1057–1064.